

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL  
DE HUAMANGA  
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y METALURGIA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN  
INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**



**“CINÉTICA DE PÉRDIDA DE HUMEDAD, COMPUESTOS  
BIOACTIVOS, ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE Y  
ESTABILIDAD EN *FICUS CARICA*, DURANTE EL SECADO  
SOLAR DIRECTO”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

**PRESENTADO POR  
HAMILTON BARRIENTOS GARCIA**

**ASESOR  
DR. ALBERTO LUIS, HUAMANI HUAMANI**

**AYACUCHO - PERÚ**

**2023**

## **DEDICATORIA**

*A Dios porque está conmigo en cada paso que doy, por ser guía constante y fortalecermi corazón e iluminar mi mente y darme la fortaleza necesaria para superar cada uno de los obstáculos; por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.*

*Para mis padres, quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo mi mejor apoyo en todo momento; depositando su entera confianza en cada reto que se me presentaba sin dudar ni un solo momento en mi inteligencia y capacidad. A mis hermanos que me han enseñado a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.*

## **AGRADECIMIENTO**

*A Dios, de quien he recibido el más hermoso tesoro que existe: la vida quien me ha enseñado el significado de la fe y de la vida. Quien ha iluminado mi camino y llenado de esperanza, paz, amor y alegría a mi vida.*

*A mis padres, quienes han estado a mi lado en las buenas y en las malas, han creído en mí y han dado un valor especial a mi vida. De quienes he recibido todo el amor que he requerido y han depositado en mi la semilla que me forjado hasta lo que soy.*

*A mis hermanos, de quienes he recibido todo el apoyo que he necesitado y quienes me han enseñado con su ejemplo de vida grandes lecciones que me han ayudado a forjar mi vida.*

*A mi asesor, por forjar en mí el conocimiento que me han llevado a la realización de esta tesis, de quien he recibido consejos, y quien me proporcionó todo el apoyo, la tolerancia y la paciencia para lograr llegar al final de mi camino profesional.*

*Mi gratitud, a la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, fuente de sabiduría y enseñanza, forjado de anhelos y sueños, por acogernos en sus aulas y brindarnos la formación profesional.*

*A toda la plana docente de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia, en especial a los docentes de la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias, por sus enseñanzas y orientaciones durante nuestra permanencia en las aulas universitarias.*

## RESUMEN

En la tesis titulado, “Cinética de pérdida de humedad, compuestos bioactivos y actividad antioxidante y estabilidad *Ficus carica*, en el secado solar directo”. El objetivo fue determinar cómo afecta el secado solar directo en la cinética de secado, contenido de compuestos bioactivos, actividad antioxidante y estabilidad en el higo (*Ficus carica*). Donde se utilizó la metodología de secado solar directo a los frutos de higo. Donde se usaron la metodología de obtención de datos experimentales de secado por pesadas, en los cálculos de cinética de secado se usó el modelo matemático de Alvarez y Legues, calculados con los métodos numéricos de Newton Raphson, también fueron determinados los compuestos activos y actividad antioxidante, el contenido de antocianinas, polifenoles totales, fenoles totales, y flavonoides, y la estabilidad del higo seco. Obteniéndose como resultados lo siguiente: El modelo de Álvarez y Legues presento un buen ajuste en la cinética de secado, los valores de la difusividad (Def) encontrados estuvieron dentro del rango de  $1.145 \cdot 10^{-11}$  a  $2.127 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ . De acuerdo a los resultados estadísticos aplicados, el modelo de Álvarez y Legues presentó una buena calidad de ajuste de los datos experimentales y ajustados. El secado solar directo afecto a las antocianinas fue de  $192.66 \pm 6.856$  (mg/g m.s.); fenoles totales de  $24.65 \pm 0.46$  GAE/g de extracto; flavonoides y flavonoles en su totalidad. La actividad antioxidante también fue afectada por el secado solar directo en el higo encontrándose para las metodologías de DPPH el valor de  $384.44 \pm 2.25$  (ET/g de extracto), ABTS de  $250.06 \pm 3.38$  (ET/g de extracto) y FRAP de  $109.24 \pm 2.07$  (ET/g de extracto) respectivamente. El higo seco presentó una buena estabilidad humedad, como se presenta una isoterma del tipo II.

**Palabra clave:** Higo, secado solar directo, antioxidante en higo secado solar.



## ABSTRACT

In the thesis entitled, "Kinetics of moisture loss, bioactive compounds and antioxidant activity and stability *Ficus carica*, in direct solar drying." The objective was to determine how direct solar drying affects the drying kinetics, content of bioactive compounds, antioxidant activity and stability in the fig (*Ficus carica*). Where the methodology of direct solar drying to the fig fruits was used. Where the methodology for obtaining experimental data from drying by weighing was used, in the calculations of drying kinetics the mathematical model of Alvarez and Legues was used, calculated with the numerical methods of Newton Raphson, the active compounds and antioxidant activity were also determined. , the content of anthocyanins, total polyphenols, total phenols, and flavonoids, and the stability of the dried fig. Obtaining the following results: The Álvarez and Legues model presented a good fit in the drying kinetics, the diffusivity (Def) values found were within the range of  $1.145 \times 10^{-11}$  to  $2.127 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ . According to the statistical results applied, the Álvarez and Legues model presented a good quality of fit to the experimental and adjusted data. Direct solar drying affected by anthocyanins was  $192.66 \pm 6.856$  (mg/g m.s.); total phenols of  $24.65 \pm 0.46$  GAE/g of extract; flavonoids and flavonols in their entirety. The antioxidant activity was also affected by direct solar drying in the fig, finding for the DPPH methodologies the value of  $384.44 \pm 2.25$  (ET/g of extract), ABTS of  $250.06 \pm 3.38$  (ET/g of extract) and FRAP of  $109.24 \pm 2.07$  (TE/g of extract) respectively. The dry fig presented a good humidity stability, as a type II isotherm is presented.

**Key word:** Fig, direct solar drying, antioxidant in solar dried fig.

## ÍNDICE

Contenido	pág.
I. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 Formulación del problema.....	3
1.2 Objetivo general: .....	4
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....	6
2.1 ANTECEDENTES .....	6
2.2 HIGO .....	8
2.2.1 Composición fisicoquímica.....	10
2.2.2 Propiedades nutricionales .....	12
2.3 COMPUESTOS BIOACTIVOS EN HIGO .....	13
2.3.1 Antocianinas.....	14
2.3.2 Polifenoles totales .....	15
2.3.3 Propiedades antioxidantes.....	18
2.4 SECADO SOLAR DIRECTO.....	19
2.4.1 Secado solar de frutos .....	22
2.4.2 Cinética de secado.....	23
2.5 OPTIMIZACIÓN .....	28
2.5.1 Modelo matemático de GAB .....	28
2.5.2 Parámetros del modelo de GAB.....	29

2.6	MÉTODOS NUMÉRICOS .....	29
2.6.1	Método Newton Raphson.....	29
III.	MATERIALES Y MÉTODOS .....	31
3.1	LUGAR .....	31
3.2	POBLACIÓN Y MUESTRA .....	32
2.1.1	Población.....	32
2.1.2	Muestra.....	32
3.3	MATERIALES Y EQUIPOS .....	33
3.3.1	Materiales.....	33
3.3.2	Reactivos y otros .....	34
3.3.3	Equipos.....	34
3.4	DISEÑO METODOLÓGICO .....	35
3.5	DISEÑO EXPERIMENTAL.....	35
3.6	CARACTERÍSTICAS DEL HIGO .....	38
3.6.1	Medida .....	38
3.6.2	Humedad. ....	39
3.7	PROCESO DE SECADO SOLAR DIRECTO DEL HIGO .....	39
3.7.1	Acondicionamiento del secadero .....	40
3.7.2	Recolección de los higos .....	41
3.7.3	Determinación del peso de los frutos .....	42
3.7.4	Colocación de los higos sobre las camas secadoras.....	42

3.8	CÁLCULOS DE CINÉTICA DE SECADO.....	44
3.8.1	Cinética de secado.....	44
3.8.2	Humedad por simulación en la ecuación de Álvarez y Legues .....	45
3.8.3	Procedimiento operativo .....	49
3.8.4	Análisis estadístico.....	54
3.9	COMPUESTOS BIOACTIVOS EN HIGO SECO.....	55
3.9.1	Antocianinas totales (Cuesta et al., 2013).....	55
3.9.2	Polifenoles totales (PFT).....	55
3.9.3	Fenoles totales.....	57
3.9.4	Flavonoides .....	57
3.10	ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE.....	58
3.11	ESTABILIDAD DE HUMEDAD (Zapana Yucra, 2017).....	60
3.11.1	Análisis de datos .....	61
3.11.2	Análisis estadístico.....	62
3.11.3	Procedimiento de cálculo de parámetros de GAB .....	62
IV.	RESULTADO Y DISCUSIONES .....	67
4.1	CARACTERÍSTICAS DEL HIGO ANTES DEL SECADO .....	67
4.1.1	Peso de cada higo .....	67
4.1.2	Tamaño de los frutos .....	68
4.1.3	Contenido de humedad inicial.....	69
4.2	CINÉTICA DEL SECADO.....	71

4.2.1	Humedad durante el secado .....	71
4.2.2	Relación de humedad .....	72
4.2.3	Difusividad efectiva .....	73
4.2.4	Humedad simulada.....	76
4.2.5	Validación de los resultados .....	77
4.3	COMPUESTOS BIOACTIVOS EN HIGO SECO.....	79
4.3.1	Humedad del higo seco .....	79
4.3.2	Antocianinas.....	80
4.3.3	Fenoles totales.....	81
4.4	ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE.....	83
4.5	ESTABILIDAD DEL HIGO SECO.....	83
V.	CONCLUSIONES .....	87
VI.	RECOMENDACIONES.....	88
VII.	REFERENCIAS.....	89
	ANEXOS .....	110

## Relación de Tablas

<b>Tabla 1</b> Contenido de nutrientes de higos frescos y secos.....	11
<b>Tabla 2</b> Actividades de agua de soluciones saturadas usadas para la determinación de estabilidad humedad a 20 °C. ....	61
<b>Tabla 3</b> Parámetros estadísticos p y RMS utilizados en la evaluación de simulación de humedad durante el secado solar directo de higo. ....	78
<b>Tabla 4</b> Componentes bioactivos en higo secado solar directo. ....	82
<b>Tabla 5</b> Actividad antioxidante en higo seco. ....	83
<b>Tabla 6</b> Estabilidad de humedad experimental y simulado para el modelo matemáticos de GAB. ....	84
<b>Tabla 7</b> Parámetros estadísticos p utilizados en la evaluación de simulación de estabilidad de humedad de higo seco. ....	86

## Relación de Figuras

Figura 1. Frutos de higo en sus estadios de madurez: madurez de consumo y estado de senescencia. ....	9
<b>Figura 2.</b> Lugar de ejecución del secado solar, Valle de Yauce-Ocoña-Arequipa ...	31
<b>Figura 3.</b> Frutos de higo usados en el secado solar directo. ....	33
<b>Figura 4.</b> Diseño metodológico a seguir en la investigación. ....	36
<b>Figura 5.</b> Diseño experimental a usarse en la investigación. ....	37
<b>Figura 6.</b> Forma asumida de los frutos de higo. ....	38
<b>Figura 7.</b> Tarima para el secador solar directo. ....	40
<b>Figura 8.</b> Diferentes estadios del higo maduro. ....	41
<b>Figura 9.</b> Capa de cama de los higos en el secador. ....	43
<b>Figura 10.</b> Temperatura ambiental 41.8 °C y HR (%) de 45.1 %, durante el secado. ....	43
<b>Figura 11.</b> Resultados de prueba de normalidad de pesos de las muestras de higo usadas. ....	67
<b>Figura 12.</b> Prueba de normalidad para tamaños de los frutos de higo. ....	68
Figura 13. Estado inicial de los frutos de higo antes de someter al secado solar. ....	69
<b>Figura 14.</b> Prueba de normalidad para contenido de humedad. ....	70
<b>Figura 15.</b> Contenido de humedad experimental en los higos durante el secado solar directo. ....	71
<b>Figura 16.</b> Relación de humedad (MR) durante el tiempo(s) de secado solar directo del higo. ....	73
<b>Figura 17.</b> Difusividad efectiva de agua durante el secado solar directo en higo. ....	74

<b>Figura 18.</b> Humedad experimental y simulados versus el tiempo en el secado solar de frutos de higo.....	77
<b>Figura 19.</b> Distribución normal para contenido de humedad en el higo seco.....	80
<b>Figura 20.</b> Isotherma de adsorción de agua experimental y simulado para higo seco a 20°C.....	85



## I. INTRODUCCIÓN

La fruta fresca del higo tiene una vida útil corta después de la cosecha, de 7 a 8 días si se refrigera, por lo que a menudo se seca para su uso posterior y esta fruta seca, que puede almacenarse durante seis a ocho meses, es un artículo comercial importante (Veberic et al., 2008). El cultivo de higos secos de origen griego es muy conocido, debido a las peculiares características organolépticas de este producto: color claro, aroma agradable y sabor dulce. En Italia, la mayor parte de la producción proviene de las regiones del sur, especialmente de Calabria, Campania, Puglia y Sicilia.

*Ficus carica L.* es uno de los árboles frutales cultivados más antiguos, perteneciente a la familia Moraceae, comúnmente cultivado en regiones subtropicales. El higo puede considerarse una excelente fuente de fibra dietética, minerales y vitaminas. Estos incluyen hierro, calcio, potasio, tiamina (B1), riboflavina (B2) y lignina. La gran cantidad de fibra soluble en el higo juega un papel importante en la regulación del azúcar en sangre, así como en la regulación de la pérdida de peso (Solomon et al., 2006a). aparte de poseer minerales y vitaminas posee compuestos bioactivos como, antocianinas y polifenoles. Los compuestos polifenólicos y flavonoides de la fruta fresca proporcionan una alta capacidad antioxidante en total (Yan et al., 2008). Además, vale la pena saber que los higos secos tienen mayor capacidad antioxidante en comparación con los higos frescos (Arvaniti et al., 2019a). El higo se utiliza en la medicina tradicional debido a sus efectos beneficiosos para la

salud en el estreñimiento, las enfermedades cardiovasculares, la inflamación y los problemas espasmódicos ([Oliveira et al., 2009a](#)).

El secado es una de las actividades postcosecha más importantes en la agricultura, ya que permite preservar los alimentos por un mayor tiempo al evitar su descomposición, y es que según algunas estimaciones ([Dissa et al., 2009](#)) en los países en desarrollo se llega a perder entre un 40 a 60% de las cosechas, debido a la falta de métodos adecuados de transporte y conservación. De aquí la importancia del empleo del secado como uno de los métodos para preservar los productos agrícolas, reduciendo las pérdidas y aumentando la disponibilidad de alimentos para la población.

Existen zonas rurales en el Perú donde la energía eléctrica es escasa, y donde existe aún es costoso, las zonas rurales muchas veces se tiene un buen clima cálido y seco que no es aprovechada en muchos lugares. Las tecnologías de secado solar ofrecen una alternativa viable para procesar los productos agrícolas en forma limpia e higiénica, cumpliendo con la normatividad existente para el manejo de los alimentos, y así contribuir a reducir el consumo de combustibles tradicionales, mejorar la calidad de los productos, reducir las pérdidas postcosecha y cuidar el medio ambiente ([Tunde-Akintunde, 2011](#)).

Las altas temperaturas de secado pueden afectar los parámetros de calidad de la fruta, como el color, las vitaminas, la textura y las propiedades sensoriales ([Zielinska & Michalska, 2016a](#)). Pueden tener un efecto negativo sobre los compuestos

bioactivos (Pokorny & Schmidt, 2003). La degradación de los compuestos bioactivos en frutas y verduras depende del tipo de alimento, el tiempo de procesamiento, la temperatura de procesamiento y las condiciones de almacenamiento (Murcia et al., 2001). La calidad final de los frutos secos debe ser segura para los consumidores y poseer una alta calidad. Por lo tanto, la evaluación de la calidad de la fruta después del secado es importante. Existen pocos estudios detallados sobre la cinética de secado solar directo de frutos de higo (*Ficus carica*) en la determinación del tiempo de secado y los daños producidos a sus componentes bioactivos. Considerando que el higo tiene cualidades potenciales de compuestos activos, con el estudio, se plantea reducir los errores en la estimación de difusividad y tiempo de secado haciendo uso de un análisis numérico de la transferencia de humedad por el método de Alvarez y Legues así y como también evaluar los cambios en los compuestos bioactivos consecuencia del secado solar directo.

## **1.1 Formulación del problema**

¿El secado solar directo afecta la pérdida de humedad, contenido de compuestos bioactivos, actividad antioxidante y estabilidad en el higo (*Ficus carica*)?

### **Problema específico**

1. ¿Cómo es el ajuste de pérdida de humedad en el higo durante el secado solar directo usando el método de Alvarez y Legues?

2. ¿Cómo afecta el secado solar directo sobre los compuestos bioactivos en el higo seco?
3. ¿Cómo afecta el secado solar directo sobre la actividad antioxidante en el higo seco?
4. ¿Cómo es la estabilidad de humedad en el higo seco después del proceso de secado solar directo?

## **1.2 Objetivo general:**

Determinar si el secado solar directo afecta la pérdida de humedad durante, contenido de compuestos bioactivos, actividad antioxidante y estabilidad de humedad en el higo (*Ficus carica*).

### **Objetivo específico:**

1. Determinar el ajuste de la pérdida de humedad en el higo durante el secado solar directo por el método de Alvarez y Legues.
2. Determinar si el secado solar directo afecta a los compuestos bioactivos en el higo seco.
3. Determinar si el secado solar directo afecta su actividad antioxidante del higo seco.

4. Determinar la estabilidad de humedad en el higo seco después del proceso de secado solar directo.

### **Hipótesis**

El secado solar directo afecta la pérdida de humedad, contenido de compuestos bioactivos, actividad antioxidante y estabilidad en el higo (*Ficus carica*).

### **Hipótesis específica**

1. El ajuste de pérdida de humedad en el higo durante el secado solar directo usando el método de Alvarez y Legues es muy bueno.
2. El secado solar directo afecta a los compuestos bioactivos en el higo seco.
3. El secado solar directo afecta la actividad antioxidante del higo seco.
4. El higo seco después del proceso de secado solar directo presenta una buena estabilidad de humedad.

## II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 ANTECEDENTES

[Hssaini et al. \(2020\)](#), determinaron las propiedades higroscópicas del higo (*Ficus carica* L.): modelado matemático de isotermas de sorción de humedad y cinética de calor esotérico. La zona de histéresis notable en el rango de actividad del agua de 0,4 a 0,8.

[Arvaniti et al.\(2019a\)](#), realizaron una revisión sobre higos frescos y secos: análisis químico y presencia de compuestos fitoquímicos, capacidad antioxidante y efectos sobre la salud. Concluyendo que en futuros deben centrarse en la aplicación de extractos de higo como ingredientes funcionales de productos alimenticios, en ensayos clínicos para confirmar el efecto beneficioso de los extractos de plantas en la salud humana y en la valorización del material de desecho producido durante el procesamiento de higos.

[Desa et al. \(2019\)](#), realizaron una revisión de las tecnologías de secado de higo. Donde concluyen que en contraste con el costoso secado artificial que consume mucha energía y el lento y poco confiable secado al sol, el secado solar puede proporcionar una alternativa con una capacidad de secado adecuada.

[Yeganehzad et al.\(2020\)](#), realizaron formulación, desarrollo y caracterización de un novedoso snack funcional de frutas a base de higo (*Ficus carica* L.) recubierto

de chocolate sin azúcar, obteniendo resultados satisfactorios de las pruebas de evaluación sensorial donde demostraron que las muestras con recubrimiento de hidrocoloide fueron las preferidas por los panelistas.

[Abdel-Rahman et al. \(2021\)](#), evaluaron los efectos terapéuticos del extracto de *Ficus carica* como agente antioxidante y anticancerígeno. Los resultados obtenidos indicaron una fuerte actividad antioxidante del extracto con 1 mg/ml con una capacidad de eliminación de DPPH del 75.7 %. Las actividades anticancerígenas del extracto mostraron fuertes porcentajes de inhibición frente a todas las líneas celulares seleccionadas. El extracto etanólico crudo de *F. carica* tuvo efectos potentes contra las células de carcinoma de laringe humano (Hep-2) y hepatocellular carcinoma (HepG2) con porcentajes de inhibición que oscilaron entre 80.7 y 66.9 %.

[Ouchemoukh et al.\(2012a\)](#), realizaron estudios sobre actividades antioxidantes de algunos frutos secos consumidos en Argelia, reportando resultados que los albaricoques y los higos tenían la mayor concentración de carotenoides (10.7 y 10.8 mg bCE/100 g, respectivamente). Las pasas fueron los frutos más ricos en concentración de fenoles totales (1.18 g GAE/100 g) y proantocianidinas (17.53 mg CE/100 g). Además, los higos presentaron la mayor concentración de flavonoides (105.6 mg QE/100 g) y antocianinas (5.9 mg/100 g).

## 2.2 HIGO

La higuera común (*Ficus carica L.*), perteneciente a la familia Moraceae, se encuentra entre los cultivos arbóreos y plantas medicinales más antiguas utilizadas por los humanos (Shi et al., 2018). *Ficus carica* es autóctona del sudoeste de Asia al noroeste de la India, se ha naturalizado en toda el área del Mediterráneo y ahora se cultiva en todas las áreas tropicales y subtropicales (Lim & Lim, 2012). *Ficus carica* es un árbol pequeño (de 5 a 10 m de altura), con hojas grandes y lobuladas, que produce frutos nutritivos de formas piriformes a globosas y de diferentes colores (verde, amarillo, rojo, violeta y negro) (Lim & Lim, 2012).

El higo es un delicioso y nutritivo fruto de árbol del género *Ficus carica*, que pertenece a la familia botánica Moraceae (Solomon et al., 2006b). Hay más de 800 variedades diferentes del género *Ficus carica*, cultivadas principalmente en climas cálidos y secos, como el Medio Oriente y la región mediterránea (Harzallah et al., 2016; Meziat et al., 2015; Ouchemoukh et al., 2012b; Solomon et al., 2006b). Los principales cultivares de higo son: Mission, Brown Turkey, Kadota, Bursa siyahi, Sarilop y Sarizeybek (Crisosto et al., 2010; Yemiş et al., 2012). En 2011, se produjeron un millón de toneladas de higos en todo el mundo, mientras que el 76% de la cosecha total se originó en la región mediterránea. Turquía aportó del 20 al 30 % de la producción mundial, seguida de Egipto, Marruecos, Irán, Argelia y Grecia (Maghsoudlou et al., 2017; Veberic et al., 2008b; Viuda-Martos et al., 2015).



La fruta fresca del higo tiene una vida útil corta después de la cosecha, de 7 a 8 días si se refrigera, por lo que a menudo se seca para su uso posterior y esta fruta seca, que puede almacenarse durante seis a ocho meses, es un artículo comercial importante (Veberic et al., 2008a).

Los frutos del higo, durante su estadio de madurez de consumo presentan una frescura muy alta, conforme transcurre el tiempo de fruto va perdiendo su frescura y en la planta presenta una deshidratación para finalmente desprenderse de su ápice y luego cae al suelo el fruto, este fruto que es desprendido de la planta de manera natural, presenta una característica de deshidratación, es cogido para llevar a los secadores solares o artificiales.



*Figura 1. Frutos de higo en sus estadios de madurez: madurez de consumo y estado de senescencia.*

El higo seco tiene la mejor puntuación nutricional entre los frutos secos, siendo una fuente importante de fibra dietética, minerales y vitaminas (Badgujar et al., 2014). No contiene grasa ni colesterol y es rico en aminoácidos, polifenoles, proteínas y azúcares. Los niveles de estos compuestos dependen en gran medida de los cultivares y genotipos de higo (Solomon et al., 2006b; Veberic & Mikulic-Petkovsek, 2015). No solo frescos y secos, los higos también se utilizan mucho en los países mediterráneos como mermelada o con cobertura de chocolate, así como ingredientes del Panettone italiano y la Colomba, dulces tradicionales de Navidad y Semana Santa. Como ya se mencionó, los elementos inorgánicos son constituyentes notables de los higos; desempeñan una parte esencial en los sistemas biológicos y el desarrollo corporal pero, por otro lado, los minerales pueden ser tóxicos cuando su ingesta supera los niveles funcionales (Bella et al., 2015; Licata et al., 2012; Potortì et al., 2013). Seguramente, diversas variedades vegetales permiten una acumulación de elemento esencial y tóxico con diferentes resultados (Bella et al., 2015; Potortì et al., 2013).

### ***2.2.1 Composición fisicoquímica***

Los higos presentan una fuente rica en minerales, vitaminas y fibra dietética; no contienen grasa ni colesterol y contienen un alto número de aminoácidos (Slavin, 2006; Solomon et al., 2006b). Al igual que otras especies frutales, los higos contienen azúcares y ácidos orgánicos que influyen en su calidad (Veberic & Mikulic-Petkovsek, 2015).

**Tabla 1***Contenido de nutrientes de higos frescos y secos.*

<b>Componente dietario</b>	<b>Valores/ 100 g fresco</b>	<b>Valores/100 g seco</b>
Agua(g)	79.11	30.05
Calorías totales (kcal)	74	249
Proteína (g)	0.75	3.3
Grasa total (g)	0.3	0.93
Grasa saturada (g)	0.06	0.93
Fibra(g)	2.9	9.8
Azúcar(g)	16.29	47.92
Colesterol (mg)	0	0
Calcio (mg)	35	162
Hierro(mg)	0.37	2.03
Magnesio(mg)	17	68
Fosforo(mg)	14	67
Potasio (mg)	232	680
Sodio(mg)	1	10
Zinc(mg)	0.15	0.55
Vitamina A (UI)	142	10
Vitamina C(mg)	2	1.2
Thiamina (mg)	0.06	0.085
Riboflavina (mg)	0.05	0.082

Fuente: USDA (2018).

El higo es una fruta de temporada que produce dos veces al año, ya sea durante la temporada de primavera y verano o al principio y al final del verano, dependiendo del cultivar (Ouchemoukh et al., 2012b; Vallejo et al., 2012). Su color varía de morado oscuro a verde (Solomon et al., 2006b). Se puede consumir fresca, pelada o sin pelar, seca, en mermelada y también en jugo (Harzallah et al., 2016;

[Hoxha & Kongoli, 2016](#); [Solomon et al., 2006b](#)). Los higos frescos y secos son fuentes importantes de oligoelementos (hierro, calcio, potasio) y vitaminas (tiamina y riboflavina), que contienen más de 17 tipos de aminoácidos ([Ouchemoukh et al., 2012b](#); [Solomon et al., 2006b](#); [Viuda-Martos et al., 2015](#)). Los higos no contienen sodio, grasas ni colesterol, mientras que son ricos en fibras y compuestos antioxidantes ([Solomon et al., 2006b](#); [Veberic et al., 2008b](#); [Veberic & Mikulic-Petkovsek, 2015](#)). El valor nutricional de los higos frescos y secos se resume en la Tabla 1.

Las pulpas de higo fueron más ácidas ( $p < 0.05$ ) que sus cáscaras ( $0.4 \pm 0.11$  y  $0.2 \pm 0.05\%$ ) ([Mahmoudi et al., 2018](#)). ([Oliveira et al., 2009b](#)) reportaron que las cáscaras de higo exhibieron contenidos más bajos de ácidos orgánicos que las pulpas.

### ***2.2.2 Propiedades nutricionales***

Los frutos de higos son bajos en contenido graso (0.30 g/100 g para frescos y 0.9 g/100 g para secos), bajo en sodio y altos en fibra (2.9 g/100 g para frescos y 9.8 g/100 g para seco) ([J. Vinson, 1999](#)). Una ración de 100 g de higo aporta los siguiente: hierro 6%, calcio 6%, potasio 7%, tiamina (BI) 7.1% y riboflavina 6.2%. La fruta del higo contiene 15 tipos de aminoácidos, los aminoácidos como Ala, Ser, Lys y Glysergin se presentes en las cantidades altas ([Brunetto et al., 2020](#)), y de todas las frutas comunes los higos secos ofrecen los contenidos más altos de fibra cruda (5.8%). Más del 28% de la fibra es del tipo soluble, que se ha demostrado que ayuda a controlar el azúcar y el colesterol en la sangre y contribuye a la pérdida de peso. Por lo tanto, los higos son un complemento ideal para las dietas de adultos y niños porque

representan una excelente fuente de alimentos naturalmente dulces y ricos en fibra que pueden ayudar a reducir el peso (J. Vinson, 1999). En un estudio, Caliskan (2012) indicaron que los azúcares predominantes presentes en los higos son la fructosa (56%) y la glucosa (43%), según lo determinado por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC). Los contenidos de fructosa (FRUC), glucosa (GLUC) y sacarosa (SUC) de las accesiones de higos marrones y morados fueron más altos que los de otros grupos de color. La composición de azúcar del higo puede influir en la percepción de la dulzura de la fruta. La fructosa tiene un dulzor relativo más alto que la glucosa (Setser & Brannan, 2003). Por lo tanto, la percepción de la dulzura de una accesión de higos probablemente se deba a la prevalencia de la fructosa (Caliskan, 2011).

### **2.3 COMPUESTOS BIOACTIVOS EN HIGO**

Los compuestos bioactivos son sustancias que se encuentran en los alimentos de origen vegetal, biológicamente activos; se encuentran en las plantas y son ampliamente investigados por los científicos para su provención de la salud (Muñoz Jáuregui et al., 2014).

Los principales compuestos bioactivos en los higos frescos y secos incluyen los ácidos fenólicos, flavonoides y carotenoides. En la piel del higo, especialmente las que tienen un color oscuro, poseen las concentraciones más altas de fitoquímicos que exhiben alta actividad antioxidante en comparación de las pulpas de higo (Mahmoudi et al., 2018).

### **2.3.1 Antocianinas**

Las antocianinas son pigmentos solubles en agua que pertenecen a la familia de los flavonoides (compuestos fenólicos). Estos son glucósidos de antocianidina derivados del 2-fenilbenzopirilio (ion flavilio) que contienen dos anillos aromáticos (A y B) (Welch et al., 2008), separados por una molécula de oxígeno que tiene un anillo heterocíclico de 6 miembros (anillo C) (Zhao et al., 2017).

Las antocianinas son comúnmente sintetizadas por las plantas y presentan diferentes colores como rojo, naranja, azul y púrpura, según condiciones de pH (Navas et al., 2012). La presencia de antocianinas en diversas partes de la planta es de gran importancia, se sabe que las antocianinas juegan un papel importante en la ecofisiología y en la propagación de plantas; ayudan a atraer polinizadores y participan en los mecanismos de defensa de las plantas contra los factores de estrés bióticos y ambientales (Menzies et al., 2016).

Aguilera-Ortíz et al.(2009) reportaron antocianinas monoméricas en el higo de 162 mg (100 g de tejido epidérmico como cianidina-3-glucósido (Cy-3-glu)). Un total de 2.95 g de antocianina fue extraída y purificada del tejido epidérmico de 10 kg de higo azul-morado, obtenido por espectrofotometría. Los resultados fueron de cianidina no hidrolizada de 195 mg/ 100 g muestra liofilizada y cianidina hidrolizada de 293 mg/ 100 g muestra liofilizada obtenido por método de HPLC.

Se ha cuantificado en numerosos estudios que el higo contiene desde 0.1 mg hasta 27.3 mg eq. Cianidina-3-glucosido/ 100 g según la variedad y la parte del higo (Aguilera-Ortíz et al., 2009; Slatnar et al., 2011; Solomon et al., 2006c)

El contenido de flavonoides fue reportado desde 1.6 mg a 45.6 mg eq. Catequina/ 100 g de muestra, que depende de la variedad y la parte del higo (Slatnar et al., 2011; Solomon et al., 2006c).

### **2.3.2 Polifenoles totales**

Los frutos de *Ficus carica* contienen un alto contenido fenólico y muestran una buena actividad antioxidante (Amessis-Ouchemoukh et al., 2017; Bachir Bey et al., 2017). La mayoría de los compuestos flavonoides se concentran en las cáscaras de las frutas (Del Caro & Piga, 2008; Solomon et al., 2006b). Solo se llevó a cabo un número limitado de estudios sobre la composición bioactiva de las cáscaras de *Ficus carica* (Ammar et al., 2015; Del Caro & Piga, 2008; Harzallah et al., 2016; Mahmoudi et al., 2018; Oliveira et al., 2009a; Palmeira et al., 2019; Solomon et al., 2006b) y, hasta donde sabemos, es la primera vez que se evalúan los extractos de cáscaras de *F. carica* por su inhibición enzimática. y actividades antioxidantes.

Se han realizado varios estudios sobre los compuestos fenólicos de los higos, como ácidos fenólicos, flavonoides y antocianinas con capacidad antioxidante que se han aislado de frutos de higo (Caliskan, 2011; Dueñas et al., 2008; Veberic & Mikulic-Petkovsek, 2015).

Numerosos estudios sobre *F. carica* han confirmado la presencia de diversos compuestos bioactivos como: compuestos fenólicos, fitoesteroles, ácidos orgánicos, composición de antocianinas, triterpenoides, cumarinas y compuestos volátiles como hidrocarburos, alcoholes alifáticos. Los compuestos fenólicos, ácidos orgánicos y compuestos volátiles son muy comunes en la mayoría de los cultivares de *F. carica* (Gibernau et al., 1997a; Oliveira et al., 2009a). Los compuestos fenólicos son favorables para la salud humana, ya que pueden actuar como antioxidantes, cuyo consumo se asocia con resultados favorables para la salud (Çalışkan & Polat, 2011).

Muchos estudios sobre *F. carica* han confirmado la presencia de varios compuestos bioactivos como: compuestos fenólicos, fitoesteroles, ácidos orgánicos, composición de antocianinas, triterpenoides, cumarinas y compuestos volátiles como hidrocarburos, alcoholes alifáticos. Los compuestos fenólicos, ácidos orgánicos y compuestos volátiles son muy comunes en la mayoría de los cultivares de *F. carica* (Gibernau et al., 1997b; Oliveira et al., 2009b). Los compuestos fenólicos son favorables para la salud humana, ya que tienen la capacidad de actuar como antioxidantes, cuyo consumo se asocia con resultados favorables para la salud (Caliskan, 2011).

Los ácidos fenólicos se pueden subdividir en dos subclases; a saber, derivados del ácido benzoico (o ácidos hidroxibenzoicos) y derivados del ácido cinámico (o ácidos hidroxicinámicos). Los ácidos hidroxibenzoicos tienen la misma estructura básica que el ácido benzoico, pero contienen uno o más grupos hidroxilo en varias posiciones del anillo de benceno (Arvaniti et al., 2019b).



Con respecto a los flavonoides, las clases representativas más estudiadas son los flavanoles, flavonoles, flavonas y antocianidinas. Los flavonoles son moléculas que se diferencian por los demás flavonoides. Estos compuestos contienen tres anillos; un doble enlace entre las posiciones 2 y 3, un oxígeno en la posición 4 y un grupo hidroxilo en la posición 3. Un azúcar puede unirse en el grupo 3-hidroxilo y, como resultado, estos compuestos generalmente aparecen como glucósidos. Los azúcares más comunes que se unen a los flavonoles son la glucosa y la ramnosa (Arvaniti et al., 2019b). En cuanto a los flavanoles, no contienen un grupo cetona y generalmente no se presentan como glucósidos. Las antocianidinas tienen un azúcar unido en la posición 3. Los flavonoides que tienen numerosos grupos hidroxilo son antioxidantes más efectivos que aquellos que solo tienen uno (Shahidi & Ambigaipalan, 2015; Wang et al., 2018).

Los colores como el verde, amarillo, marrón, morado y negro de los higos se originan en los pigmentos carotenoides y antocianinas producidos en los frutos durante la maduración. El consumo de estos compuestos hace que promueven la salud brindando protección contra varias enfermedades humanas (Oliveira et al., 2009b). Los higos secos también contienen una de las más altas concentraciones de polifenoles (Miura et al., 1998) y, por lo tanto, es posible producir alimentos y bebidas con las concentraciones más altas en polifenoles usando el fruto de higo. Poniéndolo en perspectiva, 40 g de higos, una porción sugerida, proporciona un promedio de 444 mg de fenoles, que es el consumo per cápita más alto de polifenoles vegetales, el consumo estimado normalmente es de 218 mg/día (J. Vinson, 1999). Vinson et al. (J. A. Vinson et al., 2005) determinaron la cantidad, calidad de polifenoles y antioxidantes en frutos

secos y los compararon con los frutos frescos correspondientes. Salomón et al. (Solomon et al., 2006b) estudiaron los componentes potenciales que promueven la salud de seis cultivares comerciales de higo que difieren en color (negro, rojo, amarillo y verde) para polifenoles totales (TP), flavonoides totales, capacidad antioxidante total (TAC) y cantidad y perfil de antocianinas totales (TA). El análisis con un cromatógrafo de líquidos de fase reversa (RP-LC) reveló concentraciones variables de antocianinas, pero perfiles similares en todos los cultivares estudiados.

### ***2.3.3 Propiedades antioxidantes***

Los antioxidantes son compuestos nutritivos y no nutritivos que pueden retardar o inhibir la oxidación y/o neutralizar los efectos perjudiciales de los radicales libres (Muñoz Jáuregui et al., 2014).

Los compuestos antioxidantes naturales como los compuestos fenólicos, los ácidos orgánicos, la vitamina E y los carotenoides son compuestos saludables que se encuentran en diferentes frutas y verduras, también están presentes en los higos. Estos compuestos pueden inhibir la formación de radicales libres al reducir o donar hidrógeno a otros compuestos. Entre ellos, los compuestos fenólicos son los más populares debido a sus conocidas capacidades antioxidantes, mientras que también hay componentes importantes de color, sabor y aroma (Arvaniti et al., 2019b). Dos categorías principales de compuestos fenólicos son los ácidos fenólicos y los flavonoides (S. K. Chang et al., 2016; El Gharras, 2009; Shahidi & Ambigaipalan, 2015).

## 2.4 SECADO SOLAR DIRECTO

En los secadores solares directos la radiación es absorbida por el propio producto, resultando más efectivo el aprovechamiento de la energía para producir la evaporación del agua. Esto debido a que la presión de vapor en la superficie del producto crece por la absorción de radiación solar. Por lo tanto, el gradiente de presiones de vapor entre producto y aire se hace mayor y se acelera el secado ([Ramírez Sandoval, 2014](#)).

Dentro de los diferentes sistemas de secado de productos alimentarios, el secado solar tradicional es, todavía hoy, el procedimiento más utilizado en todo el mundo, sobre todo cuando se trata del secado de granos, frutos y semillas utilizando sistemas del tipo secaderos a nivel de piso, a una altura del piso en tarimas o tipo mesas con circulación libre de aire. El sistema de secado es simple usando energía solar, el secador solar de radiación directa es un sistema de bajo costo, eficiente y bastante utilizado en el secado de alimentos. Por otro lado, este sistema tiene como inconveniente la dificultad del control de las condiciones operativas como: control de temperatura, velocidad y humedad relativa del aire, ya que tales parámetros dependen de las condiciones climatológicas de cada región. El secador de radiación directa está compuesto por un cajón rectangular de metal aislado con lana de vidrio, cubierto con un vidrio transparente donde incide la energía solar y en su parte inferior una placa de metal pintada de negro para absorción de la energía incidente ([Machado et al., 2010](#)).

El secado es un proceso simultáneo de transferencia de calor y masa, acompañado por un cambio de fase ([Barbanti et al., 1994](#)). El secado como método de preservación es ampliamente usado para disminuir la actividad de agua de los alimentos, por lo que se minimizan las reacciones bioquímicas de degradación en el almacenamiento a temperatura ambiente ([Doymaz, 2006](#)). No obstante, este proceso depende de varios factores internos, por ejemplo, el espesor y geometría del producto, y de ciertas condiciones del aire de secado, tales como la temperatura, humedad relativa y velocidad ([Krokida et al., 2003](#)).

El secado puede describirse como un método de conservación industrial, en el que el contenido de agua y la actividad de las frutas y verduras se reducen mediante el aire caliente, para minimizar el deterioro bioquímico, químico y microbiológico. El secado de productos agrícolas es la reducción de su contenido de humedad a un nivel que permita un almacenamiento seguro durante un período prolongado ([Doymaz & İsmail, 2011](#)).

Los productos secos requieren empaque minimizados y menores costos de transporte resultado del peso reducido ([Sabarez et al., 1997](#)). Se utilizan comercialmente varios métodos de secado para eliminar la humedad de una amplia variedad de alimentos, incluidas frutas y verduras. El secado al sol es el método más común que se utiliza para conservar los productos agrícolas. Es un método económico de conservación porque utiliza un recurso natural / fuente de calor: la luz solar. Sin embargo, la lentitud del proceso, la exposición a la contaminación ambiental, las condiciones climáticas inestables (nubosidad y lluvia), la infestación de insectos y los

requerimientos de mano de obra son algunas de sus desventajas ([Aghbashlo et al., 2008a](#); [Kostaropoulos & Saravacos, 1995](#)). El secado de frutas es uno de los procesos que más tiempo y energía consume en la industria alimentaria. Para reducir el tiempo de procesamiento y, por lo tanto, para acelerar el proceso de secado, se deben superar una serie de obstáculos ([Doymaz & İsmail, 2011](#)).

El uso de secador solar ayuda a controlar la temperatura, reducir el tiempo de secado y preservar la calidad del producto secado en comparación con el secado al sol. En los últimos años, se han realizado varios intentos para desarrollar y optimizar secadores solares principalmente para conservar alimentos. Los sistemas de secado solar deben diseñarse adecuadamente para cumplir los requisitos particulares de secado de cultivos específicos y para ofrecer un rendimiento satisfactorio con respecto a las necesidades energéticas ([Steinteld & Segal, 1986](#)). Las características de secado y los modelos de simulación del material específico a secar son necesarios para comprender los mecanismos de transporte subyacentes y son requisitos previos para simular o ampliar con éxito todo el proceso para optimizar o controlar las condiciones operativas. Varios investigadores han desarrollado modelos de simulación para sistemas de secado solar por convección natural y forzada ([Dincer, 1996](#); [Exell, 2017](#); [Tiris et al., 1994](#); [Zielinska & Michalska, 2016a](#)).

Lo inconveniente del secado solar, es la variación en sus componentes por efecto de la radiación directa en el caso del secado solar directo, haciendo ciertos estudios es posible superar este inconveniente. Las altas temperaturas de secado pueden afectar los parámetros de calidad de la fruta, como el color, las vitaminas, la

textura y las propiedades sensoriales (Zielinska & Michalska, 2016b). Pueden tener un efecto negativo sobre los compuestos bioactivos (Pokorny & Schmidt, 2003). La degradación de los compuestos bioactivos en frutas y verduras depende del tipo de alimento, el tiempo de procesamiento, la temperatura de procesamiento y las condiciones de almacenamiento (Murcia et al., 2001). La calidad final de los frutos secos debe ser segura para los consumidores y poseer una alta calidad. Por lo tanto, la evaluación de la calidad de la fruta después del secado es importante (Ouaabou et al., 2018).

#### ***2.4.1 Secado solar de frutos***

La energía solar como una alternativa de gran interés por sus cualidades y características de ser limpia, presenta un potencial de futuro, en la actualidad es altamente disponible en el Perú y sobre todo en la región andina, donde se tiene horas-sol casi todo año. Para algunos productos la acción de la radiación solar puede destruir algún compuesto orgánico que lo compone (Moreno, 2017).

El secado de alimentos es una operación unitaria destinada a la eliminación de humedad mediante aplicación de calor en condiciones controladas e implica la transferencia simultánea de calor, masa y cantidad de movimiento, donde el calor penetra en el alimento para evaporar el agua que es retirada por una fase gaseosa insaturada circulante o aire de secado (Belén-Camacho et al., 2007). La reducción del contenido de humedad aumenta la vida útil de los productos ya que ocasiona un descenso de la actividad de agua ( $a_w$ ), lo que inhibe el crecimiento microbiano y

disminuye la velocidad de varias reacciones deteriorantes. El secado puede favorecer la pérdida de constituyentes de interés nutricional o producir modificaciones indeseables en los atributos sensoriales, situación que está influenciada por el método de secado empleado y las condiciones en que éste se aplica (Brennan et al., 1998; Rizvi, 1986; S. K. Sharma et al., 2003).

Un contenido elevado de humedad en los alimentos ha sido un obstáculo para la disponibilidad de productos para todas las estaciones. Los métodos para reducir el contenido de humedad son las soluciones claves para mejorar la vida de almacenamiento de productos frescos (Bonazzi & Bimbenet, 2008; Jeantet et al., 2008).

El secado de frutas es un proceso de reducción de contenido de agua, a través de ella se conserva dicha fruta por periodos prolongados según la condición ambiental y empaque de protección. El secado tiene muchas ventajas para la calidad de los alimentos al disminuir la actividad del agua, reducir la actividad microbiológica y minimizar los cambios físicos y químicos (Mujić et al., 2014).

El secado solar de las frutas es una alternativa económica y práctica para prevenir pérdidas poscosecha y extender la vida útil mientras se mantiene la calidad de la fruta (Doymaz & İsmail, 2011; Ouaabou et al., 2018).

#### ***2.4.2 Cinética de secado***

El secado de alimentos de cualquier origen requiere un estudio minucioso de las condiciones de operación, teniendo en cuenta las características deseadas en el producto final a obtener. La cinética del secado debe ser bien definida con relación a los efectos de las propiedades del material y del medio de secado, en particular por medio de las propiedades de transporte, como conductividad y difusividad térmica, difusividad másica, coeficientes de transferencia de calor y masa (Sokhansanj, 1984). Sin embargo, los modelos usados para simular la cinética del secado, también pueden ser utilizados para diseñar unidades nuevas, así como para controlar y optimizar unidades ya existentes (Karathanos & Belessiotis, 1999).

La solución analítica de la segunda ley de Fick (Ecuación 1) difusión en estado inestable en coordenadas esféricas con los supuestos de migración de humedad por difusión, contracción insignificante, coeficientes de difusión constante y temperatura durante el proceso de secado se da como sigue (Crank, 1979a):

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} = \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \exp\left(-\frac{n^2 \pi^2 D_{eff} t}{r^2}\right) \quad (1)$$

donde MR es la relación de humedad, M es el contenido de humedad en un momento específico (g agua/g base seca), Mo es el contenido de humedad inicial (g agua/g base seca), Me es el contenido de humedad de equilibrio (g agua/g base seca), D<sub>eff</sub> es la difusividad efectiva de la humedad (m<sup>2</sup>/s), r es el radio del fruto de higo (m), y t es el tiempo de secado (s).



La ecuación (1), describe la evolución temporal de la humedad media de un cuerpo sometido a secado, se obtiene a partir de la segunda ley de Fick con las siguientes consideraciones: geometría de esférica infinita, transferencia unidireccional de masa, la resistencia externa convectiva es mucho menor que la resistencia difusional interna, lo que permite suponer un contenido de agua en la interfase del fruto constante e igual al valor de equilibrio con el aire circundante, el coeficiente efectivo de difusión constante y distribución inicial de humedad uniforme (Machado et al., 2010).

En su forma expandida la ecuación 1 para n=5, es como sigue:

$$\begin{aligned} \frac{M-M_e}{M_0-M_e} = & 0.607924 * \exp\left(-9.86965 \frac{D_{ef} * t}{r^2}\right) + 0.15198 * \\ & \exp\left(-39.47860 \frac{D_{ef} * t}{r^2}\right) + 0.06755 * \exp\left(-88.8268 \frac{D_{ef} * t}{r^2}\right) + 0.037995 * \\ & \exp\left(-157.9144 \frac{D_{ef} * t}{r^2}\right) + 0.02432 * \left(-246.7412 \frac{D_{ef} * t}{r^2}\right) \end{aligned} \quad (2)$$

Como una función no lineal seria:

$$\begin{aligned} f_x = & 0.607924 * \exp\left(-9.86965 \frac{D_{ef} * t}{r^2}\right) + 0.15198 * \exp\left(-39.47860 \frac{D_{ef} * t}{r^2}\right) + \\ & 0.06755 * \exp\left(-88.8268 \frac{D_{ef} * t}{r^2}\right) + 0.037995 * \exp\left(-157.9144 \frac{D_{ef} * t}{r^2}\right) + \\ & 0.02432 * \left(-246.7412 \frac{D_{ef} * t}{r^2}\right) - \frac{M-M_e}{M_0-M_e} = 0 \end{aligned} \quad (3)$$

Haciendo la primera derivada es:

$$\begin{aligned}
gx = & - \left( 6 * \exp \left( -9.86965 \frac{D_{ef} * t}{r^2} \right) \right) / r^2 - \left( 6 * \exp \left( -39.47860 \frac{D_{ef} * t}{r^2} \right) \right) / r^2 - \\
& \left( 6 * \exp \left( -88.8268 \frac{D_{ef} * t}{r^2} \right) \right) / r^2 - \left( 6 * \exp \left( -157.9144 \frac{D_{ef} * t}{r^2} \right) \right) / r^2 - \\
& \left( 6 * \left( -246.7412 \frac{D_{ef} * t}{r^2} \right) \right) / r^2
\end{aligned} \tag{4}$$

La difusividad de humedad efectiva ( $D_{ef}$ ) puede estimarse desarrollándose la función a través de soluciones numéricas, tales como Simpson 3/8 u otros.

Realizando la modificación a la ecuación 1 al modelo de Alvarez y Legues es:

$$\frac{M - M_e}{M_0 - M_e} = \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \exp \left( - \frac{n^2 \pi^2}{r^2} \int_{t=0}^{t=ti} D_{ef} dt \right) \tag{5}$$

Haciendo un cambio de variable para fines de cálculo a  $X = \int_{t=0}^{t=ti} D_{ef} * dt$

seria:

$$\begin{aligned}
\frac{M - M_e}{M_0 - M_e} = & 0.607924 * \exp \left( - \frac{9.86965}{r^2} X \right) + 0.15198 * \exp \left( - \frac{39.47860}{r^2} X \right) + 0.06755 * \\
& \exp \left( - \frac{88.8268}{r^2} X \right) + 0.037995 * \exp \left( - \frac{157.9144}{r^2} X \right) + 0.02432 * \left( - \frac{246.7412}{r^2} X \right)
\end{aligned} \tag{6}$$

El valor de X podemos determinar por métodos iterativos de soluciones numéricas de Newton Raphson. Seguidamente utilizando una regresion del tipo potencial se relacionó la funcion  $\int_{t=0}^{t=ti} D_{ef} dt = p(ti)^q$  versus tiempo, donde se

determinan los parametros “p” y “q” de la ecuación 7 que gobierna dicho comportamiento, es:

$$\int_{t=0}^{t=ti} D_{ef} dt = p(ti)^q \quad (7)$$

Cálculo del  $D_{ef}$  a partir de  $X = \int_{t=0}^{t=ti} D_{ef} * dt$

Conocida la relacion matemática  $\int_{t=0}^{t=ti} D_{ef} dt = p(ti)^q$  versus tiempo, derivando la función que relaciona a la difusividad efectiva como una funcion del tiempo de secado, la difusividad efectiva queda así:

$$D_{ef} = p * q * t^{q-1} \quad (8)$$

$$A=p*q$$

$$B= q-1$$

$$D_{ef} = A * t^B \quad (9)$$

Seguidamente se determinaron los valores de humedad (bs) simulando para cada tiempo de secado de los higos usando la ecuacion (10). Quedando finalmente el modelo matemático, un modelo semi-teórico que puede expresarse bajo la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} \frac{M-M_e}{M_0-M_e} = & 0.607924 * \exp\left(-\frac{9.86965}{r^2}p(ti)^q\right) + 0.15198 * \exp\left(-\frac{39.47860}{r^2}p(ti)^q\right) + \\ & 0.06755 * \exp\left(-\frac{88.8268}{r^2}p(ti)^q\right) + 0.037995 * \exp\left(-\frac{157.9144}{r^2}p(ti)^q\right) + \\ & 0.02432 * \left(-\frac{246.7412}{r^2}p(ti)^q\right) \end{aligned} \quad (10)$$

La humedad simulada en función del tiempo sería

$$\begin{aligned} M = (M_0 - M_e) & \left[ 0.607924 * \exp\left(-\frac{9.86965}{r^2}p(ti)^q\right) + 0.15198 * \right. \\ & \exp\left(-\frac{39.47860}{r^2}p(ti)^q\right) + 0.06755 * \exp\left(-\frac{88.8268}{r^2}p(ti)^q\right) + 0.037995 * \\ & \left. \exp\left(-\frac{157.9144}{r^2}p(ti)^q\right) + 0.02432 * \left(-\frac{246.7412}{r^2}p(ti)^q\right) \right] + M_e \end{aligned} \quad (11)$$

## 2.5 OPTIMIZACIÓN

Es encontrar la mejor solución posible para un determinado problema. La optimización es la búsqueda ya sea del mínimo o del máximo (Chapra et al., 2011).

### 2.5.1 Modelo matemático de GAB

El modelo matemático de Guggenheim- Anderson-de Boer (GAB) viene expresado por:

$$M = \frac{M_0 C k a_w}{(1-k a_w)(1-k a_w+c k a_w)} \quad (12)$$

Donde:  $M$  = contenido de agua de equilibrio (g/100 g de sólidos secos),  $a_w$  = actividad de agua,  $M_0$  = contenido de humedad de la monocapa,  $C$  = constante de Guggenheim y  $k$  = factor de corrección con respecto al líquido a granel.

### ***2.5.2 Parámetros del modelo de GAB***

Encontrar los parámetros del modelo como  $M_0$ ,  $C$  y  $k$  respectivamente no son tan simples, requiere aplicar regresión de segundo grado y realizar cálculos complementarios. Una de las alternativas es el uso de las herramientas del Excel como es el Solver, donde es posible determinar de manera rápida y precisa, asignando un valor inicial a los parámetros del modelo y minimizando el valor experimental con el simulado, podemos determinar los parámetros  $M_0$ ,  $C$  y  $k$  del modelo de GAB.

## **2.6 MÉTODOS NUMÉRICOS**

Los métodos numéricos son aquellos en los que la solución de un problema dado es casi siempre aproximada mediante la realización de cálculos lógicos y aritméticos puros.

### ***2.6.1 Método Newton Raphson***

Entre los métodos más conocidos para resolver ecuaciones no lineales o aproximar raíces, destaca el método de Newton, que se caracteriza por un orden de

convergencia de al menos 2, lo que lo hace bastante rápido. El método también tiene un teorema que garantiza la convergencia global y local, es decir converge a una aproximación inicial muy cercana a la solución deseada; pero esto no impide que converja globalmente (desde cualquier aproximación inicial) (Burden, 2017; Gutiérrez et al., 2010; Mora, 2018; Sauer & Murrieta, 2013).

Dada una función  $f(x): \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}$  y una aproximación inicial  $x_0$  para obtener la solución a  $f(x) = 0$ , la iteración del método de Newton está por

$$x_{i+1} = x_i - \frac{fx}{f'x} \quad (13)$$

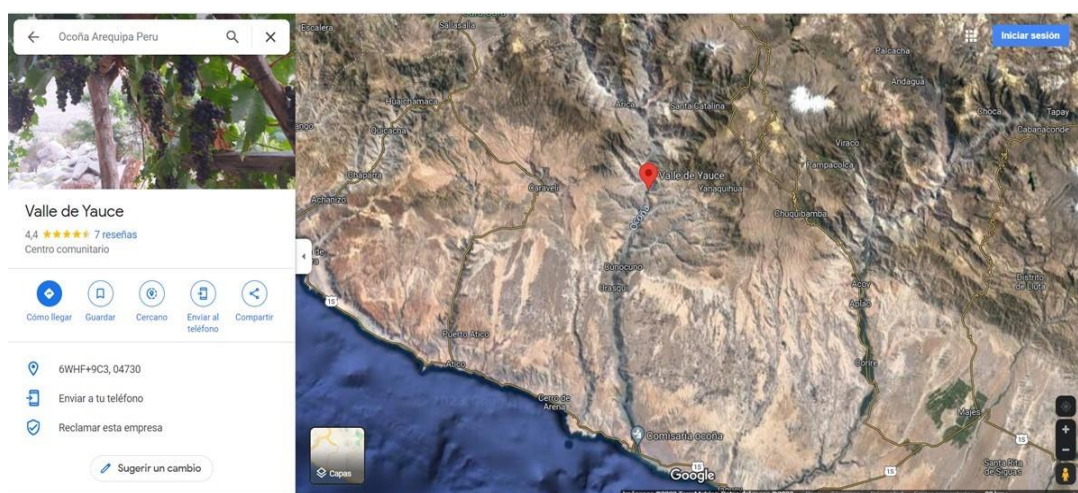
donde  $f'(x_i) \neq 0$  para  $n = 1, 2, 3, \dots$

El método de newton es eficiente en la solución de sistemas de ecuaciones no lineales, converge muy rápidamente y proporciona una muy buena precisión en los resultados. El método se emplea en la solución de problemas académicos y en problemas propios del mundo real (Bolívar et al., 2005).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 LUGAR

La parte experimental de secado solar directo se realizó en el valle de Yauce-Ocoña-Arequipa.



*Figura 2. Lugar de ejecución del secado solar, Valle de Yauce-Ocoña-Arequipa*

El análisis fisicoquímico se realizó en el laboratorio de Análisis de Alimentos de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia y en el Laboratorio de Farmacia y Bioquímica de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.

## 3.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

### 2.1.1 Población

Como población se consideró todas las variedades de higo.

### 2.1.2 Muestra

La muestra con el que se trabajó fue el cultivar de Bakor Noir, pertenecientes a la especie *Ficus carica L.* La asignación que se tomó por la comparación de imagen de similitud y características del fruto reportado por ([Meziant et al., 2021](#)). En el Perú este fruto aún no tiene definida las variedades existentes, la Universidad Nacional de San Marcos reporta la variedad de toro sentado de similar característica morfológica.

La técnica de muestreo usada fue, muestreo no probabilístico. Muestreo por conveniencia: Permite seleccionar aquellos casos accesibles que acepten ser incluidos ([Otzen & Manterola, 2022](#)), como se observa en la Figura 3.

Los frutos usados en estudio, fueron frutos que han sido desprendido del árbol en forma natural por su estado de madurez en su etapa de senescencia, con una humedad de aproximadamente del 50 %.





*Figura 3. Frutos de higo usados en el secado solar directo.*

### **3.3 MATERIALES Y EQUIPOS**

#### **3.3.1 Materiales**

- Desecador de vidrio de capacidad 1.5 L
- Embudo de separación de 500 mL
- Probetas graduadas: de 10, 50, 100 mL
- Balón de 100 ml y 200 ml
- Pipetas: de 1, 5 y 10 mL
- Vasos precipitados: 50, 100 y 600 mL

- Embudo Buschner de porcelana: diámetro de 10 mm
- Papel aluminio
- Papel filtro: Whatman grueso poroso
- Buretas (1, 5 y 10 mL)

### **3.3.2 Reactivos y otros**

- Etanol absoluto
- Hexano
- Acetona
- Ácido ascórbico
- 2,6 Diclorofenolindofenol
- Ácido oxálico
- Hidróxido de sodio

### **3.3.3 Equipos**

- Balanza analítica marca OHAUS, Analytical Standard, modelo AS200. Cap 200 g repetibilidad 0.0001g.
- Balanza de precisión de 1 kg, y repetibilidad de 0.01 g. Marca Zhi Heng Digital Jewelry Scale profesional. ZH-8258.
- Espectrofotómetro: Marca Spectronic 20, UV-VIS, Lambda 35, Perkin Elmer.
- Equipo Datalogger CENTER 520 de Rango: -200 ~ 1370 °C (-328 ~ 2498 ° F) y precisión:  $\pm 0,1\% + 0,7^\circ \text{C}$  con sistema de conector a PC.

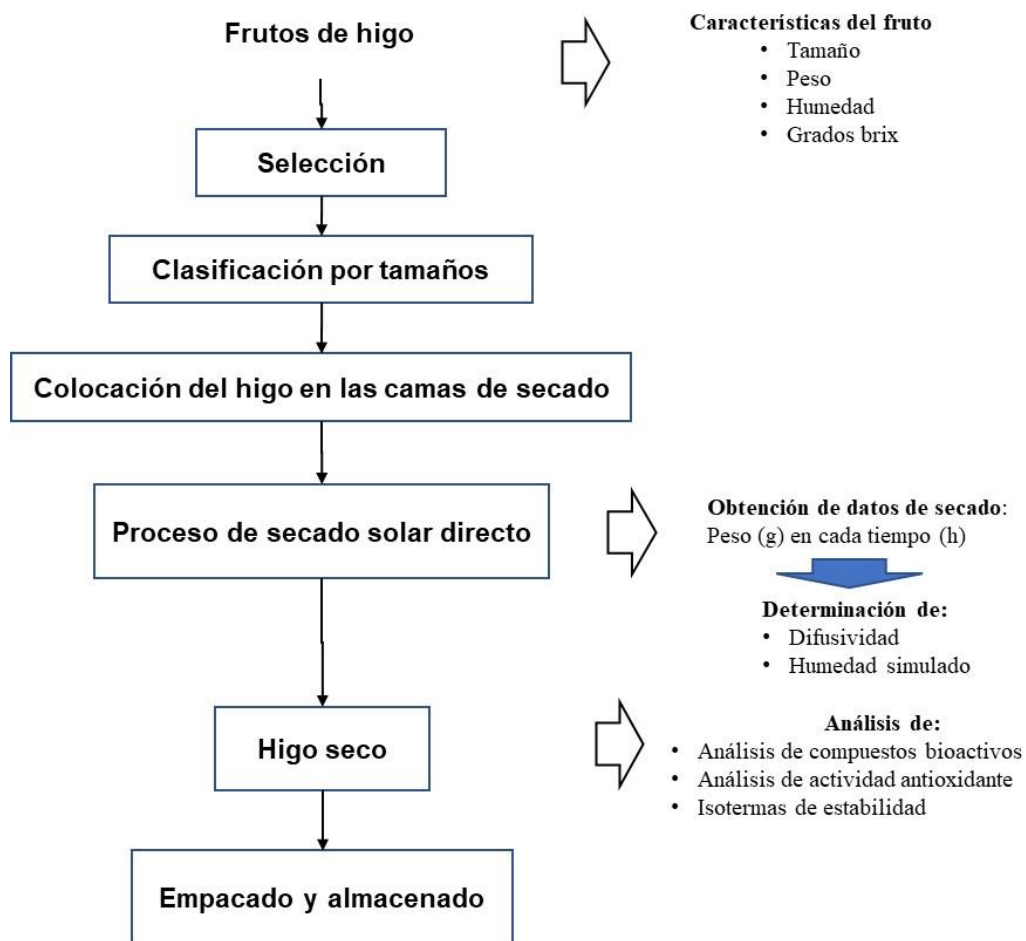
- Calibrador Vernier Digital Schubert Milimétrico, rango de medición máximo: 0 mm - 100 mm, Precisión:  $\pm 0,1\text{mm}/\pm 0.01\text{in}$ .
- Refractómetro manual: Rango de medición: 0-90% Brix; División mínima: 0,5% Brix; Precisión:  $\pm 0.2\%$  BRIX; Rango ATC: 10 ~ 30 ° C (50 ~ 86 ° F).
- Estufa de secado: Marca Memmert, modelo UN750 single display.
- Bomba de vacío

### **3.4 DISEÑO METODOLÓGICO**

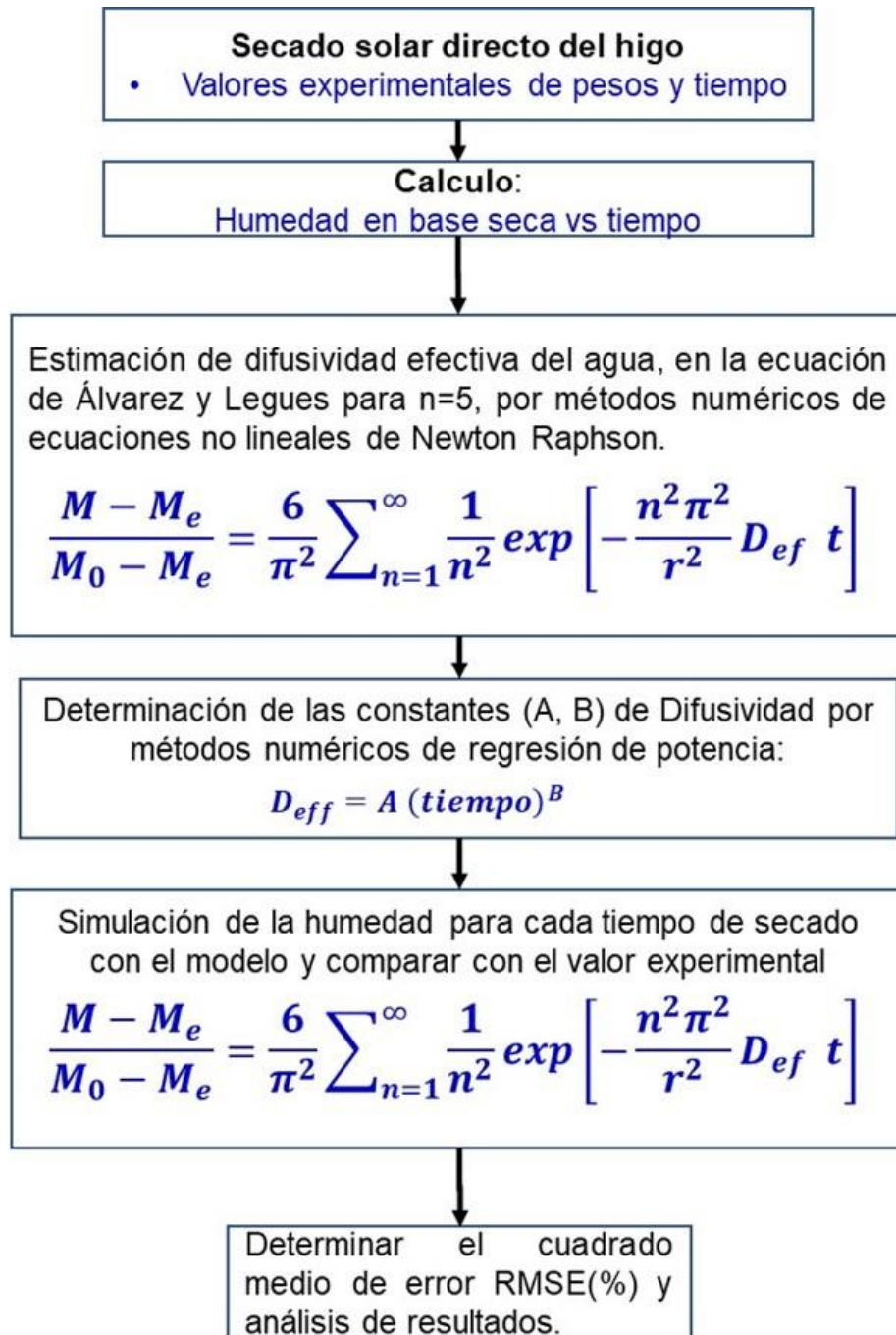
En la Figura 4 se presenta el diseño metodológico usado en la investigación:

### **3.5 DISEÑO EXPERIMENTAL**

En la Figura 5 se presenta el diseño metodológico a seguir en la investigación.



*Figura 4. Diseño metodológico a seguir en la investigación.*



*Figura 5. Diseño experimental a usarse en la investigación.*

### 3.6 CARACTERÍSTICAS DEL HIGO

Con la finalidad de conocer que se está trabajando con frutos de higo homogéneos, en tamaño y madurez, se realizaron los siguientes análisis:

#### 3.6.1 *Medida*

Las mediciones de los frutos se realizaron con un vernier de rango de medición máximo: 0 mm - 100 mm, Precisión:  $\pm 0,1\text{mm}/\pm 0.01\text{in}$  Los frutos fueron medidos en el diámetro ecuatorial.



*Figura 6. Forma asumida de los frutos de higo.*



### **3.6.2 Humedad.**

La humedad inicial se determinó por el método gravimétrico de la [AOAC \(2016\)](#), usando una estufa. Las muestras fueron colocadas a temperatura de 105°C por 24 horas. Los resultados fueron evaluados realizando la prueba estadística de normalidad en Minitab 19, para conocer que estamos trabajando con una muestra que tiene contenidos de humedad inicial similares en cada fruto.

Los resultados fueron evaluados realizando la prueba estadística de normalidad, para conocer que estamos trabajando con una muestra que tiene contenidos de sólidos solubles similares en cada fruto.

## **3.7 PROCESO DE SECADO SOLAR DIRECTO DEL HIGO**

El proceso de secado solar ambiental se realizó en las siguientes condiciones: temperatura ambiental (promedio de 37 – 45 °C), Humedad relativa (45-55 %), velocidad de aire (3 a 5 m/s de 7 pm a 7 am; 30 m/s de 1 a 6 pm). Capa de la muestra de higo (1 sola capa de 40 mm de espesor promedio, 60 mm de largo y 30 mm de capa medida del diámetro del higo).

El peso de las muestras se midió con balanza de precisión (Zhi Heng Digital Jewelry Scale Profesional, ZH-8258, capacidad 1000 g, M,  $\pm 0.01$  g) durante el proceso de secado. Las muestras se secaron hasta que alcanzaron un contenido de agua final de 6.632 kg agua/ 100 kg ms  $\pm 1,0\%$  (basado en base seca) ([G. \(Georgios\)](#))

Xanthopoulos et al., 2010). Las pruebas de secado se repitieron cinco veces. Las experiencias finalizaron cuando se alcanzó peso constante (equilibrio). Luego las muestras fueron retiradas y envasadas en bolsas de Doypack y selladas luego.

### ***3.7.1 Acondicionamiento del secadero***

Se procedieron a adecuar un secador solar en los campos de cultivo, los secadores solares fueron contruidos con caña (carrizo), con las siguientes dimensiones: 0,60 m × 1 m) a una altura de 1m sobre la base del suelo, el piso estuvo cubierto de vegetación el cual no se generaba ninguna contaminación de polvo del ambiente, sobre la tarima de carrizo se colocó pasto fresco como base para evitar el maltrato del producto y a la vez facilitar una porosidad para la circulación de aire, tal como se observa en la Figura 7.



***Figura 7. Tarima para el secador solar directo.***



### 3.7.2 Recolección de los higos

Los frutos que se desprendieron del árbol y cayeron al suelo fueron cogidos en un cesto de caña para llevar al secador solar, el recojo fue por las mañanas (7 am) y en las tardes (5 pm), de esa manera no se da la opción de malograrse y ser atacados por algunos insectos u otros propios del suelo.



**Figura 8.** *Diferentes estadios del higo maduro.*

Los frutos de higo sufren cambios en el propio árbol conforme maduran y su pos-maduración, estos pasan al estadio de senescencia en el propio árbol, luego de ello se desprenden del ápice que los sujeta, una vez desprendidos del árbol caen al suelo. Así en la Figura 9 podemos observar diferentes estadios de madurez del fruto de higo como son: estadio fresco en su estadio de madurez de consumo (A); estadio de senescencia (B) ; estadio de senescencia (C). A los frutos en esta etapa final se midieron contenido de humedad, grados brix, pesos y dimensiones.

### ***3.7.3 Determinación del peso de los frutos***

Los frutos antes de ser secados fueron medidos sus pesos individuales, a fin de trabajar con muestra de pesos uniformes, para la medición se usó una balanza digital de capacidad 1 kg y repetibilidad 0.01 g. Los resultados fueron evaluados realizando la prueba estadística de normalidad, para conocer que estamos trabajando con una muestra que tiene los pesos individuales similares.

### ***3.7.4 Colocación de los higos sobre las camas secadoras***

Los frutos de higo que se encuentran en estadio de madurez C, fueron colocados en las tarimas acondicionadas, el higo fue colocado en la bandeja de tarima de manera uniforme en una sola capa como se puede observar en la Figura 4. Para el control de peso se colocaron grupos de pesos 250 g, haciendo 5 grupos, a los cuales se les controló los pesos a diario a una hora de 5 pm. Durante el día se tenía encendido un medidor de humedad relativa y una termocupla insertado en un fruto para su medición de temperatura como parte de control, tal como podemos observar en la Figura 3 y 4 respectivamente.



*Figura 9. Capa de cama de los higos en el secador.*



*Figura 10. Temperatura ambiental 41.8 °C y HR (%) de 45.1 %, durante el secado.*

## 3.8 CÁLCULOS DE CINÉTICA DE SECADO

### 3.8.1 *Cinética de secado*

El método de las pendientes se utilizó en la estimación de la difusividad efectiva de la humedad del higo con los contenidos de humedad correspondientes en el secado solar directo. Para simplificar los cálculos, la forma de la muestra redonda del higo se asumió como una esfera. Estos resultados no son aplicables al higo de diferentes variedades, que tienen una forma alargada. Esta suposición esférica era más conveniente que las suposiciones cilíndricas o de lámina para este tipo de fruto de higo. Se hicieron las siguientes suposiciones:(Crank, 1979b; Dincer, 1996; Doymaz, 2010).

1. La humedad inicialmente se distribuye uniformemente por toda la masa del higo.
2. La transferencia de masa es simétrica con respecto al centro de la forma del higo.
3. El contenido de humedad superficial del higo alcanza instantáneamente el equilibrio con la condición del aire circundante.
4. La resistencia a la transferencia de masa en la superficie del higo es insignificante en comparación con la resistencia interna de la muestra.
5. La transferencia de masa en el higo está representada por un mecanismo de difusión.
6. El coeficiente de difusión es constante y la contracción es insignificante, al tratarse de un fruto con una humedad cercana al 50%.

La relación de humedad (MR) de las muestras fue calcula con la ecuación (14) (Alibas, 2014).

$$MR = \frac{(M - M_e)}{(M_0 - M_e)} \quad (14)$$

donde MR es la relación de humedad, M es el contenido de humedad del higo en cualquier momento t (kg de agua/kg de materia seca), Mo la humedad inicial (kg de agua/kg de materia seca), Me la humedad de equilibrio (kg de agua/kg de materia seca).

### 3.8.2 Humedad por simulación en la ecuación de Álvarez y Legues

Para determinar la difusión efectiva, teniendo en cuenta la complejidad de resolver la ecuación de Álvarez, se utilizó el método numérico de ecuaciones no lineales de Newton-Raphson, y se desarrolló el programa en Visual Basic en macro Excel para un total de 5 sesiones.

La difusividad efectiva de humedad del higo se estimó utilizando la solución analítica de la segunda ley de Fick **para esferas** que incluyen el efecto de contracción que se da en la ecuación (15) (An et al., 2013).

$$MR = \frac{(M - M_e)}{(M_0 - M_e)} = \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \exp\left(-\frac{n^2 \pi^2 D_{eff} t}{r^2}\right) \quad (15)$$



donde  $D_{\text{eff}}$  es la difusividad efectiva de la humedad y  $r$  es el radio del higo.

Haciendo truncamiento en el término 5 de la ecuación 15 obtenemos la ecuación 16:

$$MR = 0.607924 * \exp\left(-9.86965 \frac{D_{\text{eff}} * t}{r^2}\right) + 0.15198 * \exp\left(-39.47860 \frac{D_{\text{eff}} * t}{r^2}\right) + 0.06755 * \exp\left(-88.8268 \frac{D_{\text{eff}} * t}{r^2}\right) + 0.037995 * \exp\left(-157.9144 \frac{D_{\text{eff}} * t}{r^2}\right) + 0.02432 * \exp\left(-246.7412 \frac{D_{\text{eff}} * t}{r^2}\right) \quad (16)$$

Realizando la modificación a la ecuación 16 al modelo de Alvarez y Legues es:

$$\frac{M - M_e}{M_0 - M_e} = \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \exp\left(-\frac{n^2 \pi^2}{r^2} \int_{t=0}^{t=ti} D_{\text{eff}} dt\right) \quad (17)$$

Haciendo un cambio de variable para fines de cálculo a  $X = \int_{t=0}^{t=ti} D_{\text{eff}} * dt$  sería:

$$MR = 0.607924 * \exp\left(-\frac{9.86965}{r^2} X\right) + 0.15198 * \exp\left(-\frac{39.47860}{r^2} X\right) + 0.06755 * \exp\left(-\frac{88.8268}{r^2} X\right) + 0.037995 * \exp\left(-\frac{157.9144}{r^2} X\right) + 0.02432 * \exp\left(-\frac{246.7412}{r^2} X\right) \quad (18)$$

Ahora como función en términos de X es:

$$fX = 0.607924 * \exp\left(-\frac{9.86965}{r^2} X\right) + 0.15198 * \exp\left(-\frac{39.47860}{r^2} X\right) + 0.06755 * \exp\left(-\frac{88.8268}{r^2} X\right) + 0.037995 * \exp\left(-\frac{157.9144}{r^2} X\right) + 0.02432 * \exp\left(-\frac{246.7412}{r^2} X\right) - MR \quad (19)$$

Para el cálculo de X en la ecuación 19 en cada tiempo, se determinó por métodos numéricos de ecuaciones no lineales del método de Newton Raphson, para ello se usó el VBA del Excel de Microsoft Office.

La primera derivada de la función fx de la ecuación (19) es:

$$g_x = -\left(6 * \exp\left(-9.86965 \frac{X}{r^2}\right)\right) / r^2 - \left(6 * \exp\left(-39.47860 \frac{X}{r^2}\right)\right) / r^2 - \left(6 * \exp\left(-88.8268 \frac{X}{r^2}\right)\right) / r^2 - \left(6 * \exp\left(-157.9144 \frac{X}{r^2}\right)\right) / r^2 - \left(6 * \left(-246.7412 \frac{X}{r^2}\right)\right) / r^2 \quad (20)$$

Una vez determinado X por métodos iterativos de soluciones numéricas de Newton Raphson. Seguidamente utilizando una regresión del tipo potencial se relacionó la función  $\int_{t=0}^{t=ti} D_{ef} dt = p(ti)^q$  versus tiempo, se determinaron los parámetros “p” y “q” de la ecuación que gobierna dicho comportamiento, es:

$$\int_{t=0}^{t=ti} D_{ef} dt = p(ti)^q \quad (21)$$

Cálculo del  $D_{ef}$  a partir de  $X = \int_{t=0}^{t=ti} D_{ef} * dt$

Conocida la relación matemática  $\int_{t=0}^{t=ti} D_{ef} dt = p(ti)^q$  versus tiempo, derivando la función que relaciona a la difusividad efectiva como una función del tiempo de secado, la difusividad efectiva queda así:

$$D_{ef} = p * q * t^{q-1} \quad (22)$$

$$D_{ef} = A * t^B \quad (23)$$

Seguidamente se determinaron los valores de humedad (bs) simulando para todo el tiempo de secado de los higos usando la ecuacion (23). Quedando finalmente el modelo matemático, un modelo semi-teórico que puede expresarse bajo la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} \frac{M-M_e}{M_0-M_e} = & 0.607924 * \exp\left(-\frac{9.86965}{r^2} p(ti)^q\right) + 0.15198 * \exp\left(-\frac{39.47860}{r^2} p(ti)^q\right) + \\ & 0.06755 * \exp\left(-\frac{88.8268}{r^2} p(ti)^q\right) + 0.037995 * \exp\left(-\frac{157.9144}{r^2} p(ti)^q\right) + \\ & 0.02432 * \left(-\frac{246.7412}{r^2} p(ti)^q\right) \end{aligned} \quad (24)$$

$$\begin{aligned} M = (M_0 - M_e) & \left[ 0.607924 * \exp\left(-\frac{9.86965}{r^2} p(ti)^q\right) + 0.15198 * \right. \\ & \exp\left(-\frac{39.47860}{r^2} p(ti)^q\right) + 0.06755 * \exp\left(-\frac{88.8268}{r^2} p(ti)^q\right) + 0.037995 * \\ & \left. \exp\left(-\frac{157.9144}{r^2} p(ti)^q\right) + 0.02432 * \left(-\frac{246.7412}{r^2} p(ti)^q\right) \right] + M_e \end{aligned} \quad (25)$$

Para M1

$$\begin{aligned} M = & (0.607924 * \text{Exp}(-9.86965 * (\text{N}\$30 * \text{B}12^{\text{N}\$28}) / 0.014^2) + 0.15198 * \text{Exp}(- \\ & 39.4786 * (\text{N}\$30 * \text{B}12^{\text{N}\$28}) / 0.014^2) + 0.06755 * \text{Exp}(-88.8268 * (\text{N}\$30 * \text{B}12^{\text{N}\$28}) / 0.014^2) + \\ & 0.037995 * \text{Exp}(-157.9144 * (\text{N}\$30 * \text{B}12^{\text{N}\$28}) / 0.014^2) + \end{aligned}$$



$$0.02432 * \text{Exp}(-246.7412 * (\text{N}\$30 * \text{B}12^{\text{N}\$28}) / 0.014^2) * (1.0509 - 0.4045) + 0.4045$$

Para M2

$$M = (0.607924 * \text{Exp}(-9.86965 * (\text{k}\$28 * \text{B}10^{\text{k}\$26}) / 0.014^2) + 0.15198 * \text{Exp}(-39.4786 * (\text{k}\$28 * \text{B}10^{\text{k}\$26}) / 0.014^2) + 0.06755 * \text{Exp}(-88.8268 * (\text{k}\$28 * \text{B}10^{\text{k}\$26}) / 0.014^2) + 0.037995 * \text{Exp}(-157.9144 * (\text{k}\$28 * \text{B}10^{\text{k}\$26}) / 0.014^2) + 0.02432 * \text{Exp}(-246.7412 * (\text{k}\$28 * \text{B}10^{\text{k}\$26}) / 0.014^2)) * (1.0509 - 0.4198) + 0.4198$$

Para M3

$$M = (0.607924 * \text{Exp}(-9.86965 * (\text{k}\$28 * \text{B}10^{\text{k}\$26}) / 0.014^2) + 0.15198 * \text{Exp}(-39.4786 * (\text{k}\$28 * \text{B}10^{\text{k}\$26}) / 0.014^2) + 0.06755 * \text{Exp}(-88.8268 * (\text{k}\$28 * \text{B}10^{\text{k}\$26}) / 0.014^2) + 0.037995 * \text{Exp}(-157.9144 * (\text{k}\$28 * \text{B}10^{\text{k}\$26}) / 0.014^2) + 0.02432 * \text{Exp}(-246.7412 * (\text{k}\$28 * \text{B}10^{\text{k}\$26}) / 0.014^2)) * (1.0509 - 0.4116) + 0.4116$$

### 3.8.3 Procedimiento operativo

- (1) Ingresamos al Excel

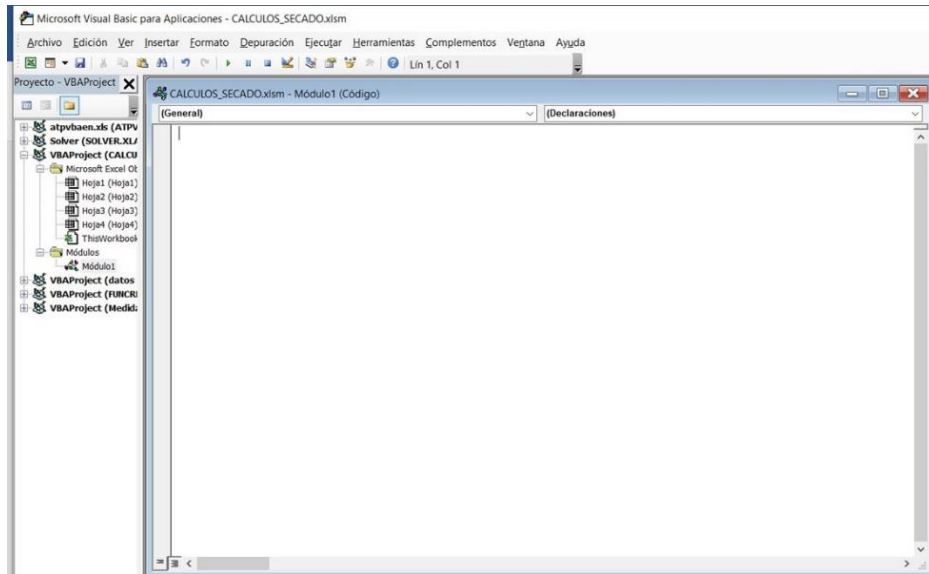
- (2) Con los datos de humedad inicial. Se realizaron los cálculos de materia seca, contenido de agua y humedad en base seca (M) en cada tiempo. También ingresamos los pesos (g) en cada tiempo de secado.

	A	B	C	D	E	F	G
1	Simulacion de Secado solar directo de higo						
2				g agua/g ms			
3	Humedad iinicial (%)=		51.24	1.0509			
4	Masa seca(%)=		48.76				
5		M equilibrio=		0.4116			
6		Radio(r)=					
8	<b>CALCULO DEL SECADO</b>						
9							
15	Tiempo (d)	Tiempo(s)	M13 PESO3	Ms (g)	Agua(g)	M(g agua/g ms)	MR
16	0	0	112.4	54.806	57.594	1.0509	1
17	1	86400	99.96	48.740	51.220	0.9346	0.8180489
18	2	172800	88.89	43.343	45.547	0.8311	0.6561357
19	3	259200	82.5	40.227	42.273	0.7713	0.5626737
20	4	345600	71.14	34.688	36.452	0.6651	0.3965189
21	5	432000	68.27	33.288	34.982	0.6383	0.3545415
22	6	518400	56.52	27.559	28.961	0.5284	0.1826825
23	7	604800	54.04	26.350	27.690	0.5052	0.1464092
24	8	691200	53.36	26.018	27.342	0.4989	0.1364634
25	9	777600	51.3	25.014	26.286	0.4796	0.1063332
26	10	864000	50.05	24.404	25.646	0.4679	0.0880503
27	11	950400	49.38	24.078	25.302	0.4617	0.0782507
28	12	1036800	46.21	22.532	23.678	0.4320	0.0318853
29	13	1123200	44.13	21.518	22.612	0.4126	0.0014626
30	14	1209600	44.03	21.469	22.561	0.4116	0

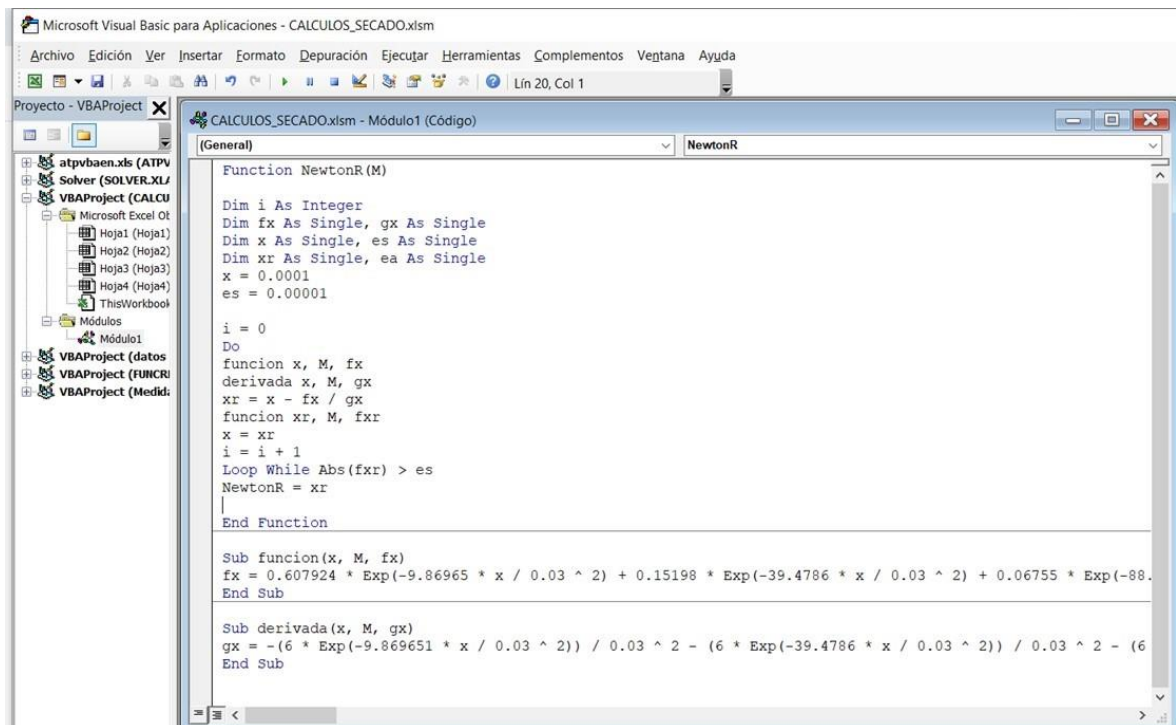
- (3) A partir de los datos experimentales de humedad en base seca (M) versus tiempo (t), se calcularon los correspondientes valores de humedad adimensional para cada tiempo (MR(ti)).

$$MR(ti) = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} \quad (26)$$

- (4) Abrimos el Visual Basic (VBA) y aparece la ventana siguiente



- (5) Digitamos en ella el código de lo que se desea realizar, en nuestro caso es realizar los cálculos aplicando los métodos numéricos para usar el algoritmo de Newton Raphson para determinar la variable  $x$  de la ecuación 18 y 19.



Digitamos los códigos para que nos calcule las iteraciones para cada tiempo y cada humedad en cada peso.

- Hacemos reconocer las variables que haremos uso
- Damos un valor inicial de la variable x a calcular
- La tolerancia del error (es)
- Indicaremos el inicio de iteración i
- Indicaremos que calcule la función fx, la derivada de la función
- Que calcule el algoritmo de Newton Raphson (raíz)
- Que calcule la función de la raíz
- Realice las iteraciones hasta que función de la raíz sea mayor o igual del error máximo indicado(es).
- Para hacer la llamada y calculo en la celda se indicó: **NewtonR = xr**
- Se agregó la función y la derivada de la función adicional para que el programa realice los cálculos

El programa realizará las iteraciones de cálculo para un solo tiempo y peso.

- (6) Haciendo uso de un procedimiento iterativo, como el metodo de Newton Raphson se calcularon los valores de  $\int D_e dt$  para los diferentes tiempos  $t_i$ . La serie infinita fue truncada en el quinto termino para todo los casos.

Determinamos X para cada valor de humedad en base seca(M) en la celda G11 haciendo: =**NewtonR(F11)** y deslizamos el cursor para toda la columna

	A	B	C	D	E	F	G
1	<b>Calculo de humedad inicial de los higos</b>						
2	P1	Peso placa=	14.2220				
3	P2	PP + mf=	16.3332				
4	P3	pp + ms=	15.2514				
5		M. fresca(g)=	2.1112				
6	<b>Ms(g)=</b>	<b>1.0294</b>	48.759	%			
7	Agua(g)=	1.082	51.241				
8							
9							<b>NewtonR 3/8</b>
10	Tiempo (h)	Tiempo(s)	Peso (g)	ms(g)	Agua(g)	M(g agua/ 100 g ms)	X=def*t
11	0	0	117.67	57.375	60.295	105.090	0.00000000
12	22	0.0061	98.37	57.375	40.995	71.452	0.00001084
13	35	0.0097	90.56	57.375	33.185	57.840	0.00002383
14	53	0.0147	83.26	57.375	25.885	45.116	0.00004334
15	78	0.0217	75.6	57.375	18.225	31.765	0.00007639
16	105	0.0292	70.3	57.375	12.925	22.528	0.00011345
17	120	0.0333	67.87	57.375	10.495	18.293	0.00013814
18	139	0.0386	66.09	57.375	8.715	15.190	0.00016197
19	152	0.0422	65.14	57.375	7.765	13.534	0.00017785
20	163	0.0453	64.28	57.375	6.905	12.035	0.00019513
21	176	0.0489	63.46	57.375	6.085	10.606	0.00021537
22	187	0.0519	62.66	57.375	5.285	9.212	0.00024073
23	199	0.0553	62.15	57.375	4.775	8.323	0.00026157
24	214	0.0594	61.61	57.375	4.235	7.382	0.00029052
25	234	0.0650	61.18	57.375	3.805	6.632	0.00032269
26							

(7) Cálculo de p y q por regresión lineal de

$$X = \int_{t=0}^{t=ti} D_{ef} * dt = p(ti)^q \quad (27)$$

(8) Cálculo de Def con los valores de p y q

$$D_{ef} = p * q * t^{q-1} \quad (28)$$

(9) Cálculo de humedad simulada con la ecuación siguiente para cada tiempo de secado

$$\begin{aligned}
M = (M_0 - M_e) & \left[ 0.607924 * \exp\left(-\frac{9.86965}{r^2} p(ti)^q\right) + 0.15198 * \right. \\
& \exp\left(-\frac{39.47860}{r^2} p(ti)^q\right) + 0.06755 * \exp\left(-\frac{88.8268}{r^2} p(ti)^q\right) + 0.037995 * \\
& \left. \exp\left(-\frac{157.9144}{r^2} p(ti)^q\right) + 0.02432 * \left(-\frac{246.7412}{r^2} p(ti)^q\right) \right] + M_e \quad (29)
\end{aligned}$$

### 3.8.4 Análisis estadístico

Los criterios utilizados para evaluar el modelo de ajuste fueron: determinación de desviación relativa media (P), calculados por la ecuación 27. Según (Lomauro et al., 1985), un valor de P menor que cinco ( $P < 5$ ) corresponde a un buen ajuste de los simulados con los valores experimentales.

$$P(\%) = \frac{100}{N} \sum \left| \frac{M_{exp} - M_{simulado}}{M_{exp}} \right| \quad (30)$$

La raíz de error cuadrático medio (RMSE) mide en promedio, cuánto se alejan los datos observados de los estimados por el modelo de regresión, o mejor dicho, compara un valor predicho y un valor observado o experimental (Soto-Bravo & González-Lutz, 2019).

$$RMSE(\%) = 100 * \sqrt{\frac{\sum (M_{predicida} - M_{exp})^2}{n-2}} \quad (31)$$

donde **n** es el número de pares de datos (valores experimentales y predichos)

### 3.9 COMPUESTOS BIOACTIVOS EN HIGO SECO

#### 3.9.1 Antocianinas totales (Cuesta et al., 2013)

Se procedió de la siguiente manera: se pesaron 0.20 g de mesocarpio y epicarpio molido y congelado, se mezclaron con 10 mL de metanol-HCl 1% durante 10 min a 4°C, y posteriormente se centrifugó a 6000 rpm durante 10 min a 10°C. El sobrenadante fue filtrado con papel filtro y del sedimento se realizó otra extracción bajo los mismos parámetros. El extracto se aforó a 25 mL con el solvente. La extracción se efectuó protegiéndose de la luz. La determinación de antocianina total se realizó mediante un barrido espectral en un espectrofotómetro, a absorbancia a 530 nm previamente hecho un barrido. La cuantificación de antocianina se determinó según (Beas et al., 2011), utilizando la ecuación.

$$C = \left(\frac{A}{\epsilon}\right) \frac{Vol}{1000} PM \left(\frac{1}{\text{peso de la muestra}}\right) 10^6 \quad (32)$$

**C:** concentración de antocianinas totales (mg/g)

**A:** absorbancia máxima

**ε:** absortividad molar de la cianidina 3-glucósido (25965 cm-1M<sup>-1</sup>)

**Vol:** volumen total del extracto de antocianinas

**PM:** peso molecular de cianidina 3-glucósido (449 Da)

#### 3.9.2 Polifenoles totales (PFT)

La metodología aplicada por (Ordoñez-Gómez et al., 2018) fueron usados en la investigación.

**Preparación de extractos:** Se utilizó el método reportado por (Ramful et al., 2010) y (Adnan et al., 2014), para ello se pesó 1.5 g de muestra y luego se mezcló con 30 mL de solución metanólica (80:20 metanol: agua), seguido se agitó por 24 h y centrifugó a 10000 rpm/10 min a 4 °C, el sobrenadante se guardó en tubos de vidrio con tapa a -20 °C hasta el desarrollo de los análisis.

**Cuantificación de polifenoles totales:** Se realizó mediante el método colorimétrico de Folin-Ciocalteu usado por Sultana et al. (2009), con algunas modificaciones, donde 20 µL de muestra fueron mezclados con 1580 µL de agua desionizada y se adicionó 100 µL de solución Fenol de Folin-Ciocalteu 2N y después de 1 min se mezcló con 300 µL de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> al 20% luego fué almacenado por 2 horas a temperatura ambiente. La absorbancia se midió a 700 nm.

**Curva estándar:** Se preparó una curva estándar de Ácido Gálico (Sigma-Aldrich) en concentraciones de 50, 100, 200, 400, 600 800 y 1000 ug/mL. El contenido de polifenoles de las muestras se reportó en mg de ácido gálico equivalente/100 g de muestra seca.

$$\frac{mg \text{ ac.galico equivalente}}{100 \text{ g muestra seca}} = \frac{Abs_{muestra-A}}{B} * FD \quad (33)$$



Donde Abs. muestra es absorbancia de la muestra, A intercepto, B pendiente, FD factor de dilución.

### **3.9.3 Fenoles totales**

Se usó la metodología aplicada por ([Farahani et al., 2019](#)).

**Extracción:** Para la extracción, una muestra de 1,00 g fue homogenizado con 10,00 mL de metanol al 80,00 % y luego la mezcla se centrifugó a 10.000 rpm durante 10 minutos. Los sobrenadantes se recogieron y analizaron su contenido fenólico total y actividad antioxidante.

**Contenido de fenoles totales:** El contenido de fenoles totales de los extractos se midió utilizando el método de Folin-Chocalte con espectrofotometría ([Singleton & Rossi, 1965](#)) con algunas modificaciones. Fueron añadidos 50 µL de solución de extracto, 800 µL de agua y 100 µL de reactivo de Folin-Ciocalteu en un tubo de ensayo. Seguido agitados y puestos en reposo 8 minutos. Luego se agregaron 50 µL de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> al 20%. Después de 1 hora de reposo en la oscuridad, fueron leídos la absorbancia a 760 nm. Se estableció una curva de calibración usando solución de ácido gálico a 50 – 500 µg/ml. Los resultados fueron expresados como mg de ácido gálico equivalente (GAE) por gramo de muestra.

### **3.9.4 Flavonoides**

Fueron utilizados el método aplicado por (Lin & Tang, 2007). El contenido total de flavonoides fue determinado mediante el método colorimétrico (C. C. Chang et al., 2002).

**Extracción de flavonoides:** Disolver alícuotas de 0.1 g de muestras de higo en 1 mL de agua desionizada.

**Determinación de flavonoides:** 0.5 ml del extracto fue mezclado con 1.5 ml de alcohol al 95 %, 0.1 ml de cloruro de aluminio al 10 % hexahidratado (AlCl<sub>3</sub>), 0.1 ml de acetato de potasio 1 M (CH<sub>3</sub>COOK) y 2.8 ml de agua desionizada. Después de 40 min de incubación a temperatura ambiente, se midió la absorbancia a 415 nm en un espectrofotómetro, usando agua desionizada como blanco. Se eligió la quercetina como estándar. Se utilizó una curva estándar de siete puntos (0-50 mg/l). Los datos fueron expresados en mg de equivalente de quercetina (QE) por gramo de higo seco. Luego, los datos se convirtieron a mg de equivalentes de quercetina (QE)/100 g de higos secos.

### 3.10 ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE

Fue usado la metodología aplicada por (Ordoñez-Gómez et al., 2018). De Radical 1,1-difenil-2-picrilhidrazil (DPPH): Se utilizó la técnica reportada por (Sandoval et al., 2002), donde 100 µL del extracto de las muestras (0.5 - 5 mg/mL) se hizo reaccionar con 900 µL de DPPH a 100 µM en ambiente oscuro y se registró la

absorbancia a 515 nm, después de 6 min en la que se observó valor de absorbancia constante.

El porcentaje de inhibición del radical DPPH fué calculado con la ecuación:

$$\% \text{ Inhibición DPPH} = \frac{(Abs_{control} - Abs_{muestra})}{Abs_{control}} \quad (34)$$

Donde:  $Abs_{control}$ : Absorbancia de control;  $Abs_{muestra}$ : Absorbancia de la muestra en función del tiempo (5 minutos).

La actividad antioxidante se expresó como IC50, que indica la concentración de muestra necesaria para inhibir los radicales DPPH en un 50 %. Los valores de IC50 se determinaron a partir de la ecuación lineal obtenida al graficar la concentración de la muestra frente al porcentaje de inhibición.

El radical libre 2,2-azinobis (3-etilbenzo-tiazoline-6-ácido sulfónico) (ABTS<sup>+</sup>) se realizó mediante el método reportado por Re et al. (1999), con algunas modificaciones. Se hizo reaccionar 9.8 mL de ABTS a 7.4 mM con 0.2 mL de persulfato de potasio a 122.5 mM y se incubó en oscuridad por 16 h. Posteriormente se diluyó 1 mL de solución de ABTS<sup>+</sup> con 49 mL de metanol hasta obtener una absorbancia de 0.7 ( $\pm$  0.02) a una absorbancia de 734 nm. Luego 100  $\mu$ L de los extractos (50 – 500  $\mu$ g/mL) se hizo reaccionar con 900  $\mu$ L de radical ABTS<sup>+</sup> por 6 min en un ambiente oscuro. El porcentaje de inhibición del radical fue calculado con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Inhibición ABTS}^+ = [(Ac - Am)/Ac] \times 100;$$

donde Ac: Absorbancia del control; y Am: Absorbancia de la muestra en función del tiempo (5 minutos). El IC<sub>50</sub> se obtuvo de la ecuación lineal obtenido del ploteo de las concentraciones de la muestra versus porcentaje de inhibición.

### **3.11 ESTABILIDAD DE HUMEDAD (Zapana Yucra, 2017)**

Se utilizó un método gravimétrico estático isotérmico (Tadapaneni et al., 2017). Para determinar la estabilidad de humedad en los higos a diferentes humedades relativas fueron desarrollados los siguientes procedimientos: Primero, se prepararon soluciones saturadas sobresaturadas de las tres sales, cloruro de litio, bromuro de sodio y sulfato de potasio con agua (Tabla 2), que nos proporciona una humedad relativa de 11.0 %, 59.0 % y 95 %, respectivamente (Aviara, 2020). rango de operación 0.11 a 0.95. Aprox. Se adecuaron la estufa a temperatura de 20 °C. Se pesaron rodajas de 3 gramos de muestras de higo en una placa de Petri y luego se colocaron las muestras en el desecador e introducidos en la estufa, se controlaron los pesos cada cierto tiempo hasta obtener un peso constante. Además de esto, también se colocó una solución de tolueno al 75.3 % en pequeños recipientes abiertos para evitar el desarrollo de hongos y moho en las muestras de higo. Cuando los pesos fueron constantes se retiraron las muestras y calculados la humedad ganada o perdida. La humedad de equilibrio medida fue expresado por 100 g de materia seca.

**Tabla 2**

*Actividades de agua de soluciones saturadas usadas para la determinación de estabilidad humedad a 20 °C.*

<b>Soluciones sobresaturadas</b>	<b>aw</b>
Cloruro de litio	0.11
Bromuro de sodio	0.59
Sulfato de potasio	0.95

Fuente: ([Aviara, 2020](#))

### **3.11.1 Análisis de datos**

El análisis de datos fue usado el Solver de Excel, aplicando la optimización donde se minimizó la diferencia entre el valor experimental y el simulado para obtener las constantes del modelo matemático de GAB. El ajuste del contenido de humedad de equilibrio experimental ( $X_{eq}$ ) y la actividad del agua ( $a_w$ ) se realizó utilizando el modelo de isoterma de sorción de GAB.

El modelo matemático de Guggenheim- Anderson-de Boer (GAB) viene expresado por:

$$M = \frac{M_0 * C * k * a_w}{(1 - k * a_w)(1 - k * a_w + c * k * a_w)} \quad (35)$$

Donde:  $M$  = contenido de humedad de equilibrio (g/100 g de sólidos secos),  
 $a_w$  = actividad de agua,  $M_o$  = contenido de humedad de la monocapa,  $C$  = constante  
de Guggenheim y  $k$  = factor de corrección con respecto al líquido a granel.

### 3.11.2 Análisis estadístico

La prueba de bondad de ajuste de cada modelo de adsorción se determinó  
utilizando varios parámetros estadísticos, como el error porcentual cuadrático medio  
(% RMSE) y el módulo de desviación porcentual relativa (P). Todos estos parámetros  
se calculan mediante las siguientes ecuaciones:

$$RMSE(\%) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_1^N \left( \frac{M_{exp} - M_{simulado}}{M_{exp}} \right)^2} * 100 \quad (36)$$

$$P(\%) = \frac{100}{N} \left[ \sum_1^N \left( \frac{M_{exp} - M_{simulado}}{M_{exp}} \right) \right] \quad (37)$$

Donde,  $M_{exp}$  es el contenido de agua experimental (%),  $M_{simulado}$  es el  
contenido de agua simulado (%),  $N$  es el número de observaciones.

### 3.11.3 Procedimiento de cálculo de parámetros de GAB

Los parámetros para el modelo GAB ( $M_o$ ,  $C$  y  $K$ ) se obtuvieron a través de  
los cálculos de optimización de los valores experimentales de humedad de estabilidad  
y los calculados en función de la actividad de agua, para el cálculo fue usado el Solver

de Excel del Microsoft Office 2019, donde se minimizó el cuadrado medio del error y para ello se siguió:

**Paso 1:** abrimos el Excel y digitamos los valores experimentales de datos

	A	B	C
4		<b>aw</b>	<b>M exp (g agua/100 g ms)</b>
5		0.11	14.22
6		0.59	35.16
7		0.95	65.26

**Paso 2:** asignamos cualquier valor a los parámetros deseados a calcular

	A	B	C	D	E	F
4		<b>aw</b>	<b>M exp (g agua/100 g ms)</b>		Kg=	1
5		0.11	14.22		C=	1
6		0.59	35.16		Mo=	1
7		0.95	65.26			

**Paso 3:** Hacemos los cálculos de función para el modelo de GAB, en función de aw

	A	B	C	D	E	F
4		<b>aw</b>	<b>M exp (g agua/100 g ms)</b>		Kg=	1
5		0.11	14.22		C=	1
6		0.59	35.16		Mo=	1
7		0.95	65.26			
8						
9	<b>Solucion</b>					
10				<b>función</b>		
11		<b>aw</b>	<b>M exp</b>	<b>M ajust GAB</b>	<b>(Mexp-M ajust)^2</b>	
12		0.11	14.22	0.124	198.709	
13		0.59	35.16	1.439	1137.104	
14		0.95	65.26	19.000	2139.988	
15				SUMA=	3475.800	
16					<b>Celda objetivo</b>	

Calculamos humedad en la ecuación de GAB

$$M = \frac{M_0 C K a w}{(1-k a w)(1-k a w+Ck a w)} \quad (38)$$

$$D_{12} = (F\$6 * F\$5 * F\$4 * B12) / ((1 - F\$4 * B12) * (1 - F\$4 * B12 + F\$5 * F\$4 * B12))$$

$$D_{13} = (F\$6 * F\$5 * F\$4 * B13) / ((1 - F\$4 * B13) * (1 - F\$4 * B13 + F\$5 * F\$4 * B13))$$

$$D_{14} = (F\$6 * F\$5 * F\$4 * B14) / ((1 - F\$4 * B14) * (1 - F\$4 * B14 + F\$5 * F\$4 * B14))$$

**Paso 4:** Cálculo de diferencia entre el valor experimental y ajustado, y la sumatoria de la diferencia para todos los datos.

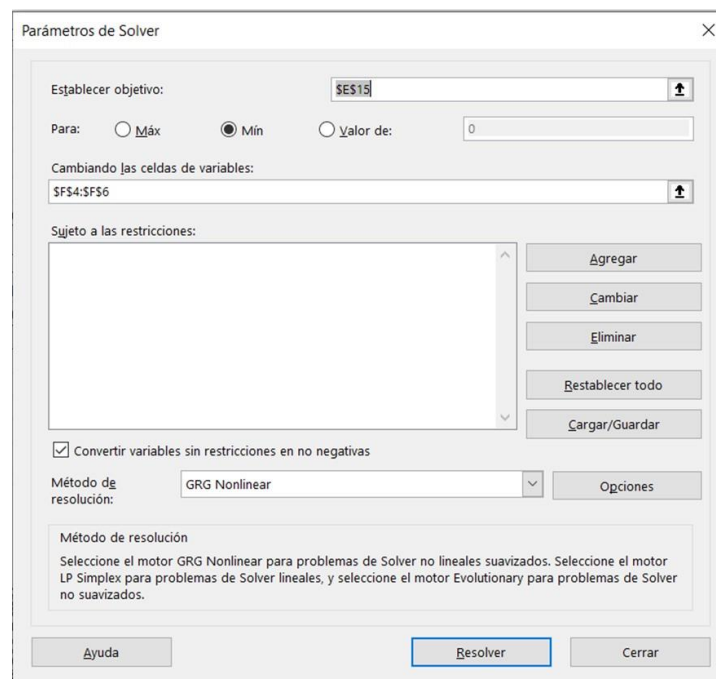
$$E_{12} = (C_{12} - D_{12})^2$$

$$E_{13} = (C_{13} - D_{13})^2$$

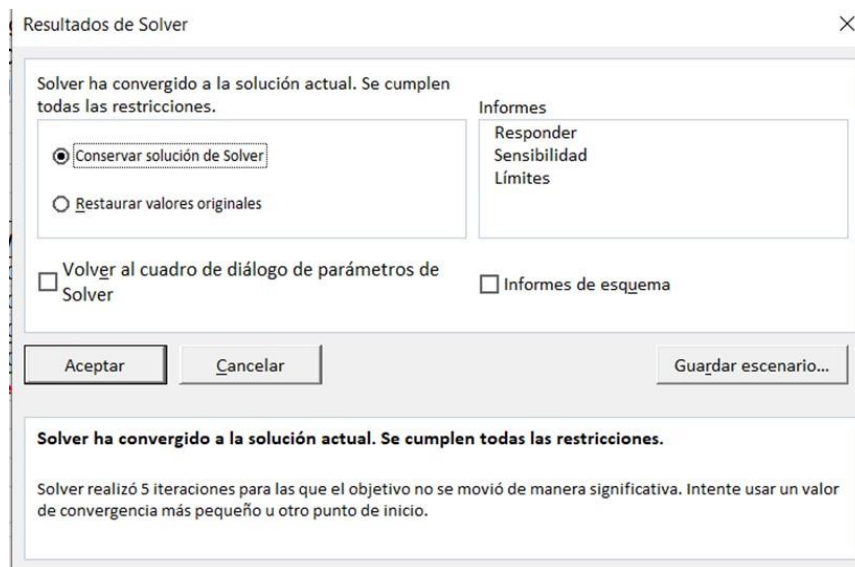
$$E_{14} = (C_{14} - D_{14})^2$$

$$E_{15} = \text{SUMA}(E_{12}:E_{14})$$

**Paso 5:** Con la celda E15 activo, vamos a datos y dentro ello a Solver y abrimos. Minimizamos la celda de función objetivo, se indica la celda de variables a obtener y hacemos resolver.







**Paso 6:** obtención de parámetros de GAB

	A	B	C	D	E	F
4		<b>aw</b>	<b>M exp (g agua/100 g ms)</b>		Kg=	0.70382
5		0.11	14.22		C=	17.1193
6		0.59	35.16		Mo=	22.2511
7		0.95	65.26			
8						
9	<b>Solucion</b>					
10				<b>función</b>		
11		<b>aw</b>	<b>M exp</b>	<b>M ajus GAB</b>	<b>(Mexp-M ajust)^2</b>	
12		0.11	14.22	14.220	0.0000000016	
13		0.59	35.16	35.160	0.00000020282	
14		0.95	65.26	65.260	0.00000008654	
15				SUMA=	0.00000028951	
16					<b>Celda objetivo</b>	
17						

Como se observa los valores iniciales cambiaron

**Paso 7:** Con los parámetros de GAB obtenidos simulamos la humedad de estabilidad, usando la función matemática de GAB, para aw desde 0 a 0.9

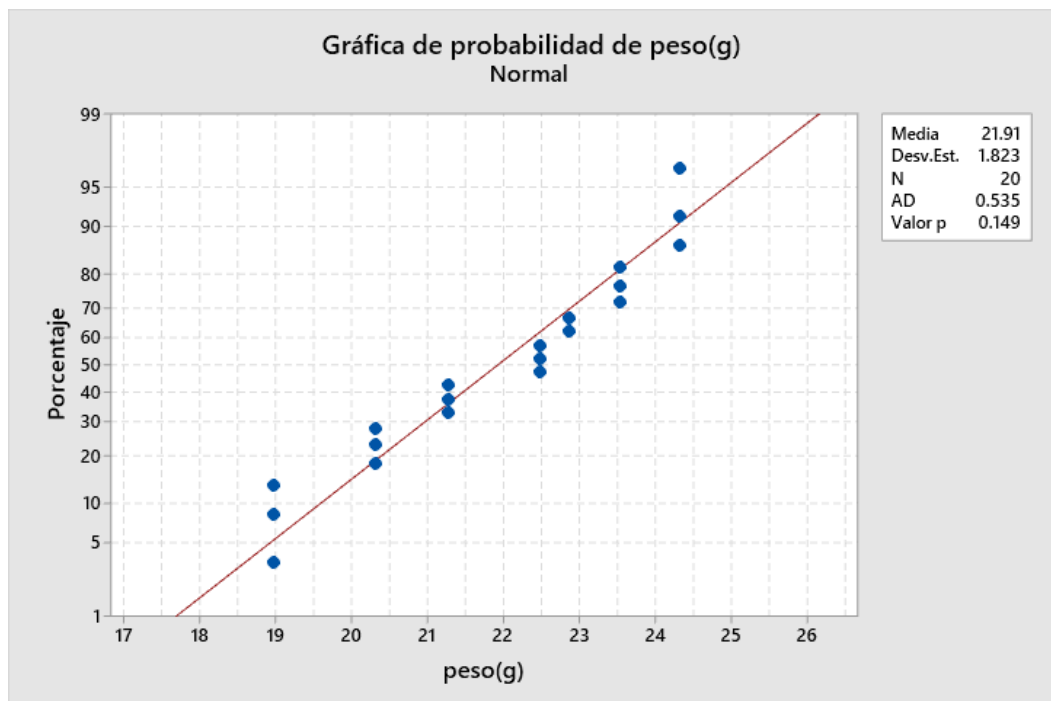
Luego realizamos la gráfica respectiva de humedad experimental y humedad simulada para el modelo matemático de GAB

## IV. RESULTADO Y DISCUSIONES

### 4.1 CARACTERÍSTICAS DEL HIGO ANTES DEL SECADO

A las muestras de los higos se evaluaron los pesos, tamaños y contenido de humedad, a fin de evitar la desviación de los resultados y así disminuir los errores por efecto de factores secundarios.

#### 4.1.1 *Peso de cada higo*

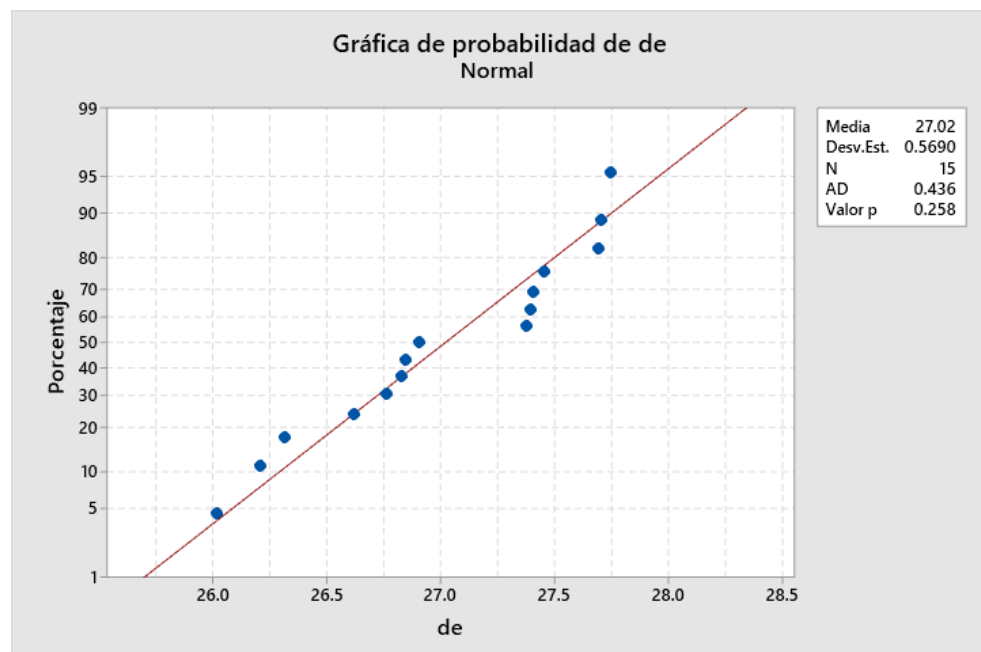


*Figura 11. Resultados de prueba de normalidad de pesos de las muestras de higo usadas.*

Según los resultados el peso medio de los frutos usados fue de  $21.91 \pm 1.823$  g. en el resultado del análisis estadístico de distribución normal mostrados en las Figura 11, se tiene un valor-p de  $0.149 > 0.050$ ; en función al resultado podemos afirmar que las muestras usadas presentan una homogeneidad en cuanto a los pesos de cada fruto usado.

#### 4.1.2 Tamaño de los frutos

En la Figura 12 se observa un tamaño medio de los frutos de higo de  $27.02 \pm 0.5690$  mm y un resultado de evaluación estadístico de valor-p de 0.258. según este resultado distribución normal podemos afirmar que las muestras usadas presentan un tamaño uniforme de los frutos de higo usados.



**Figura 12.** Prueba de normalidad para tamaños de los frutos de higo.

#### ***4.1.3 Contenido de humedad inicial***

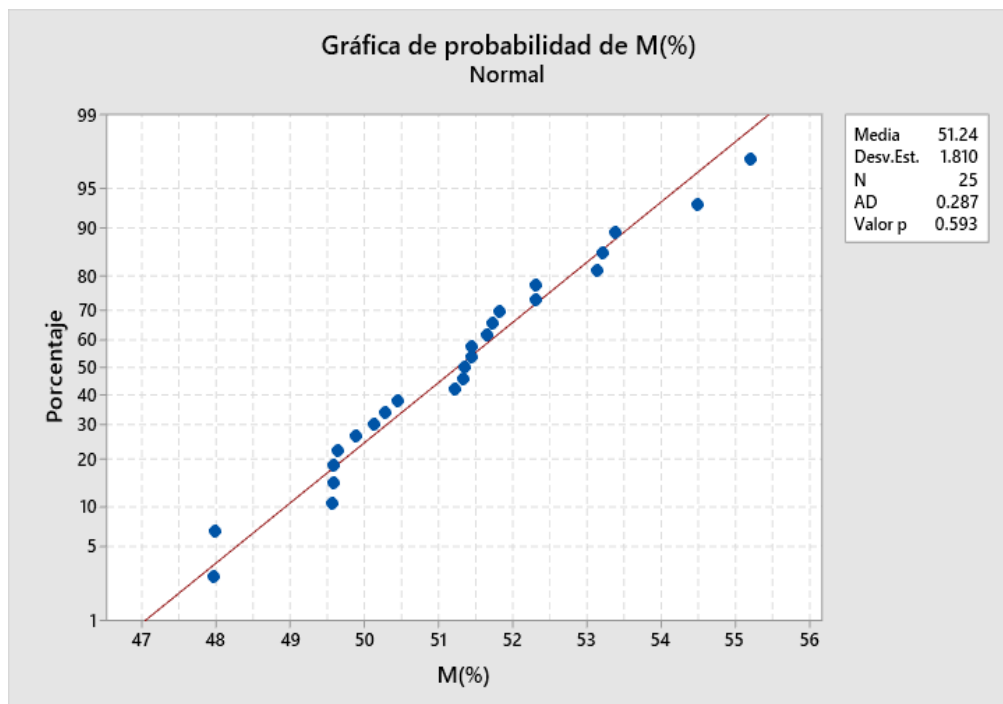
En la Figura 13, se pueden apreciar los resultados de la determinación de los contenidos de humedad inicial en las muestras de higo, donde los contenidos de humedad estuvieron comprendidos en promedio de  $51.24 \pm 1.810$  % (base húmeda), donde se observa al producto bastante deshidratado a comparación de otros frutos cuando es sometido a secado. La particularidad de los higos de esta variedad es que sufren la madurez y senescencia en el árbol hasta el estado como se observa en la Figura 13. En este estadio es la que presenta dicha humedad muy adecuada para aprovechar la deshidratación, además tiene la ventaja que bajo este estadio el deterioro es muy bajo y consumo de energía en el secado es muy bajo como también el tiempo de secado es corto.



*Figura 13. Estado inicial de los frutos de higo antes de someter al secado*

*solar.*

Como resultado del análisis estadístico de la distribución normal mostrados en las Figura 14, se tiene un valor-p de  $0.593 > 0.050$ ; donde podemos afirmar que las muestras usadas presentan una homogeneidad en contenido de humedad, y no existe diferencia significativa entre el contenido de agua en los frutos de higo usados en la investigación.



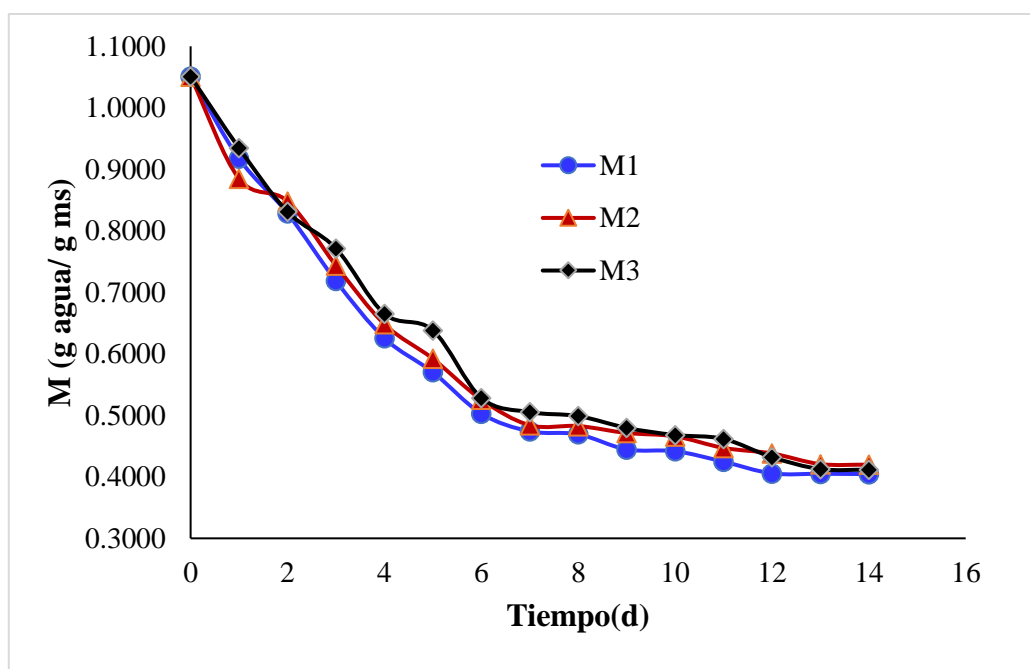
**Figura 14.** Prueba de normalidad para contenido de humedad.

(Mahmoudi et al., 2018) reporta contenidos medios de materia seca de  $23.97 \pm 4.53\%$  y  $26.13 \pm 3.74\%$  respectivamente en higo fresco. Potasio de  $266.7 \pm 2.8$  y  $254.2 \pm 6.9$  mg  $100 \text{ g}^{-1}$  FW.

## 4.2 CINÉTICA DEL SECADO

### 4.2.1 Humedad durante el secado

La Figura 15 presenta variaciones en el contenido de humedad en función del tiempo de secado solar directo. Está claro que el contenido de humedad disminuye de manera continua con el tiempo de secado. Los frutos fueron secados sin ningún tratamiento previo, desprendido del árbol fue directamente al secadero. Se observa que los tiempos de secado requeridos para reducir el contenido de humedad de los higos para su conservación fue de 12 a 13 días, secados de forma entera y a las condiciones ambientales solares directo. En consecuencia, los resultados experimentales demuestran la importancia del secado solar directo.



*Figura 15. Contenido de humedad experimental en los higos durante el secado solar directo.*

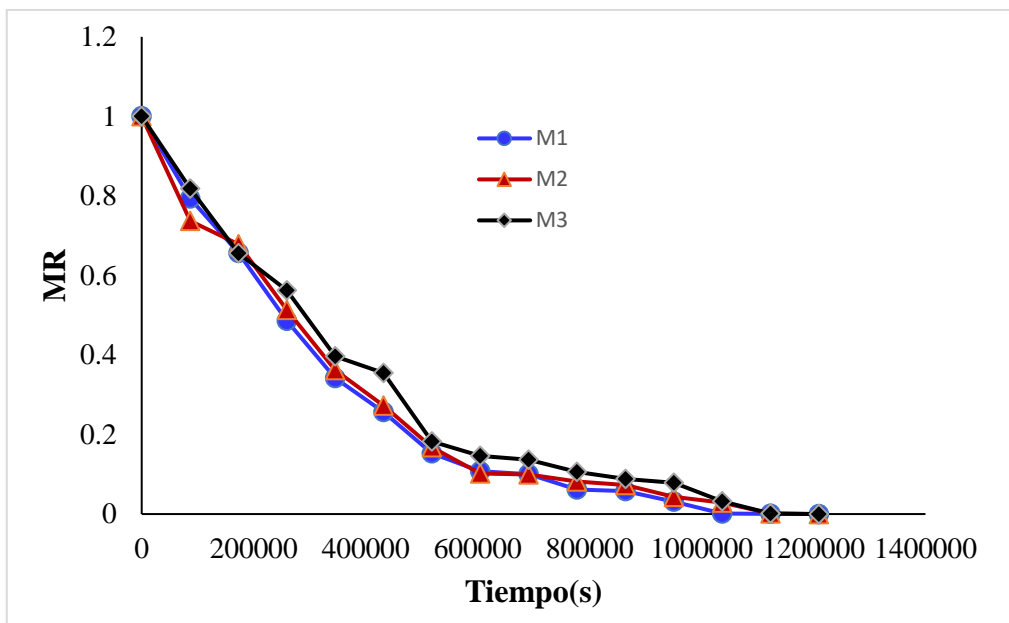
Podemos observar que la cinética del secado del fruto de higo tiene características semejantes a los investigados por (Babalís & Belessiotis, 2004; G. Xanthopoulos et al., 2009; G. (Georgios) Xanthopoulos et al., 2010).

En el secado ambiental el flujo de aire es muy grande, la temperatura es superior a 30°C y con ello la concentración de humedad alrededor del fruto no se acumula fluye muy rápidamente, consecuencia de ello el tiempo de secado es rápido. Este acontecimiento ocurre debido a que las temperaturas elevadas del aire producen mayores flujos de secado, por causa del correspondiente aumento del coeficiente de convección de transferencia de calor (Holdsworth, 1986).

#### ***4.2.2 Relación de humedad***

Analizando las curvas de secado solar directo de higo en la Figura 18, se observa que la cinética fue fuertemente influenciada por las condiciones ambientales, se puede observar también que la pérdida de agua es más rápida al inicio del proceso de secado, siendo que para 5 días ya presentaba una humedad muy baja. Similar comportamiento fue observado por (Babalís & Belessiotis, 2004; G. Xanthopoulos et al., 2009; G. (Georgios) Xanthopoulos et al., 2010).





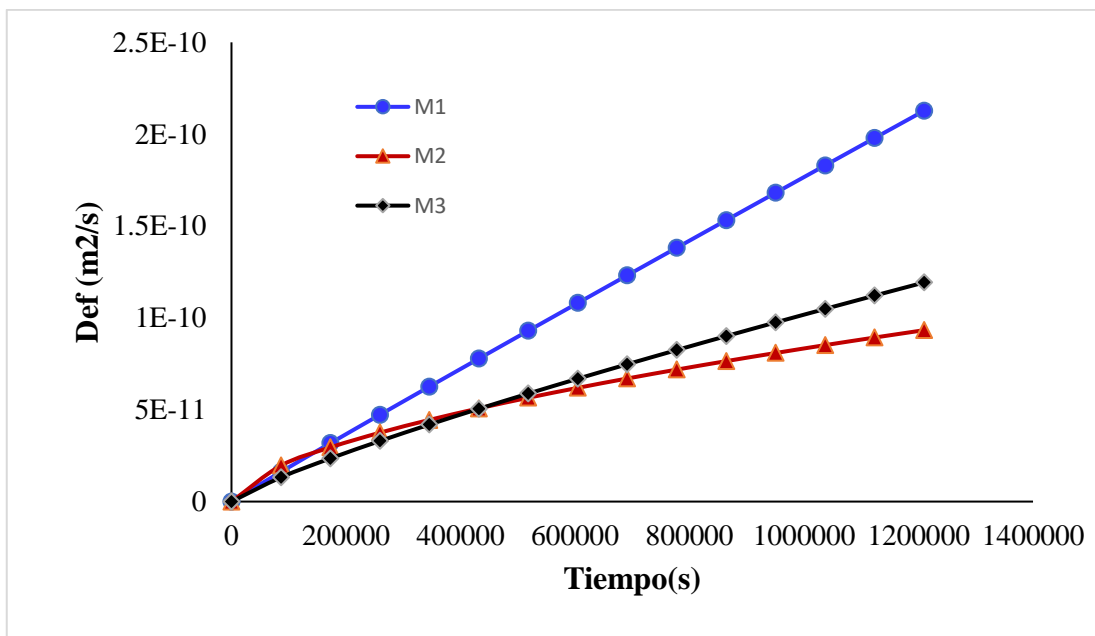
*Figura 16. Relación de humedad (MR) durante el tiempo(s) de secado solar directo del higo.*

La cinética del secado del fruto de higo tiene características semejantes a los investigados por (Babalís & Belessiotis, 2004; G. Xanthopoulos et al., 2009; G. (Georgios) Xanthopoulos et al., 2010).

#### **4.2.3 Difusividad efectiva**

Los valores de difusividad efectiva en función del tiempo de secado, estimados por métodos numéricos basado en la metodología de Alvarez y Legues modificado, se ilustran en la Figura 17. Como se observa las curvas repetidas se superponen y presentan una forma del tipo exponencial.

El valor de difusividad efectiva fue determinado utilizándose la solución numérica de métodos numéricos de las ecuaciones no lineales de Newton Raphson, aplicado a la ecuación de la segunda ley de Fick, se consideró el fruto de higo de forma esférica, asumiendo que la humedad migra solamente por difusión, tratándose que el fruto de higo que se trabajó contenía una humedad del 50 % aproximadamente y la contracción es despreciable (Crank, 1979b).



*Figura 17. Difusividad efectiva de agua durante el secado solar directo en higo.*

La difusividad efectiva obtenida para el secado solar de higo fue en el rango de  $10^{-10}$  m²/s, también (Babalís & Belessiotis, 2004; G. Xanthopoulos et al., 2009) obtuvieron valores similares en el deshidratado con aire caliente de higo, resultados

concordantes con lo manifestado por (Ouaabou et al., 2020) donde manifiesta que la difusividad típica en frutas y verduras está en el rango de  $10^{-11}$  a  $10^{-9}$  m<sup>2</sup>/s

Otros estudios realizados en frutas y verduras en condiciones controladas de temperatura mostraron valores de  $D_{eff}$  entre  $2,4$  y  $12,1 \times 10^{-9}$  m<sup>2</sup>/s para pieles de fresa en el rango de temperatura de  $50$  a  $80$  °C (Doymaz, 2010),  $(6,76$  a  $12,6) \times 10^{-10}$  m<sup>2</sup>/s para albaricoque a  $55$  °C (Aghbashlo et al., 2008b),  $(3,32$ –  $90) \times 10^{-10}$  m<sup>2</sup>/s para arándanos a  $50$ – $70$  °C (Pahlavanzadeh et al., 2001),  $(2,4$ – $6,22) \times 10^{-10}$  m<sup>2</sup>/s para uvas a  $50$ – $70$ °C (Bahammou et al., 2019).

El mecanismo físico dominante que rige el movimiento de agua en el higo durante el secado de frutos con 50% de humedad es el fenómeno de difusión efectiva de la humedad. La difusividad de la humedad depende principalmente de la temperatura del producto, el contenido de humedad y la estructura (Ouaabou et al., 2020). Durante el secado, se puede suponer que la difusividad, explicada con la ecuación de difusión de Fick, es el único mecanismo físico para transferir el agua a la superficie (Dadali et al., 2007). La difusión es un comportamiento característico de los materiales de secado lento en los que las tasas de transferencia de vapor de agua o secado dentro del material están controladas por la difusión hacia la superficie exterior (Ouaabou et al., 2020).

En cuanto a la forma de la curva de difusividad que pareciera directamente proporcional al tiempo, esto podría explicarse a que el agua se difunde a través del fruto del higo de manera sencilla, podría refrendarse debido a varios factores

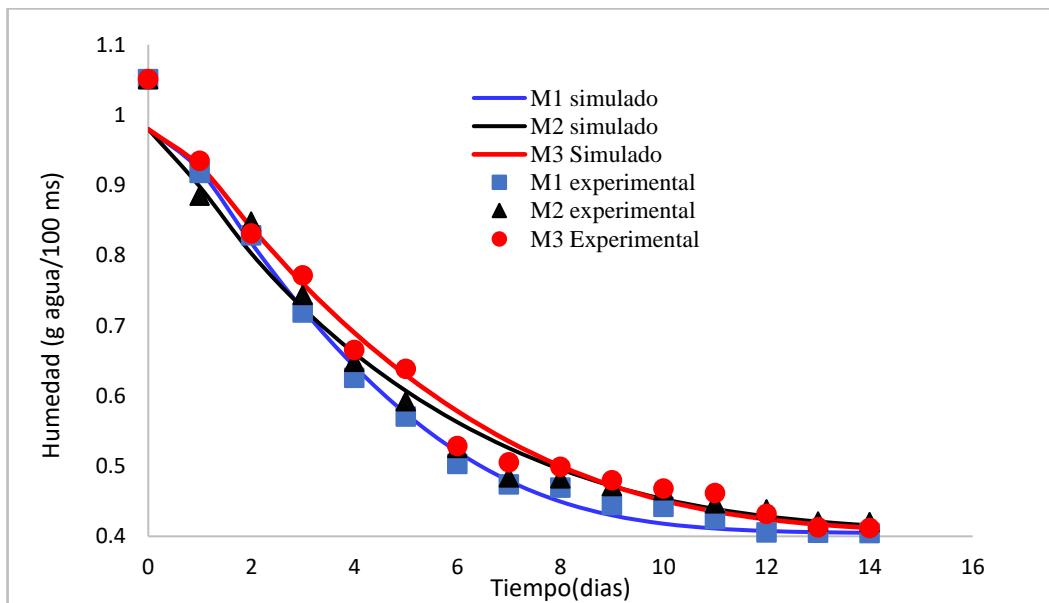
intrínsecos e extrínsecos de secado. La difusividad efectiva de la humedad, esta influenciada por varios factores como la composición, el contenido de humedad, la temperatura y la porosidad del material, se usa debido a la información limitada sobre el mecanismo del movimiento de la humedad durante el proceso de secado y la complejidad del proceso (Abe & Afzal, 1997).

#### ***4.2.4 Humedad simulada***

El contenido de humedad inicial de las muestras se obtuvo  $51.24 \pm 1.810$  % (b.h.) por la metodología de la AOAC. Esta humedad fue el inicio de control y cálculo del proceso de secado.

La variación del contenido de humedad en el higo durante el secado, expresado como g agua/g sólidos secos, se presenta en la Figura 18. El comportamiento observado es acorde con las consideraciones teóricas generales establecidas para el estudio de la operación de secado (Brennan et al., 1998; G. P. Sharma et al., 2005). Esta gráfica se obtuvo con la finalidad de estimar el tiempo mínimo de secado solar a que debería someterse el higo. El contenido de humedad en las muestras sometidas al secado descendió desde 1.0509 g agua/ g ms hasta 0.42 g de agua/g de sólidos secos en un período de 14 días de secado y a partir de este valor la humedad se mantuvo constante en un valor que fue considerado como el tenor de humedad hasta el cual se podría secar el higo en las condiciones de secado solar directo. La disminución de la humedad desde 51.24 hasta 21 % corresponde a una

reducción de 42 % del contenido de agua en 14 días, lo que confirma que el tiempo estimado para el secador solar mixto empleado fue adecuado.



*Figura 18. Humedad experimental y simulados versus el tiempo en el secado solar de frutos de higo.*

#### 4.2.5 Validación de los resultados

La bondad de ajuste entre el modelo y los datos experimentales fue evaluada calculando el error cuadrático medio (RMSE) entre datos simulados y experimentales. El parámetro RMS es más confiable según fuentes diversas (Favetto & Chirife, 2007). Los resultados de RMS (%) se encuentran menores a 10 donde podemos afirmar la

confiabilidad de la simulación. Los valores bajos de RMSE indican como validada los resultados (Matar et al., 2018).

Estos resultados de parámetros estadísticos de validación de los resultados de humedad simulados, reafirman lo discutido, en la que el método de Álvarez y Legues modificado es un buen método adecuado para predecir las curvas de secado, como es el caso de secado solar directo de higo. RMSE = 6.82 el mayor error, considerándose aceptable. En términos del error porcentual absoluto medio (P) de los ajustes, aquellos con menos del 10 % de error pueden considerarse aceptables (Foster et al., 2005).

**Tabla 3**

*Parámetros estadísticos p y RMS utilizados en la evaluación de simulación de humedad durante el secado solar directo de higo.*

<b>Muestra</b>	<b>P (%)</b>	<b>RMS (%)</b>
Muestra 1	2.26	2.35
Muestra 2	3.11	2.78
Muestra 3	2.97	4.77
	2.78	3.3

Visto los resultados de la Tabla 3, el valor de P (%) muy bajos, que representa la diferencia entre el valor experimental y simulado; presentando un buen ajuste, así

mismo para el RMS (%) bajo que representa un buen ajuste del modelo experimental y simulado.

Según (Lomauro et al., 1985), un valor de P menor que cinco ( $P < 5$ ) corresponde a un buen ajuste de los simulados a los experimentales.

La raíz de error cuadrático medio (RMSE) mide en promedio, cuánto se alejan los datos observados de los estimados por el modelo de regresión, o mejor dicho, compara un valor predicho y un valor observado o experimental (Soto-Bravo & González-Lutz, 2019).

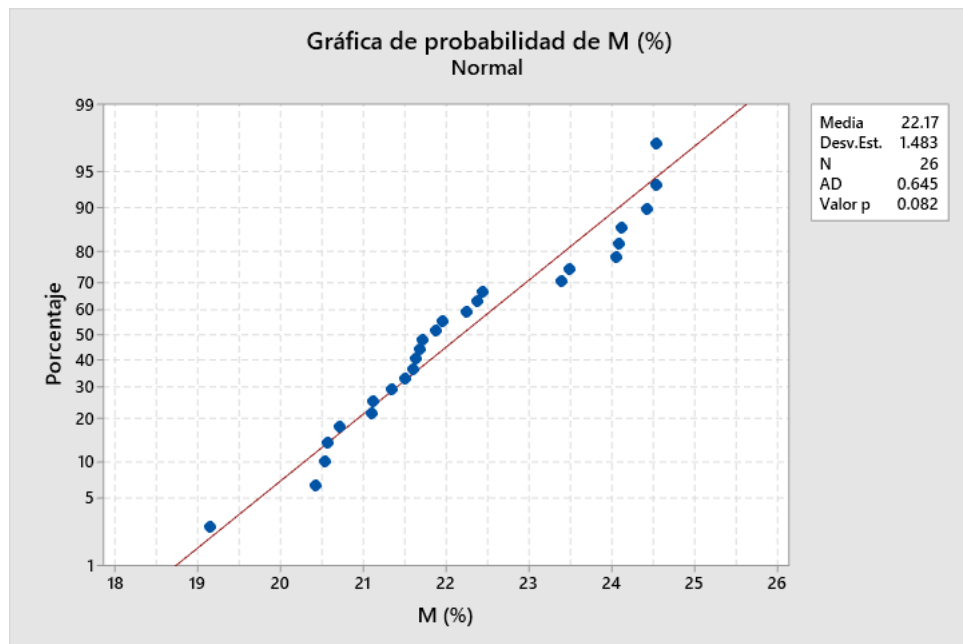
### **4.3 COMPUESTOS BIOACTIVOS EN HIGO SECO**

#### ***4.3.1 Humedad del higo seco***

En la Figura 19, se pueden apreciar los resultados de la determinación de los contenidos de humedad de los higos después del secado, donde los contenidos de humedad estuvieron comprendidos en promedio de  $22.17 \pm 1.483$  % (base húmeda). Similares resultados obtuvieron (Babalís & Belessiotis, 2004; G. Xanthopoulos et al., 2009) en el secado controlado de higo.

Como resultado del análisis estadístico de la distribución normal mostrados en las Figura 19, se tiene un valor-p de  $0.082 > 0.050$ ; con este resultado podemos afirmar que los higos secos presentaron una homogeneidad en su contenido de

humedad, y no existe diferencia significativa en los contenidos de humedad de las muestras de frutos de higo seco.



*Figura 19. Distribución normal para contenido de humedad en el higo seco.*

### 4.3.2 Antocianinas

Las antocianinas cuantificadas en el higo seco se muestran en la Tabla 5, obteniéndose un resultado de  $192.66 \pm 6.856$  (mg/g de muestra seca)

Cercanos al valor obtenido fueron reportados por (Aguilera-Ortíz et al., 2009) un contenido de antocianina monomérica de 162 mg (100 g de tejido epidérmico como cianidina-3-glucósido (Cy-3-glu))<sup>-1</sup> obtenido por espectrofotometría. También



reportó como cianidina no hidrolizada valor de 195 mg/ 100 g muestra liofilizada y como cianidina hidrolizada de 293 mg/ 100 g muestra liofilizada obtenido por método de HPLC.

([Meziant et al., 2015](#)), reportó resultados en extracto de la variedad AZ, y que presentó un contenido de antocianinas (62.22 µg/mL, equivalente a 622 mg/100 g).

#### **4.3.3 Fenoles totales**

Los resultados de los fenoles totales se reportan en la Tabla 4, en ella podemos apreciar los fenoles totales de  $24.65 \pm 0.46$  (GAE/g de extracto), no se reporta flavonoides y flavonoles. Similares contenidos de compuestos bioactivos fue encontrados por ([Meziant et al., 2015](#)), de todos los fenoles presentes en los extractos de *Ficus carica*, más del 50% se definieron como flavonoides, resultados que oscilaron entre 216.63 y 270.79 µg/mL (equivalente a 21.66 y 27,08 mg/g).

[Mahmoudi et al. \(2018\)](#), reportaron donde las cáscaras de higo presentaron cantidades medias más altas ( $p < 0.05$ ) de polifenoles, flavonoides, antocianinas y taninos condensados que las pulpas (1.63 vs 1.11 mg GAE g<sup>-1</sup> FW; 147.760 vs 83.821 µg QE g<sup>-1</sup> FW; 64.823 vs 41.722 µg C-3-R E g<sup>-1</sup> FW y 6.083 vs 2.060 µg CE g<sup>-1</sup> FW).

**Tabla 4**

*Componentes bioactivos en higo secado solar directo.*

<b>Componentes</b>	<b>Cantidad</b>
Humedad	22.17 ± 1.483 %
Antocianinas totales	192.66 ± 6.856 (mg/g)
Fenoles totales	24.65 ± 0.46 GAE/g de extracto
Flavonoides	N.D.
Flavonoles	N.D

N.D.: no detectado

GAE: extracto de ácido gálico

Esto está de acuerdo con (Vallejo et al., 2012) y (Oliveira et al., 2009b), quienes encontraron que la cáscara de higo tenía mayor concentración de fenoles que su pulpa, y con (Harzallah et al., 2016) y (Solomon et al., 2006b), quienes informaron que las concentraciones de fenoles totales de las pulpas ‘Bidhi’ y ‘Kadota’ (variedades verdes) eran más altas en comparación con las cáscaras.

Slatnar et al.(2011) y Solomon et al. (2006c) reportaron un contenido de flavonoides desde 1.6 mg eq. Catequina/ 100 g de muestra hasta 45.6 mg eq. Catequina/ 100 g de muestra fresca, donde manifiestan la cantidad dependerá de la variedad y la parte del higo.

#### 4.4 ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE

La actividad antioxidante del higo seco por secado solar directo, se muestra en la Tabla 5, para las metodologías de DPPH el valor de  $384.44 \pm 2.25$  (ET/g de extracto), ABTS de  $250.06 \pm 3.38$  (ET/g de extracto) y FRAP de  $109.24 \pm 2.07$  (ET/g de extracto) respectivamente.

Los higos presentaron contenidos de polifenoles totales, flavonoides totales y exhibieron una alta capacidad antioxidante (Solomon et al., 2006b).

*Tabla 5*

*Actividad antioxidante en higo seco.*

<b>Método</b>	<b>ET/g de extracto</b>
DPPH	$384.44 \pm 2.25$
ABTS	$250.06 \pm 3.38$
FRAP	$109.24 \pm 2.07$

#### 4.5 ESTABILIDAD DEL HIGO SECO

Con los parámetros obtenidos para modelo matemático de GAB se determinaron los valores de humedad de equilibrio simulado, estos resultados se presentan en la Tabla 6. Los valores de humedad de equilibrio ( $X_{eq}$ ) se encuentran en

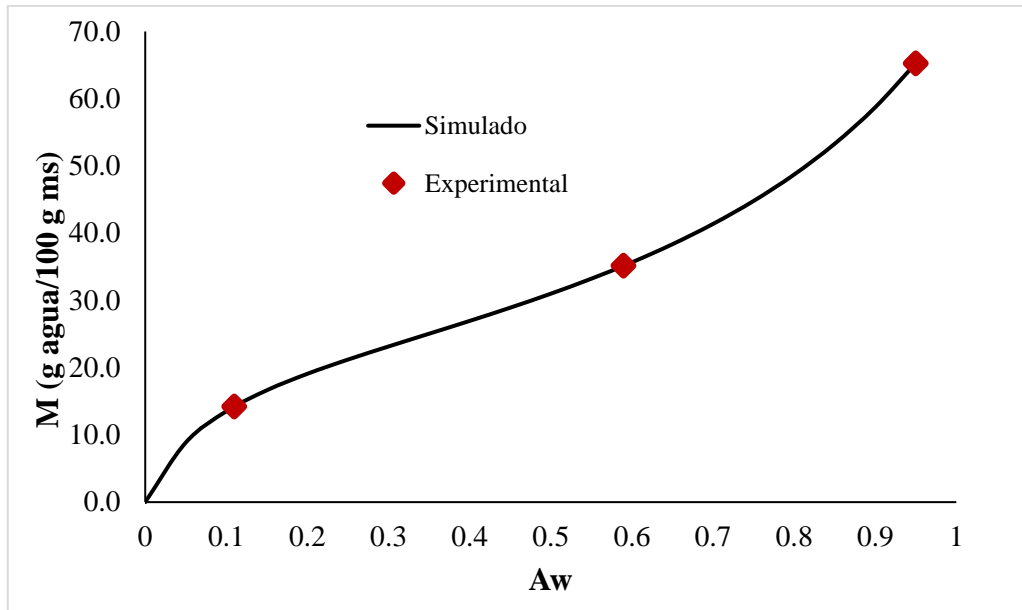
el rango de 14.22 a 65.26 g agua/ 100 g de materia seca y actividad de agua (aw) entre 0,11 y 0,95, respectivamente.

**Tabla 6**

*Estabilidad de humedad experimental y simulado para el modelo matemáticos de GAB.*

<b>aw</b>	<b>M_ Experimental</b>	<b>M_GAB</b>
0.11	14.22	14.22
0.59	35.16	35.16
0.95	65.26	65.26

Según la forma de la Figura 20, se muestra la curva de la humedad de equilibrio para diferentes condiciones ambientales a 20°C. La isoterma de sorción muestra la característica curva en forma de S, típica de las isotermas de sorción de muchos alimentos (Lahsasni et al., 2003; Mohamed et al., 2005). Según (Lewicki, 1997), la mayoría de las isotermas de sorción de agua de los alimentos tienen una forma sigmoidea y la isoterma se divide en tres regiones. Estos resultados implican que, la sorción del higo presenta una forma sigmoidea, característica de una isoterma tipo II (Al-Muhtaseb et al., 2004).



**Figura 20.** *Isoterma de adsorción de agua experimental y simulado para higo seco a 20°C.*

Las regiones corresponden a: la primera corresponde a la humedad de monocapa fuertemente ligada a la matriz del producto (0 a 0.12 aproximadamente); el segundo es casi lineal, correspondiente al agua multicapa (0.12 a 0.70); y la tercera región está relacionada con el agua libre disponible (0.7 a 0.95) para reacciones químicas (Mathlouthi, 2001). La ecuación GAB también se ha utilizado satisfactoriamente para otros productos extruidos y de leguminosas (Wani & Kumar, 2016).

**Tabla 7**

*Parámetros estadísticos p utilizados en la evaluación de simulación de estabilidad de humedad de higo seco.*

<b>Muestra</b>	<b>P (%)</b>	<b>RMS (%)</b>
Muestra	0.00061	0.00078

Visto los resultados de la tabla 7, el valor de P(%) cercano a cero, que representa la diferencia entre el valor experimental y simulado presenta un buen ajuste, así mismo para el RMS(%) cercano a cero que representa un buen ajuste del modelo experimental y simulado.

## V. CONCLUSIONES

1. El ajuste de pérdida de humedad en el higo por el modelo de Álvarez y Legues representó un buen ajuste, evaluado a través de la determinación de difusividad y simulación de humedad, dando un valor p estadístico de 3.3 %.
2. Los valores de la difusividad ( $D_{\text{eff}}$ ) encontrados estuvieron dentro del rango de  $1.145 \cdot 10^{-11}$  a  $2.127 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$  acorde a la teoría.
3. El secado solar directo afectó al higo en su contenido de antocianinas cuyo contenido final fue de  $192.66 \pm 6.856$  (mg/g m.s.) y de fenoles totales de  $24.65 \pm 0.46$  GAE/g de extracto; flavonoides y flavonoles no fue detectado.
4. La actividad antioxidante fue afectada por el secado solar directo, en el higo encontrándose para las metodologías de DPPH el valor de  $384.44 \pm 2.25$  (ET/g de extracto), ABTS de  $250.06 \pm 3.38$  (ET/g de extracto) y FRAP de  $109.24 \pm 2.07$  (ET/g de extracto) respectivamente.
5. El higo seco presentó una buena estabilidad después del secado solar directo.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- ✓ Realizar un estudio del secado solar directo del higo (*ficus carica L.*) minimizando y/o controlando el efecto la radiación solar.
- ✓ Realizar estudios a nivel de otros microcomponentes.



## VII. REFERENCIAS

- Abdel-Rahman, R., Ghoneimy, E., Abdel-Wahab, A., Eldeeb, N., Salem, M., Salama, E., & Ahmed, T. (2021). The therapeutic effects of *Ficus carica* extract as antioxidant and anticancer agent. *South African Journal of Botany*, *141*, 273-277.
- Abe, T., & Afzal, T. M. (1997). Thin-layer infrared radiation drying of rough rice. *Journal of Agricultural Engineering Research*, *67*(4), 289-297.
- Adnan, M., Umer, A., Ahmad, I., Khizar, H., & Shakeel, S. (2014). In vitro Evaluation of Biological Activities of Citrus Leaf Extracts. *Sains Malaysiana*, *43*, 185-194.
- Aghbashlo, M., Kianmehr, M. H., & Arabhosseini, A. (2008a). Energy and exergy analyses of thin-layer drying of potato slices in a semi-industrial continuous band dryer. *Drying Technology*, *26*(12), 1501-1508.
- Aghbashlo, M., Kianmehr, M. H., & Arabhosseini, A. (2008b). Energy and exergy analyses of thin-layer drying of potato slices in a semi-industrial continuous band dryer. *Drying Technology*, *26*(12), 1501-1508.
- Aguilera-Ortíz, M., Alanis-Guzmán, M. G., García-Díaz, C. L., & Hernández-Brenes, C. M. (2009). Caracterización y estabilidad de antocianinas de higo, variedad Mission. *Universidad y ciencia*, *25*(2), 151-158.
- Ali, M., Bordía, T., & Mustafa, T. (1999). Effect of raw versus boiled aqueous extract of garlic and onion on platelet aggregation. *Prostaglandins, Leukotrienes, and Essential Fatty Acids*, *60*(1), 43-47. <https://doi.org/10.1054/plef.1998.0006>
- Alibas, I. (2014). Microwave, Air and Combined Microwave-Air Drying of Grape Leaves (*Vitis vinifera* L.) and the Determination of Some Quality Parameters.

*International Journal of Food Engineering*, 10(1), 69-88.  
<https://doi.org/10.1515/ijfe-2012-0037>

Al-Muhtaseb, A. H., McMinn, W. A. M., & Magee, T. R. A. (2004). Water sorption isotherms of starch powders: Part 1: Mathematical description of experimental data. *Journal of Food Engineering*, 61(3), 297-307.

Amessis-Ouchemoukh, N., Ouchemoukh, S., Meziant, N., Idiri, Y., Hernanz, D., Stinco, C. M., Rodríguez-Pulido, F. J., Heredia, F. J., Madani, K., & Luis, J. (2017). Bioactive metabolites involved in the antioxidant, anticancer and anticalpain activities of *Ficus carica* L., *Ceratonia siliqua* L. and *Quercus ilex* L. extracts. *Industrial Crops and Products*, 95, 6-17.  
<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.10.007>

Ammar, S., del Mar Contreras, M., Belguith-Hadrich, O., Segura-Carretero, A., & Bouaziz, M. (2015). Assessment of the distribution of phenolic compounds and contribution to the antioxidant activity in Tunisian fig leaves, fruits, skins and pulps using mass spectrometry-based analysis. *Food & Function*, 6(12), 3663-3677. <https://doi.org/10.1039/C5FO00837A>

An, K., Li, H., Zhao, D., Ding, S., Tao, H., & Wang, Z. (2013). Effect of Osmotic Dehydration with Pulsed Vacuum on Hot-Air Drying Kinetics and Quality Attributes of Cherry Tomatoes. *Drying Technology*, 31(6), 698-706.  
<https://doi.org/10.1080/07373937.2012.755192>

Arvaniti, O. S., Samaras, Y., Gatidou, G., Thomaidis, N. S., & Stasinakis, A. S. (2019a). Review on fresh and dried figs: Chemical analysis and occurrence of phytochemical compounds, antioxidant capacity and health effects. *Food Research International*, 119, 244-267.

- Arvaniti, O. S., Samaras, Y., Gatidou, G., Thomaidis, N. S., & Stasinakis, A. S. (2019b). Review on fresh and dried figs: Chemical analysis and occurrence of phytochemical compounds, antioxidant capacity and health effects. *Food Research International*, *119*, 244-267. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.01.055>
- Aviara, N. A. (2020). Moisture sorption isotherms and isotherm model performance evaluation for food and agricultural products. *Sorption in 2020s*, 143.
- Babalís, S. J., & Belessiotis, V. G. (2004). Influence of the drying conditions on the drying constants and moisture diffusivity during the thin-layer drying of figs. *Journal of Food Engineering*, *65*(3), 449-458. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.02.005>
- Bachir Bey, M., Richard, G., Meziant, L., Fauconnier, M.-L., & Louaileche, H. (2017). Effects of sun-drying on physicochemical characteristics, phenolic composition and *in vitro* antioxidant activity of dark fig varieties. *Journal of Food Processing and Preservation*, *41*(5), e13164. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13164>
- Badgujar, S. B., Patel, V. V., Bandivdekar, A. H., & Mahajan, R. T. (2014). Traditional uses, phytochemistry and pharmacology of *Ficus carica*: A review. *Pharmaceutical Biology*, *52*(11), 1487-1503. <https://doi.org/10.3109/13880209.2014.892515>
- Bahammou, Y., Lamsyehe, H., Kouhila, M., Lamharrar, A., Idlimam, A., & Abdenouri, N. (2019). Valorization of co-products of sardine waste by physical treatment under natural and forced convection solar drying. *Renewable Energy*, *142*, 110-122.

- Barbanti, D., Mastrocola, D., & Severini, C. (1994). *Air drying of plums. A comparison among twelve cultivars.*
- Beas, R., Loarca, G., Guzmán, S. H., Rodríguez, M. G., Vasco, N. L., & Guevara, F. (2011). Potencial nutracéutico de componentes bioactivos presentes en huitlacoche de la zona centro de México. *Revista mexicana de ciencias farmacéuticas*, 42(2), 36-44.
- Belén-Camacho, D. R., Román, J. C., García Pantaleón, D., Moreno-Álvarez, M. J., Medina Martínez, C., & Ojeda Escalona, C. E. (2007). Efecto del secado solar en los contenidos de humedad, carbohidratos, carotenoides totales e índice de peróxidos del mesocarpio de la palma coroba (*Attalea* spp.). *Interciencia*, 32(4), 257-261.
- Bella, G., Potortì, A., Turco, V., Bua, G., Licata, P., Cicero, N., & Dugo, G. (2015). Trace Elements In *Thunnus Thynnus* From Mediterranean Sea: Benefit-Risk Assessment For Consumer. *Food additives & contaminants. Part B, Surveillance*, 8. <https://doi.org/10.1080/19393210.2015.1030347>
- Bolívar, J. E. B., Arbeláez, M. B., & Arango, A. J. B. (2005). El método de Newton-Raphson-La alternativa del ingeniero para resolver sistemas de ecuaciones no lineales. *Scientia et Technica*, 11(27), 221-224.
- Bonazzi, C., & Bimbenet, J.-J. (2008). Séchage des produits alimentaires: Appareils et applications. *Techniques de l'ingénieur. Agroalimentaire*, 2(F3002).
- Brennan, J. G. y tres más, Butters, J. R., Cowell, N. D., & Lilly, A. E. V. (1998). *Las operaciones de la ingeniería de los alimentos* (Tercera edición). ACRIBIA.
- Brunetto, M. del R., Gallignani, M., Orozco, W., Clavijo, S., Delgado, Y., Ayala, C., Zambrano, A., Brunetto, M. del R., Gallignani, M., Orozco, W., Clavijo, S.,

- Delgado, Y., Ayala, C., & Zambrano, A. (2020). RP-HPLC-DAD determination of free amino acids in cocoa samples during fermentation and roasting. *Revista Colombiana de Química*, 49(1), 11-19. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v1n49.7781>
- Burden, R. L. (2017). *Análisis numérico*.
- Caliskan, O. (2011). Phytochemical and antioxidant properties of selected fig ( *Ficus carica* L.) accessions from the eastern Mediterranean region of Turkey. *Scientia Horticulturae*. [https://www.academia.edu/8574421/Phytochemical\\_and\\_antioxidant\\_properties\\_of\\_selected\\_fig\\_Ficus\\_carica\\_L\\_accessions\\_from\\_the\\_eastern\\_Mediterranean\\_region\\_of\\_Turkey](https://www.academia.edu/8574421/Phytochemical_and_antioxidant_properties_of_selected_fig_Ficus_carica_L_accessions_from_the_eastern_Mediterranean_region_of_Turkey)
- Caliskan, O. (2012). Effects of genotype and harvest year on phytochemical and fruit quality properties of Turkish fig genotypes. *SPANISH JOURNAL OF AGRICULTURAL RESEARCH*, 10, 1048-1058. <https://doi.org/10.5424/sjar/2012104-2652>
- Çalışkan, O., & Polat, A. A. (2011). Phytochemical and antioxidant properties of selected fig (*Ficus carica* L.) accessions from the eastern Mediterranean region of Turkey. *Scientia Horticulturae*, 128(4), 473-478.
- Chang, C. C., Yang, M. H., Wen, H. M., & Chern, J. C. (2002). Estimation of Total Flavonoid Content in Propolis by Two Complementary Colorimetric Methods. *Journal of Food and Drug Analysis*, 10, 178-182. <https://doi.org/10.38212/2224-6614.2748>

- Chang, S. K., Alasalvar, C., & Shahidi, F. (2016). Review of dried fruits: Phytochemicals, antioxidant efficacies, and health benefits. *Journal of Functional Foods*, *21*, 113-132. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.11.034>
- Chapra, S. C., Canale, R. P., Ruiz, R. S. G., Mercado, V. H. I., Díaz, E. M., & Benites, G. E. (2011). *Métodos numéricos para ingenieros* (Vol. 5). McGraw-Hill New York, NY, USA.
- Clemente, G., Frías, A., Sanjuan, N., Benedito, J., & Mulet, A. (2011). Influence of air velocity in dehydration of potato cubes. *III European Drying Conference (EuroDrying'2011)*, 26-28.
- Crank, J. (1979a). *The mathematics of diffusion*. Oxford university press.
- Crank, J. (1979b). *The mathematics of diffusion*. Oxford university press.
- Crisosto, C. H., Bremer, V., Ferguson, L., & Crisosto, G. M. (2010). Evaluating Quality Attributes of Four Fresh Fig (*Ficus carica* L.) Cultivars Harvested at Two Maturity Stages. *HortScience*, *45*(4), 707-710. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.45.4.707>
- Cuesta, L., Andrade Cuvi, M. J., Moreno Guerrero, C., & Concellón, A. (2013). Contenido de compuestos antioxidantes en tres estados de maduración de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.) cultivado a diferentes alturas (m.s.n.m.). *Enfoque UTE*, *4*(1), 32-49. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v4n1.23>
- Dadalı, G., Apar, D. K., & Özbek, B. (2007). Estimation of Effective Moisture Diffusivity of Okra for Microwave Drying. *Drying Technology*, *25*(9), 1445-1450. <https://doi.org/10.1080/07373930701536767>

- Del Caro, A., & Piga, A. (2008). Polyphenol composition of peel and pulp of two Italian fresh fig fruits cultivars (*Ficus carica* L.). *European Food Research and Technology*, 226(4), 715-719. <https://doi.org/10.1007/s00217-007-0581-4>
- Desa, W. N. M., Mohammad, M., & Fudholi, A. (2019). Review of drying technology of fig. *Trends in Food Science & Technology*, 88, 93-103. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.03.018>
- Dincer, Ibrahim. (1996). Sun drying of sultana grapes. *Drying Technology*, 14(7-8), 1827-1838.
- Dissa, A. O., Bathiebo, J., Kam, S., Savadogo, P. W., Desmorieux, H., & Koulidiati, J. (2009). Modelling and experimental validation of thin layer indirect solar drying of mango slices. *Renewable energy*, 34(4), 1000-1008.
- Doymaz, İ. (2006). Drying kinetics of black grapes treated with different solutions. *Journal of Food Engineering*, 76(2), 212-217. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.05.009>
- Doymaz, İ. (2010). Evaluation of mathematical models for prediction of thin-layer drying of banana slices. *International Journal of Food Properties*, 13(3), 486-497.
- Doymaz, İ., & İsmail, O. (2011). Drying characteristics of sweet cherry. *Food and Bioprocess Processing*, 89(1), 31-38. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2010.03.006>
- Dueñas, M., Pérez-Alonso, J. J., Santos-Buelga, C., & Escribano-Bailón, T. (2008). Anthocyanin composition in fig (*Ficus carica* L.). *Journal of Food Composition and Analysis*, 21(2), 107-115. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2007.09.002>

- El Gharras, H. (2009). Polyphenols: Food sources, properties and applications - a review: **Nutraceutical polyphenols**. *International Journal of Food Science & Technology*, 44(12), 2512-2518. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2009.02077.x>
- Exell, R. H. B. (2017). Basic design theory for a simple solar rice dryer. *International Energy Journal*, 1(2).
- Farahani, M., Salehi-Arjmand, H., Khadivi, A., & Akramian, M. (2019). Chemical characterization and antioxidant activities of *Morus alba* var. Nigra fruits. *Scientia Horticulturae*, 253, 120-127. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.04.040>
- Favetto, G. J., & Chirife, J. (2007). Simplified method for the prediction of water activity in binary aqueous solutions. *International Journal of Food Science & Technology*, 20(5), 631-636. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1985.tb01822.x>
- Foster, K. D., Bronlund, J. E., & Paterson, A. T. (2005). The prediction of moisture sorption isotherms for dairy powders. *International Dairy Journal*, 15(4), 411-418.
- Gibernau, M., Buser, H. R., Frey, J. E., & Hossaert-McKey, M. (1997a). Volatile compounds from extracts of figs of *Ficus carica*. *Phytochemistry*, 46(2), 241-244.
- Gibernau, M., Buser, H. R., Frey, J. E., & Hossaert-McKey, M. (1997b). Volatile compounds from extracts of figs of *Ficus carica*. *Phytochemistry*, 46(2), 241-244. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(97\)00292-6](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(97)00292-6)



- Gutiérrez, J., Olmos, M., & Casillas, J. (2010). *Análisis numérico*. México, Interamericana Editores.
- Harzallah, A., Bhourri, A. M., Amri, Z., Soltana, H., & Hammami, M. (2016). Phytochemical content and antioxidant activity of different fruit parts juices of three figs (*Ficus carica* L.) varieties grown in Tunisia. *Industrial Crops and Products*, 83, 255-267. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.12.043>
- Holdsworth, S. D. (1986). Advances in the dehydration of fruits and vegetables. *Concentration and drying of food*. London: Elsevier Applied Science Publisher, 293, 303.
- Hoxha, L., & Kongoli, R. (2016). Evaluation of antioxidant potential of albanian fig varieties “Krapa Zi” and “Krapa Bardhe” cultivated in the region of Tirana. *16*, 70-74.
- Hssaini, L., Ouabou, R., Charafi, J., Idlimam, A., Lamharrar, A., Razouk, R., & Hanine, H. (2020). Hygroscopic proprieties of fig (*Ficus carica* L.): Mathematical modelling of moisture sorption isotherms and isosteric heat kinetics. *South African Journal of Botany*.
- Jeanet, R., Croguennec, T., Schuck, P., & Brulé, G. (2008). *Sciences des Aliments 1- Stabilisation biologique et physico-chimique*. Tec & Doc Lavoisier.
- Karathanos, V. T., & Belessiotis, V. G. (1999). Application of a thin-layer equation to drying data of fresh and semi-dried fruits. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 74(4), 355-361.
- Kostaropoulos, A. E., & Saravacos, G. D. (1995). Microwave pre-treatment for sun-dried raisins. *Journal of Food Science*, 60(2), 344-347.

- Krokida, M. K., Karathanos, V. T., Maroulis, Z. B., & Marinos-Kouris, D. (2003). Drying kinetics of some vegetables. *Journal of Food engineering*, 59(4), 391-403.
- Lahsasni, S., Kouhila, M., Mahrouz, M., & Fliyou, M. (2003). Moisture adsorption–desorption isotherms of prickly pear cladode (*Opuntia ficus indica*) at different temperatures. *Energy conversion and management*, 44(6), 923-936.
- Lewicki, P. P. (1997). The applicability of the GAB model to food water sorption isotherms. *International journal of food science & technology*, 32(6), 553-557.
- Licata, P., Di Bella, G., Potortì, A. G., Lo Turco, V., Salvo, A., & Dugo, G. M. (2012). Determination of trace elements in goat and ovine milk from Calabria (Italy) by ICP-AES. *Food Additives & Contaminants. Part B, Surveillance*, 5(4), 268-271. <https://doi.org/10.1080/19393210.2012.705335>
- Lim, T. K., & Lim, T. K. (2012). *Limonia acidissima*. *Edible Medicinal And Non-Medicinal Plants: Volume 4, Fruits*, 884-889.
- Lin, J.-Y., & Tang, C.-Y. (2007). Determination of total phenolic and flavonoid contents in selected fruits and vegetables, as well as their stimulatory effects on mouse splenocyte proliferation. *Food Chemistry*, 101(1), 140-147. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.01.014>
- Lomauro, C. J., Bakshi, A. S., & Labuza, T. P. (1985). Evaluation of food moisture sorption isotherm equations. Part I: Fruit, vegetable and meat products. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*, 18(2), 111-117.
- Lombard, K., Peffley, E., Geoffriau, E., Thompson, L., & Herring, A. (2005). Quercetin in onion (*Allium cepa* L.) after heat-treatment simulating home

- preparation. *Journal of Food Composition and Analysis*, 18(6), 571-581.  
<https://doi.org/10.1016/j.jfca.2004.03.027>
- Machado, A. V., Oliveira, E. L., Santos, E. S., & Oliveira, J. A. (2010). Estudio del Secado de Anacardo (*Anacardium occidentale* L.) mediante Secador Solar de Radiación Directa. *Información tecnológica*, 21(1), 31-37.  
<https://doi.org/10.4067/S0718-07642010000100006>
- Maghsoudlou, E., Esmailzadeh Kenari, R., & Raftani Amiri, Z. (2017). Evaluation of Antioxidant Activity of Fig ( *Ficus carica* ) Pulp and Skin Extract and Its Application in Enhancing Oxidative Stability of Canola Oil: OXIDATIVE STABILITY OF OIL WITH FIG EXTRACT. *Journal of Food Processing and Preservation*, 41(4), e13077. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13077>
- Mahmoudi, S., Khali, M., Benkhaled, A., Boucetta, I., Dahmani, Y., Attallah, Z., & Belbraouet, S. (2018). Fresh figs (*Ficus carica* L.): Pomological characteristics, nutritional value, and phytochemical properties. *European Journal of Horticultural Science*, 83, 104-113.  
<https://doi.org/10.17660/eJHS.2018/83.2.6>
- Matar, C., Gaucel, S., Gontard, N., Guilbert, S., & Guillard, V. (2018). Predicting shelf life gain of fresh strawberries ‘ Charlotte cv’ in modified atmosphere packaging. *Postharvest Biology and Technology*, 142, 28-38.  
<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.03.002>
- Mathlouthi, M. (2001). Water content, water activity, water structure and the stability of foodstuffs. *Food control*, 12(7), 409-417.
- Menzies, I. J., Youard, L. W., Lord, J. M., Carpenter, K. L., van Klink, J. W., Perry, N. B., Schaefer, H. M., & Gould, K. S. (2016). Leaf colour polymorphisms: A

- balance between plant defence and photosynthesis. *Journal of Ecology*, *104*(1), 104-113. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12494>
- Meziant, L., Bachir-bey, M., Bensouici, C., Saci, F., Boutiche, M., & Louaileche, H. (2021). Assessment of inhibitory properties of flavonoid-rich fig (*Ficus carica* L.) peel extracts against tyrosinase,  $\alpha$ -glucosidase, urease and cholinesterases enzymes, and relationship with antioxidant activity. *European Journal of Integrative Medicine*, *43*, 101272. <https://doi.org/10.1016/j.eujim.2020.101272>
- Meziant, L., Saci, F., BACHIR BEY, M., & Louaileche, M. (2015). Varietal influence on biological properties of Algerian light figs (*Ficus carica* L.). *Int. J. Bioinfo. Biomed. Eng*, *1*, 237-243.
- Miura, Y., Kondo, K., Saito, T., Shimada, H., Fraser, P. D., & Misawa, N. (1998). Production of the Carotenoids Lycopene,  $\beta$ -Carotene, and Astaxanthin in the Food Yeast *Candida utilis*. *Applied and Environmental Microbiology*, *64*(4), 1226-1229. <https://doi.org/10.1128/AEM.64.4.1226-1229.1998>
- Mohamed, L. A., Kouhila, M., Lahsasni, S., Jamali, A., Idlimam, A., Rhazi, M., Aghfir, M., & Mahrouz, M. (2005). Equilibrium moisture content and heat of sorption of *Gelidium sesquipedale*. *Journal of Stored Products Research*, *41*(2), 199-209.
- Moloche Díaz, M. (2020). Ocratoxina A (OTA) en *Ficus carica* L. “higo” durante el proceso de cosecha. *Universidad Nacional Mayor de San Marcos*. <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/15395>
- Mora, W. (2018). Introducción a los métodos numéricos. *Instituto Tecnológico de*

- Moreno, G. (2017). Manual de construcción y operación de una secadora solar. *Seminario de Proyectos II, Ing. en Energía*.
- Mujić, I., Bavcon Kralj, M., Jokić, S., Jug, T., Šubarić, D., Vidović, S., Živković, J., & Jarni, K. (2014). Characterisation of volatiles in dried white varieties figs (*Ficus carica* L.). *Journal of Food Science and Technology*, 51(9), 1837-1846. <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0740-x>
- Muñoz Jáuregui, A. M., Alvarado-Ortíz Ureta, C., Blanco Blasco, T., Castañeda Castañeda, B., Ruiz Quiroz, J., & Alvarado Yarasca, Á. (2014). Determinación de compuestos fenólicos, flavonoides totales y capacidad antioxidante en mieles peruanas de diferentes fuentes florales. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 80(4), 287-297.
- Murcia, M. A., López-Ayerra, B., Martínez-Tomé, M., & García-Carmona, F. (2001). Effect of industrial processing on amino acid content of broccoli. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81(14), 1299-1305.
- Navas, M. J., Jiménez-Moreno, A. M., Bueno, J. M., Sáez-Plaza, P., & Asuero, A. G. (2012). Analysis and Antioxidant Capacity of Anthocyanin Pigments. Part IV: Extraction of Anthocyanins. *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 42(4), 313-342. <https://doi.org/10.1080/10408347.2012.680343>
- Oliveira, A. P., Valentão, P., Pereira, J. A., Silva, B. M., Tavares, F., & Andrade, P. B. (2009a). *Ficus carica* L.: Metabolic and biological screening. *Food and Chemical Toxicology*, 47(11), 2841-2846.
- Oliveira, A. P., Valentão, P., Pereira, J. A., Silva, B. M., Tavares, F., & Andrade, P. B. (2009b). *Ficus carica* L.: Metabolic and biological screening. *Food and*

*Chemical Toxicology*, 47(11), 2841-2846.  
<https://doi.org/10.1016/j.fct.2009.09.004>

Ordoñez-Gómez, E. S., Reátegui-Díaz, D., & Villanueva-Tiburcio, J. E. (2018). Polifenoles totales y capacidad antioxidante en cáscara y hojas de doce cítricos. *Scientia Agropecuaria*, 9(1), 113-121.  
<https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.01.13>

Otzen, T., & Manterola, C. (2022). Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. *Int. J. Morphol*, 1(2), 2.

Ouaabou, R., Nabil, B., Hidar, N., Lahnine, L., Iddimam, A., Lamharrar, A., Hanine, H., & Mahrouz, M. (2018). Valorization of solar drying process in the production of dried Moroccan sweet cherries. *Solar Energy*, 172, 158-164.

Ouaabou, R., Nabil, B., Ouhammou, M., Iddimam, A., Lamharrar, A., Ennahli, S., Hanine, H., & Mahrouz, M. (2020). Impact of solar drying process on drying kinetics, and on bioactive profile of Moroccan sweet cherry. *Renewable Energy*, 151, 908-918. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.11.078>

Ouchemoukh, S., Hachoud, S., Boudraham, H., Mokrani, A., & Louaileche, H. (2012a). Antioxidant activities of some dried fruits consumed in Algeria. *LWT - Food Science and Technology*, 49(2), 329-332.  
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.07.022>

Ouchemoukh, S., Hachoud, S., Boudraham, H., Mokrani, A., & Louaileche, H. (2012b). Antioxidant activities of some dried fruits consumed in Algeria. *LWT - Food Science and Technology*, 49(2), 329-332.  
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.07.022>

- Pahlavanzadeh, H., Basiri, A., & Zarrabi, M. (2001). Determination of parameters and pretreatment solution for grape drying. *Drying technology*, 19(1), 217-226.
- Palmeira, L., Pereira, C., Dias, M. I., Abreu, R. M. V., Corrêa, R. C. G., Pires, T. C. S. P., Alves, M. J., Barros, L., & Ferreira, I. C. F. R. (2019). Nutritional, chemical and bioactive profiles of different parts of a Portuguese common fig (*Ficus carica* L.) variety. *Food Research International*, 126, 108572. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108572>
- Pokorny, J., & Schmidt, S. (2003). The impact of food processing in phytochemicals: The case of antioxidants. *Phytochemical functional foods*, 298-314.
- Potorti, A., Bella, G., Turco, V., Rando, R., & Dugo, G. (2013). Non-toxic and potentially toxic elements in Italian donkey milk by ICP-MS and multivariate analysis. *Journal of Food Composition and Analysis*, 31, 161-172. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2013.05.006>
- Ramful, D., Bahorun, T., Bourdon, E., Tarnus, E., & Aruoma, O. I. (2010). Bioactive phenolics and antioxidant propensity of flavedo extracts of Mauritian citrus fruits: Potential prophylactic ingredients for functional foods application. *Toxicology*, 278(1), 75-87. <https://doi.org/10.1016/j.tox.2010.01.012>
- Ramírez Sandoval, S. A. (2014). *Simulación del proceso del secado de alimentos*. [http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB\\_UMICH/550](http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB_UMICH/550)
- 8
- Rizvi, S. S. (1986). Thermodynamic properties of foods in dehydration. *Engineering properties of foods*, 3, 259-346.

- Sabarez, H., Price, W. E., Back, P. J., & Woolf, L. A. (1997). Modelling the kinetics of drying of d'Agen plums (*Prunus domestica*). *Food Chemistry*, *60*(3), 371-382.
- Sandoval, M., Okuhama, N. N., Angeles, F. M., Melchor, V. V., Condezo, L. A., Lao, J., & Miller, M. J. S. (2002). Antioxidant activity of the cruciferous vegetable Maca (*Lepidium meyenii*). *Food Chemistry*, *79*(2), 207-213. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(02\)00133-4](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(02)00133-4)
- Sauer, T., & Murrieta, J. E. M. (2013). *Análisis numérico*. Pearson Educación.
- Setser, C. S., & Brannan, G. D. (2003). *CARBOHYDRATES/ Sensory Properties*.
- Shahidi, F., & Ambigaipalan, P. (2015). Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: Antioxidant activity and health effects – A review. *Journal of Functional Foods*, *18*, 820-897. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.06.018>
- Sharma, G. P., Verma, R. C., & Pathare, P. B. (2005). Thin-layer infrared radiation drying of onion slices. *Journal of Food Engineering*, *67*(3), 361-366. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.05.002>
- Sharma, S. K., Mulvaney, S. J., & Rizvi, S. S. (2003). *Ingeniería de alimentos*. Limusa. México.
- Shi, Y., Mon, A. M., Fu, Y., Zhang, Y., Wang, C., Yang, X., & Wang, Y. (2018). The genus *Ficus* (Moraceae) used in diet: Its plant diversity, distribution, traditional uses and ethnopharmacological importance. *Journal of Ethnopharmacology*, *226*, 185-196. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2018.07.027>



- Singleton, V. L., & Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American journal of Enology and Viticulture*, 16(3), 144-158.
- Slatnar, A., Klancar, U., Stampar, F., & Veberic, R. (2011). Effect of drying of figs (*Ficus carica* L.) on the contents of sugars, organic acids, and phenolic compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(21), 11696-11702.
- Slavin, J. L. (2006). Figs: Past, Present, and Future. *Nutrition Today*, 41(4), 180-184.  
<https://doi.org/10.1097/00017285-200607000-00009>
- Sokhansanj, S. (1984). Grain drying simulation with respect to energy conservation and grain quality. *Advances in drying*, 3, 121-180.
- Solomon, A., Golubowicz, S., Yablowicz, Z., Grossman, S., Bergman, M., Gottlieb, H. E., Altman, A., Kerem, Z., & Flaishman, M. A. (2006a). Antioxidant activities and anthocyanin content of fresh fruits of common fig (*Ficus carica* L.). *Journal of agricultural and food chemistry*, 54(20), 7717-7723.
- Solomon, A., Golubowicz, S., Yablowicz, Z., Grossman, S., Bergman, M., Gottlieb, H. E., Altman, A., Kerem, Z., & Flaishman, M. A. (2006b). Antioxidant Activities and Anthocyanin Content of Fresh Fruits of Common Fig ( *Ficus carica* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(20), 7717-7723.  
<https://doi.org/10.1021/jf060497h>
- Solomon, A., Golubowicz, S., Yablowicz, Z., Grossman, S., Bergman, M., Gottlieb, H. E., Altman, A., Kerem, Z., & Flaishman, M. A. (2006c). Antioxidant Activities and Anthocyanin Content of Fresh Fruits of Common Fig ( *Ficus*

- carica* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(20), 7717-7723.  
<https://doi.org/10.1021/jf060497h>
- Soto-Bravo, F., & González-Lutz, M. I. (2019). Análisis de métodos estadísticos para evaluar el desempeño de modelos de simulación en cultivos hortícolas 1. *Agronomía Mesoamericana*, 30(2), 517-534.
- Steinteld, A., & Segal, I. (1986). A simulation model for solar thin-layer drying process. *Drying Technology*, 4(4), 535-554.
- Tadapaneni, R. K., Yang, R., Carter, B., & Tang, J. (2017). A new method to determine the water activity and the net isosteric heats of sorption for low moisture foods at elevated temperatures. *Food Research International*, 102, 203-212.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.09.070>
- Tiris, C., Ozbalta, N., Tiris, M., & Dincer, I. (1994). Experimental testing of a new solar dryer. *International Journal of Energy Research*, 18(4), 483-491.
- Tunde-Akintunde, T. Y. (2011). Mathematical modeling of sun and solar drying of chilli pepper. *Renewable energy*, 36(8), 2139-2145.
- Vallejo, F., Marín, J. G., & Tomás-Barberán, F. A. (2012). Phenolic compound content of fresh and dried figs (*Ficus carica* L.). *Food Chemistry*, 130(3), 485-492.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.07.032>
- Veberic, R., Colaric, M., & Stampar, F. (2008a). Phenolic acids and flavonoids of fig fruit (*Ficus carica* L.) in the northern Mediterranean region. *Food chemistry*, 106(1), 153-157.
- Veberic, R., Colaric, M., & Stampar, F. (2008b). Phenolic acids and flavonoids of fig fruit (*Ficus carica* L.) in the northern Mediterranean region. *Food Chemistry*, 106(1), 153-157. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.05.061>

- Veberic, R., & Mikulic-Petkovsek, M. (2015). *Phytochemical Composition of Common Fig (Ficus carica L.) Cultivars* (pp. 235-255).  
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-408117-8.00011-8>
- Vinson, J. (1999). The functional food properties of figs. *Cereal Foods World*, 44, 82-87.
- Vinson, J. A., Zubik, L., Bose, P., Samman, N., & Proch, J. (2005). Dried Fruits: Excellent *in Vitro* and *in Vivo* Antioxidants. *Journal of the American College of Nutrition*, 24(1), 44-50. <https://doi.org/10.1080/07315724.2005.10719442>
- Viuda-Martos, M., Barber, X., Pérez-Álvarez, J. A., & Fernández-López, J. (2015). Assessment of chemical, physico-chemical, techno-functional and antioxidant properties of fig (*Ficus carica* L.) powder co-products. *Industrial Crops and Products*, 69, 472-479. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.03.005>
- Wang, T., Li, Q., & Bi, K. (2018). Bioactive flavonoids in medicinal plants: Structure, activity and biological fate. *Asian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 13(1), 12-23. <https://doi.org/10.1016/j.ajps.2017.08.004>
- Wani, S. A., & Kumar, P. (2016). Moisture sorption isotherms and evaluation of quality changes in extruded snacks during storage. *LWT*, 74, 448-455.
- Welch, C. R., Wu, Q., & Simon, J. E. (2008). Recent Advances in Anthocyanin Analysis and Characterization. *Current Analytical Chemistry*, 4(2), 75-101.  
<https://doi.org/10.2174/157341108784587795>
- Xanthopoulos, G. (Georgios), Yanniotis, S., & Lambrinos, G. (2010). Study of the drying behaviour in peeled and unpeeled whole figs. *Journal of Food Engineering - J FOOD ENG*, 97, 419-424.  
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.10.037>

- Xanthopoulos, G., Yanniotis, S., & Lambrinos, Gr. (2009). Water Diffusivity and Drying Kinetics of Air Drying of Figs. *Drying Technology*, 27(3), 502-512.  
<https://doi.org/10.1080/07373930802686149>
- Yan, Z., Sousa-Gallagher, M. J., & Oliveira, F. A. (2008). Sorption isotherms and moisture sorption hysteresis of intermediate moisture content banana. *Journal of Food Engineering*, 86(3), 342-348.
- Yeganehzad, S., Kiumarsi, M., Nadali, N., & Ashkezary, M. R. (2020). Formulation, development and characterization of a novel functional fruit snack based on fig (*Ficus carica* L.) coated with sugar-free chocolate. *Heliyon*, 6(7), e04350.
- Yemiş, O., Bakkalbaşı, E., & Artık, N. (2012). Changes in pigment profile and surface colour of fig (*Ficus carica* L.) during drying: Changes in pigment profile. *International Journal of Food Science & Technology*, 47(8), 1710-1719.  
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2012.03025.x>
- Zapana Yucra, F. E. (2017). *Estudio comparativo de isoterma de adsorción, propiedades físicas y microestructurales de tres variedades de quinua (Chenopodium quinoa WILLD.), Cultivadas a diferentes altitudes.*
- Zhao, C.-L., Yu, Y.-Q., Chen, Z.-J., Wen, G.-S., Wei, F.-G., Zheng, Q., Wang, C.-D., & Xiao, X.-L. (2017). Stability-increasing effects of anthocyanin glycosyl acylation. *Food Chemistry*, 214, 119-128.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.07.073>
- Zielinska, M., & Michalska, A. (2016a). Microwave-assisted drying of blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) fruits: Drying kinetics, polyphenols, anthocyanins, antioxidant capacity, colour and texture. *Food Chemistry*, 212, 671-680.

Zielinska, M., & Michalska, A. (2016b). Microwave-assisted drying of blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) fruits: Drying kinetics, polyphenols, anthocyanins, antioxidant capacity, colour and texture. *Food Chemistry*, 212, 671-680.

## **ANEXOS**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTOBAL DE  
HUAMANGA  
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD  
Departamento Académico de Medicina Humana  
Laboratorio de Farmacognosia

Av. Independencia S/N – Huamanga. Teléfono: 095-9603457. E-mail: [esquilarfo@gmail.com](mailto:esquilarfo@gmail.com)

El profesor Mg. Enrique Javier Aguilar Felices responsable del Laboratorio de Farmacognosia:

**DA CONSTANCIA:**

Que, el estudiante HAMILTON BARRIENTOS de la **de la Escuela Profesional de Industrias Alimentarias** de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia de la UNSCH ha solicitado la determinación del contenido de fenoles totales, flavonoides, flavonoles y los ensayos de capacidad antioxidantes del fruto seco de *Ficus carica* L. "Higo".

Dicha muestra ha sido procesada según metodologías estandarizadas, reportándose los siguientes resultados:

Muestra procesada: 15 g de fruto seco/100 mL de metanol P.A.  
Rendimiento de la extracción: 11.01 g

Compuestos fenólicos:

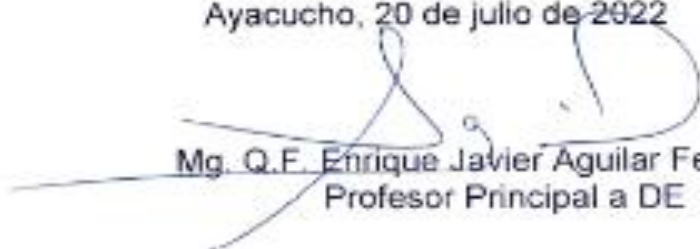
Fenoles totales	Flavonoides	Flavonoles
24,65± 0.46 GAE/g de extracto	N.D.	N.D..

Ensayos de antioxidantes:

DPPH	ABTS	FRAP
384,44 ± 2.25 ET/G de extracto	250,06 ± 3.38 ET/G de extracto	109,24 ± 2.07 ET/G de extracto
46,30 % de capacidad de secuestro del radical libre	43.21 % de capacidad de secuestro del radical libre	

Se expide la presente constancia a solicitud del interesado para los fines que estime conveniente

Ayacucho, 20 de julio de 2022

  
Mg. Q.F. Enrique Javier Aguilar Felices  
Profesor Principal a DE

cc.  
archivo.

**ANEXO 1: Pesos experimentales**

<b>Tiempo (d)</b>	<b>Tiempo (s)</b>	<b>M11 Peso1</b>	<b>M12 Peso2</b>	<b>M13 Peso3</b>
0	0	94.78	117.67	112.4
1	86400	88.61	99.07	99.96
2	172800	84.51	94.96	88.89
3	259200	79.42	83.26	82.5
4	345600	75.12	72.6	71.14
5	432000	72.57	66.3	68.27
6	518400	69.46	58.87	56.52
7	604800	68.12	54.19	54.04
8	691200	67.9	54.04	53.36
9	777600	66.76	52.78	51.3
10	864000	66.63	52.16	50.05
11	950400	65.84	50.06	49.38
12	1036800	64.96	49.05	46.21
13	1123200	64.93	47.11	44.13
14	1209600	64.91	47.01	44.03



**ANEXO 2.** Cálculo de humedad en base seca

Tiempo (d)	Tiempo (s)	M11 Peso1	Ms (g)	Agua(g)	M (g agua/g ms)
0	0	94.78	46.215	48.565	1.0509
1	86400	88.61	46.215	42.395	0.9174
2	172800	84.51	46.215	38.295	0.8286
3	259200	79.42	46.215	33.205	0.7185
4	345600	75.12	46.215	28.905	0.6255
5	432000	72.57	46.215	26.355	0.5703
6	518400	69.46	46.215	23.245	0.5030
7	604800	68.12	46.215	21.905	0.4740
8	691200	67.9	46.215	21.685	0.4692
9	777600	66.76	46.215	20.545	0.4446
10	864000	66.63	46.215	20.415	0.4417
11	950400	65.84	46.215	19.625	0.4247
12	1036800	64.96	46.215	18.745	0.4056
13	1123200	64.93	46.215	18.715	0.4050
14	1209600	64.91	46.215	18.695	0.4045

Tiempo (d)	Tiempo (s)	M11 Peso1	Ms (g)	Agua(g)	M (g agua/g ms)
0	0	117.67	57.376	60.294	1.0509
1	86400	99.07	48.307	50.763	0.8848
2	172800	94.96	46.302	48.658	0.8480
3	259200	83.26	40.598	42.662	0.7436
4	345600	72.6	35.400	37.200	0.6484
5	432000	66.3	32.328	33.972	0.5921
6	518400	58.87	28.705	30.165	0.5257
7	604800	54.19	26.423	27.767	0.4839
8	691200	54.04	26.350	27.690	0.4826
9	777600	52.78	25.736	27.044	0.4714
10	864000	52.16	25.433	26.727	0.4658
11	950400	50.06	24.409	25.651	0.4471
12	1036800	49.05	23.917	25.133	0.4380
13	1123200	47.11	22.971	24.139	0.4207
14	1209600	47.01	22.922	24.088	0.4198

<b>Tiempo (d)</b>	<b>Tiempo (s)</b>	<b>M11 Peso3</b>	<b>Ms (g)</b>	<b>Agua (g)</b>	<b>M (g agua/g ms)</b>
0	0	112.4	54.806	57.594	1.0509
1	86400	99.96	48.740	51.220	0.9346
2	172800	88.89	43.343	45.547	0.8311
3	259200	82.5	40.227	42.273	0.7713
4	345600	71.14	34.688	36.452	0.6651
5	432000	68.27	33.288	34.982	0.6383
6	518400	56.52	27.559	28.961	0.5284
7	604800	54.04	26.350	27.690	0.5052
8	691200	53.36	26.018	27.342	0.4989
9	777600	51.3	25.014	26.286	0.4796
10	864000	50.05	24.404	25.646	0.4679
11	950400	49.38	24.078	25.302	0.4617
12	1036800	46.21	22.532	23.678	0.4320
13	1123200	44.13	21.518	22.612	0.4126
14	1209600	44.03	21.469	22.561	0.4116

### ANEXO: 3 Código de programa en VBA

**Sub funcion**(x, M, fx)

$$fx = 0.607924 * \text{Exp}(-9.86965 * x / 0.014 ^ 2) + 0.15198 * \text{Exp}(-39.4786 * x / 0.014 ^ 2) + 0.06755 * \text{Exp}(-88.8268 * x / 0.014 ^ 2) + 0.037995 * \text{Exp}(-157.9144 * x / 0.014 ^ 2) + 0.02432 * \text{Exp}(-246.7412 * x / 0.014 ^ 2) - ((M - 0.4116) / (1.0509 - 0.4116))$$

**End Sub**

**Sub derivada**(x, M, gx)

$$gx = -(6 * \text{Exp}(-9.869651 * x / 0.014 ^ 2)) / 0.014 ^ 2 - (6 * \text{Exp}(-39.4786 * x / 0.014 ^ 2)) / 0.014 ^ 2 - (6 * \text{Exp}(-88.8268 * x / 0.014 ^ 2)) / 0.014 ^ 2 - (6 * \text{Exp}(-157.9144 * x / 0.014 ^ 2)) / 0.014 ^ 2 - (6 * \text{Exp}(-246.7412 * x / 0.014 ^ 2)) / 0.014 ^ 2$$

**End Sub**

**Function** NewtonR(M)

Dim i As Integer

Dim fx As Single

Dim gx As Single

Dim fxr As Single

Dim x As Single

Dim es As Single

Dim xr As Single

Dim ea As Single

x = 0.000001

es = 0.000001

i = 0

Do

funcion x, M, fx

derivada x, M, gx

xr = x - fx / gx

funcion xr, M, fxr

x = xr

i = i + 1

Loop While Abs(fxr) > es

NewtonR = xr

**End Function**

ANEXO 4: Solución de ecuación de Álvarez Legues por métodos numéricos de

Newton Raphson, cálculo de  $X = Def * t$

$$MR = 0.607924 * \exp\left(-9.86965 \frac{D_{ef} * t}{r^2}\right) + 0.15198 * \exp\left(-39.47860 \frac{D_{ef} * t}{r^2}\right) \\ + 0.06755 * \exp\left(-88.8268 \frac{D_{ef} * t}{r^2}\right) + 0.037995 \\ * \exp\left(-157.9144 \frac{D_{ef} * t}{r^2}\right) + 0.02432 * \exp\left(-246.7412 \frac{D_{ef} * t}{r^2}\right)$$

Tiempo (d)	Tiempo (s)	M11 (Peso1)	Ms (g)	Agua (g)	M (g agua/g ms)	MR	X
0	0	94.78	46.215	48.565	1.0509	1	-5.9925E-07
1	86400	88.61	46.215	42.395	0.9174	0.7934382	7.5917E-07
2	172800	84.51	46.215	38.295	0.8286	0.6561768	2.4932E-06
3	259200	79.42	46.215	33.205	0.7185	0.4857717	6.4151E-06
4	345600	75.12	46.215	28.905	0.6255	0.3418145	1.2218E-05
5	432000	72.57	46.215	26.355	0.5703	0.2564446	1.7492E-05
6	518400	69.46	46.215	23.245	0.5030	0.1523267	2.7558E-05
7	604800	68.12	46.215	21.905	0.4740	0.1074657	3.4434E-05
8	691200	67.9	46.215	21.685	0.4692	0.1001004	3.5838E-05
9	777600	66.76	46.215	20.545	0.4446	0.0619351	4.5349E-05
10	864000	66.63	46.215	20.415	0.4417	0.0575829	4.6794E-05
11	950400	65.84	46.215	19.625	0.4247	0.0311349	5.8988E-05
12	1036800	64.96	46.215	18.745	0.4056	0.0016739	0.00011651
13	1123200	64.93	46.215	18.715	0.4050	0.0006696	0.0001339
14	1209600	64.91	46.215	18.695	0.4045	0	0.00018764

Tiempo (d)	Tiempo (s)	M12 Peso2	Ms (g)	Agua(g)	M (g agua/g ms)	MR	X
0	0	117.67	57.376	60.294	1.0509	1	-5.9925E-07
1	86400	99.07	48.307	50.763	0.8848	0.73676762	1.28777E-06
2	172800	94.96	46.302	48.658	0.8480	0.67860175	2.0279E-06
3	259200	83.26	40.598	42.662	0.7436	0.5130201	5.29802E-06
4	345600	72.6	35.400	37.200	0.6484	0.36215681	1.04975E-05
5	432000	66.3	32.328	33.972	0.5921	0.27299745	1.51834E-05
6	518400	58.87	28.705	30.165	0.5257	0.16784602	2.34946E-05
7	604800	54.19	26.423	27.767	0.4839	0.10161336	3.17873E-05
8	691200	54.04	26.350	27.690	0.4826	0.09949052	3.2123E-05
9	777600	52.78	25.736	27.044	0.4714	0.08165865	3.51978E-05
10	864000	52.16	25.433	26.727	0.4658	0.07288423	3.69091E-05
11	950400	50.06	24.409	25.651	0.4471	0.04316445	4.41461E-05
12	1036800	49.05	23.917	25.133	0.4380	0.02887065	4.88723E-05
13	1123200	47.11	22.971	24.139	0.4207	0.00141523	6.33001E-05
14	1209600	47.01	22.922	24.088	0.4198	0	6.44247E-05

Tiempo (d)	Tiempo (s)	M11 Peso3	Ms (g)	Agua (g)	M (g agua/g ms)	MR	X
0	0	112.4	54.806	57.594	1.0509	1	-5.9925E-07
1	86400	99.96	48.740	51.220	0.9346	0.81804885	5.20533E-07
2	172800	88.89	43.343	45.547	0.8311	0.65613573	2.43204E-06
3	259200	82.5	40.227	42.273	0.7713	0.56267369	4.22898E-06
4	345600	71.14	34.688	36.452	0.6651	0.39651894	9.37404E-06
5	432000	68.27	33.288	34.982	0.6383	0.35454147	1.12271E-05
6	518400	56.52	27.559	28.961	0.5284	0.18268246	2.307E-05
7	604800	54.04	26.350	27.690	0.5052	0.14640924	2.71145E-05
8	691200	53.36	26.018	27.342	0.4989	0.13646336	2.83946E-05
9	777600	51.3	25.014	26.286	0.4796	0.10633319	3.28937E-05
10	864000	50.05	24.404	25.646	0.4679	0.08805031	3.62381E-05
11	950400	49.38	24.078	25.302	0.4617	0.07825069	3.82974E-05
12	1036800	46.21	22.532	23.678	0.4320	0.03188533	5.27944E-05
13	1123200	44.13	21.518	22.612	0.4126	0.00146263	7.71269E-05
14	1209600	44.03	21.469	22.561	0.4116	0	7.95674E-05

ANEXO 5: Valores de difusividades obtenidas

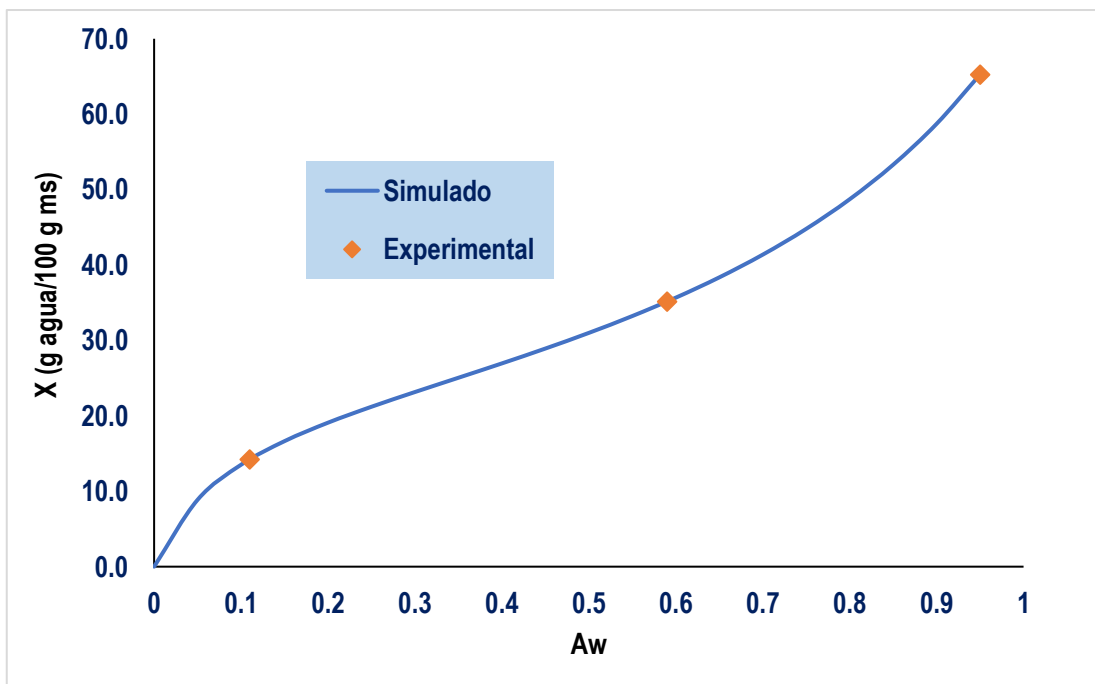
Tiempo (d)	Tiempo(s)	Def. =	Def. =	Def. =
0	0	0	0	0
1	86400	1.61491E-11	1.95695E-11	1.31734E-11
2	172800	3.17855E-11	2.94929E-11	2.34965E-11
3	259200	4.72341E-11	3.74906E-11	3.29615E-11
4	345600	6.25619E-11	4.44485E-11	4.1909E-11
5	432000	7.78005E-11	5.0723E-11	5.04905E-11
6	518400	9.29685E-11	5.65017E-11	5.8791E-11
7	604800	1.08078E-10	6.18983E-11	6.6865E-11
8	691200	1.23138E-10	6.69878E-11	7.47501E-11
9	777600	1.38154E-10	7.18235E-11	8.24735E-11
10	864000	1.53131E-10	7.64441E-11	9.00562E-11
11	950400	1.68074E-10	8.08796E-11	9.75144E-11
12	1036800	1.82986E-10	8.51532E-11	1.04861E-10
13	1123200	1.97868E-10	8.92836E-11	1.12108E-10
14	1209600	2.12725E-10	9.32862E-11	1.19262E-10

ANEXO 6: Valores experimentales de estabilidad de humedad

aw	M exp. (g agua/100 g ms)
0.11	14.22
0.59	35.16
0.95	65.26

ANEXO 7: Calculo de actividad de agua e isothermas de estabilidad de humedad

aw	M exp	Modelo GAB	(Mexp-M ajust)^2
0.11	14.22	14.220	0.00000000016
0.59	35.16	35.160	0.00000020282
0.95	65.26	65.260	0.00000008654
SUMA=			<b>0.000000290</b>





ANEXO 7. Panel fotográfico de secado solar directo



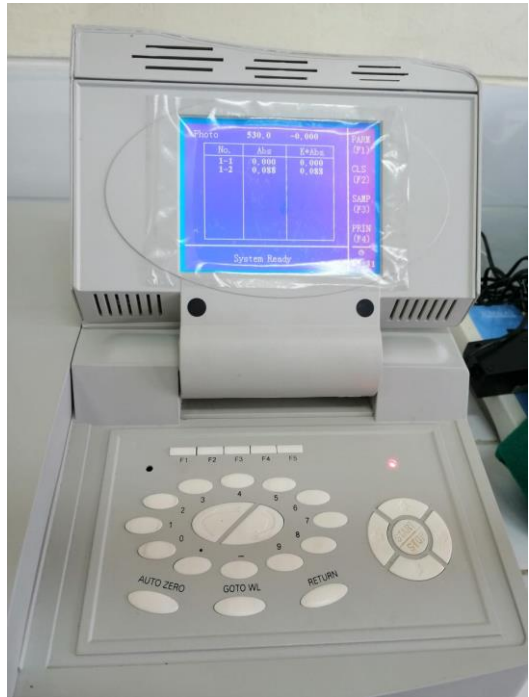


## ANEXO 8. Instrumentos de medición



ANEXO 9. Panel fotográfico de análisis en laboratorio







**UNSCH**FACULTAD DE INGENIERÍA  
**QUÍMICA Y  
METALURGIA****ACTA DE SUSTENTACION DE LA TESIS PRESENCIAL****“CINETICA DE PERDIDA DE HUMEDAD, COMPUESTOS BIOACTIVOS, ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE Y ESTABILIDAD EN FICUS CARICA, DURANTE EL SECADO SOLAR DIRECTO”****Expositora: Hamilton BARRIENTOS GARCIA**  
**Bachiller en Ingeniería en Industrias Alimentarias**

Expediente N° 2332626

Resolución Decanal N° 062-2023-UNSCH-FIQM/D.

Fecha: 13-06-2023.

En la Sala de Conferencia “Pedro Villena Hidalgo” de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia, ubicada en la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga (H-121), siendo las once de la mañana con treinta minutos del día jueves quince de junio del año dos mil veintitrés, se reunieron el Bachiller en Ingeniería en Industrias Alimentarias **Hamilton BARRIENTOS GARCIA**, los Docentes Miembros del Jurado de Sustentación Ingenieros: Dr. Saúl Ricardo CHUQUI DIESTRA, Mg. Hugo Rodolfo ORIUNDO MAMANI y Mg. Julio Pablo GODENZI VARGAS, bajo la Presidencia del Dr. Guido PALOMINO HERNANDEZ (Decano de la FIQM), Dr. Alberto Luis HUAMANI HUAMANI (Docente Asesor de la Tesis), el Mg. José Alberto CUEVA VARGAS (Secretario-Docente) y el público asistente.

Acto seguido, el Presidente del Jurado de Sustentación dispuso que el Secretario Docente dé lectura a los antecedentes tramitados para el presente Acto Público de Sustentación de la Tesis: **“CINETICA DE PERDIDA DE HUMEDAD, COMPUESTOS BIOACTIVOS, ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE Y ESTABILIDAD EN FICUS CARICA, DURANTE EL SECADO SOLAR DIRECTO”**, presentado por el Bachiller **Hamilton BARRIENTOS GARCIA**. A continuación, el Secretario-Docente procedió a dar lectura a la Resolución Decanal N° 062-2023-UNSCH-FIQM/D.

Luego, el Presidente del Jurado invitó al Bachiller **Hamilton BARRIENTOS GARCIA**, a pasar al estrado y exponer su trabajo de Tesis en un tiempo máximo de treintaicinco minutos.

Finalizado la exposición del Bachiller, el presidente invitó a los Señores Miembros del Jurado de Sustentación a que formulen sus preguntas y señalen sus observaciones, en el siguiente orden: Mg. Julio Pablo GODENZI VARGAS, Mg. Hugo Rodolfo ORIUNDO MAMANI y Dr. Saúl Ricardo CHUQUI DIESTRA. Luego el Presidente invitó al Dr. Alberto Luis HUAMANI HUAMANI para que, en su condición de Docente Asesor, se sirva levantar las observaciones del Jurado y efectuar las aclaraciones que considere conveniente.

A continuación, el presidente del jurado invito al sustentante y al público para que se sirva abandonar la sala de conferencia con la finalidad de permitir al jurado de sustentación deliberar sobre la evaluación a otorgar. Se alcanzó el siguiente resultado. **APROBADO POR UNANIMIDAD PROMEDIO CATORCE (14).**



**UNSCH**

FACULTAD DE INGENIERÍA  
**QUÍMICA Y  
METALURGIA**

## ACTA DE SUSTENTACION DE LA TESIS PRESENCIAL

**“CINETICA DE PERDIDA DE HUMEDAD, COMPUESTOS BIOACTIVOS, ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE Y ESTABILIDAD EN FICUS CARICA, DURANTE EL SECADO SOLAR DIRECTO”**

**Expositora: Hamilton BARRIENTOS GARCIA**  
**Bachiller en Ingeniería en Industrias Alimentarias**

Expediente N° 2332626


Resolución Decanal N° 062-2023-UNSCH-FIQM/D.

Fecha: 13-06-2023.

Finalmente, el Presidente del Jurado dispuso que se invite al Sustentante y al público asistente a que se sirvan ingresar a la sala de conferencias y anunció que, el Bachiller **Hamilton BARRIENTOS GARCIA**, ha resultado **APROBADO POR UNANIMIDAD**, y por lo tanto a partir de la fecha la Universidad y la Facultad cuenta con un flamante **INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS** y le augura éxitos en su desempeño profesional.


Siendo la una de la tarde con cuarenta minutos se dio por finalizado este acto académico de Sustentación de Tesis. En fe de lo cual firmamos:

  
.....  
Dr. Guido PALOMINO HERNANDEZ  
Presidente

  
.....  
Dr. Saúl Ricardo CHUQUI DIESTRA  
Miembro

  
.....  
Mg. Hugo Rodolfo ORIUNDO MAMANI  
Miembro

  
.....  
Mg. Julio Pablo GODENZI VARGAS  
Miembro

  
.....  
Mg. José Alberto CUEVA VARGAS  
(Secretario Docente)

## ACTA DE CONFORMIDAD

Los que suscribimos miembros del jurado designado para el acto público de sustentación de la tesis titulada **“CINÉTICA DE PÉRDIDA DE HUMEDAD, COMPUESTOS BIOACTIVOS, ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE Y ESTABILIDAD EN *FICUS CARICA*, DURANTE EL SECADO SOLAR DIRECTO”** presentado por el Bachiller Hamilton BARRIENTOS GARCIA, la cual fue sustentada el día 15 de junio del 2023, en mérito a la Resolución Decanal N° 062-2023-UNSCH-FIQM/D de fecha 13 de junio del 2023; damos conformidad al trabajo final corregido, aceptando la publicación final de la mencionada tesis y declaramos el documento APTO para que pueda iniciar sus gestiones administrativas, que conduzcan a la expedición y entrega del título profesional de Ingenier en Industrias Alimentarias.

### MIEMBROS DEL JURADO

### DNI

### FIRMA

Dr. Saúl Ricardo CHUQUI DIESTRA

32904170



Mg. Hugo Rodolfo ORIUNDO MAMANI

28244168



Mg. Julio Pablo GODENZI VARGAS

30652868



Ayacucho, junio del 2023






## CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El Director de la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, hace CONSTAR:

Que, el Sr. Hamilton BARRIENTOS GARCIA egresado de la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias ha remitido, con el aval y por intermedio de su asesor el Ing. Alberto Luis Huamaní Huamaní, la Tesis: *“Cinética de pérdida de humedad, compuestos bioactivos, actividad antioxidante y estabilidad en Ficus carica, durante el secado solar directo”*; y se precisa con el Informe de Originalidad de Turnitin, que el índice de similitud del trabajo es de 20% y que se ha generado el Recibo digital que confirma el Depósito que el trabajo ha sido recibido por Turnitin con fecha junio 26 de 2023 e Identificador de la Entrega N° 2122917636.

Se expide la presente, para los fines pertinentes.

Ayacucho, julio 07 de 2023.

 Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga  
Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia  
EP Ingeniería en Industrias Alimentarias  
  
Dr. Alberto L. HUAMANI HUAMANI  
DIRECTOR

c.c. : Archivo digital.  
Constancia N° 120



## Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por **Turnitin**. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: HAMILTON BARRIENTOS GARCIA  
Título del ejercicio: TESIS CON DEPOSITO  
Título de la entrega: Cinética de pérdida de humedad, compuestos bioactivos, ac...  
Nombre del archivo: TESIS\_HAMILTON\_2023\_Sin\_Referencias.pdf  
Tamaño del archivo: 3.53M  
Total páginas: 114  
Total de palabras: 18,047  
Total de caracteres: 92,489  
Fecha de entrega: 26-jun.-2023 06:29a. m. (UTC-0500)  
Identificador de la entre... 2122917636

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL  
DE HUAMANGA  
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y METALURGIA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN  
INDUSTRIAS ALIMENTARIAS



“CINÉTICA DE PÉRDIDA DE HUMEDAD, COMPUESTOS  
BIOACTIVOS, ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE Y  
ESTABILIDAD EN *FICUS CARICA*, DURANTE EL SECADO  
SOLAR DIRECTO”.

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

PRESENTADO POR

HAMILTON BARRIENTOS GARCIA

ASESOR

DR. ALBERTO LUIS, HUAMANI HUAMANI

AYACUCHO – PERÚ

2023



# Cinética de pérdida de humedad, compuestos bioactivos, actividad antioxidante y estabilidad en Ficus carica, durante el secado solar directo

*por* HAMILTON BARRIENTOS GARCIA

---

**Fecha de entrega:** 26-jun-2023 06:29a.m. (UTC-0500)

**Identificador de la entrega:** 2122917636

**Nombre del archivo:** TESIS\_HAMILTON\_2023\_Sin\_Referencias.pdf (3.53M)

**Total de palabras:** 18047

**Total de caracteres:** 92489

# Cinética de pérdida de humedad, compuestos bioactivos, actividad antioxidante y estabilidad en Ficus carica, durante el secado solar directo

## INFORME DE ORIGINALIDAD

20%

INDICE DE SIMILITUD

20%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

7%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	3%
2	<a href="http://www.scielo.org.pe">www.scielo.org.pe</a> Fuente de Internet	3%
3	<a href="http://repositorio.unsch.edu.pe">repositorio.unsch.edu.pe</a> Fuente de Internet	2%
4	<a href="http://www.researchgate.net">www.researchgate.net</a> Fuente de Internet	2%
5	<a href="http://www.scielo.cl">www.scielo.cl</a> Fuente de Internet	1%
6	<a href="http://1library.co">1library.co</a> Fuente de Internet	1%
7	<a href="http://www.redalyc.org">www.redalyc.org</a> Fuente de Internet	1%
8	<a href="http://www.scielo.org.ve">www.scielo.org.ve</a> Fuente de Internet	1%

9	<a href="http://dracocomarch.com">dracocomarch.com</a> Fuente de Internet	1 %
10	<a href="http://repositorio.utc.edu.ec">repositorio.utc.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
11	<a href="http://www.scipedia.com">www.scipedia.com</a> Fuente de Internet	<1 %
12	<a href="#">test</a> Fuente de Internet	<1 %
13	<a href="http://ri.uaq.mx">ri.uaq.mx</a> Fuente de Internet	<1 %
14	<a href="http://www.scielo.org.mx">www.scielo.org.mx</a> Fuente de Internet	<1 %
15	Submitted to Universidad de Cartagena Trabajo del estudiante	<1 %
16	<a href="http://repositorio.upagu.edu.pe">repositorio.upagu.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
17	"Fig (Ficus carica): Production, Processing, and Properties", Springer Science and Business Media LLC, 2023 Publicación	<1 %
18	<a href="http://repositorio.upct.es">repositorio.upct.es</a> Fuente de Internet	<1 %
19	<a href="http://sqperu.org.pe">sqperu.org.pe</a> Fuente de Internet	<1 %

20

[dokumen.tips](#)

Fuente de Internet

&lt;1 %

21

[idoc.pub](#)

Fuente de Internet

&lt;1 %

22

Olga S. Arvaniti, Yiannis Samaras, Georgia Gatidou, Nikolaos S. Thomaidis, Athanasios S. Stasinakis. "Review on fresh and dried figs: Chemical analysis and occurrence of phytochemical compounds, antioxidant capacity and health effects", *Food Research International*, 2019

Publicación

&lt;1 %

23

Reynaldo J. Silva Paz, Reynaldo J. Silva Paz, Dante K. Mateo Mendoza, Amparo Eccoña Sota, Patricia A. Della Rocca. "Secado de hojas de muña (*minthostachys mollis*): Modelado, cinética y propiedades termodinámicas", *Enfoque UTE*, 2022

Publicación

&lt;1 %

24

[hdl.handle.net](#)

Fuente de Internet

&lt;1 %

25

[tesis.ipn.mx](#)

Fuente de Internet

&lt;1 %

26

[Submitted to Universidad de Costa Rica](#)

Trabajo del estudiante

&lt;1 %

27

[doi.org](#)

Excluir citas Activo

Excluir coincidencias < 30 words

Excluir bibliografía Activo