



Universidad  
Nacional  
de Loja

**Universidad Nacional de Loja**

**Facultad de las Energía, las Industrias y los Recursos**

**Naturales no Renovables.**

**Carrera de Ingeniería Electromecánica**

**Diseño experimental para la obtención del perfil de secado del café**

**Trabajo de Titulación previo a la  
obtención del título de Ingeniero  
Electromecánico.**

**AUTOR:**

Roberto Sebastián Maldonado Granda

**DIRECTOR:**

Ing. Miguel Ángel Caraballo Núñez. Ph. D.

Loja – Ecuador

2023

*Educamos para* **Transformar**

## **Certificación**

Loja, 17 de marzo de 2023

Dr. Miguel Angel Caraballo Núñez. Ph.D.

**DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

### **CERTIFICO:**

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **Diseño experimental para obtención del perfil de secado del café**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Electromecánico**, de la autoría del estudiante **Roberto Sebastián Maldonado Granda** con **cédula de identidad Nro. 1105552580**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.

Dr. Miguel Angel Caraballo Núñez, PhD

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

## **Autoría**

Yo, **Roberto Sebastián Maldonado Granda**, declaro ser autor del presente Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación del Trabajo de Titulación en el Repositorio Institucional – Biblioteca Virtual.



**Firma:**

**Cédula de identidad:** 1105552580

**Fecha:** 05 de septiembre del 2023

**Correo electrónico personal:** [maldonadoroberto287@gmail.com](mailto:maldonadoroberto287@gmail.com)

**Correo electrónico institucional:** [roberto.maldonado@unl.edu.ec](mailto:roberto.maldonado@unl.edu.ec)

**Teléfono :** 0990075330

**Carta de autorización por parte del autor para la consulta de reproducción parcial o total, y/o publicación electrónica del texto completo, Trabajo de Titulación.**

Yo, **Roberto Sebastián Maldonado Granda**, declaro ser autor del Trabajo de Titulación denominado: **Diseño experimental para obtención del perfil de secado del café**, como requisito para optar el grado de **Ingeniero Electromecánico**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior, con los cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización en la ciudad de Loja, a los cinco días del mes de septiembre del dos mil veintitrés



**Firma:**

**Autor:** Roberto Sebastián Maldonado Granda

**Cédula de identidad:** 1105552580

**Dirección:** Loja, La Argelia, calle Bacon.

**Teléfono:** 0990075330

**Correo Electrónico:** [roberto.maldonado@unl.edu.ec](mailto:roberto.maldonado@unl.edu.ec)

**DATOS COMPLEMENTARIOS:**

**Director del Trabajo de Titulación:** Ing. Miguel Ángel Caraballo Núñez. Ph.D.

## **Dedicatoria**

El presente trabajo de investigación lo dedico a mis padres y a mi hermano, que, con mucho esfuerzo y confianza, me han apoyado durante este proceso, inculcándome la perseverancia y cumplir con mis metas planteadas, teniendo presente que tener fe en Dios permite alcanzar todo lo que uno se propone.

A toda mi familia y amigos en general, que han sido pieza clave para lograr lo propuesto y siempre motivarme a seguir adelante.

***Roberto Sebastián Maldonado Granda.***

## **Agradecimiento**

Expreso mi eterno agradecimiento a toda la planta docente de la Carrera de Ingeniería en Electromecánica de la Universidad Nacional de Loja, por brindarme los conocimientos y valores, para llevar a cabo este proyecto de investigación.

Agradezco al Dr. Miguel Ángel Caraballo Núñez, PhD., por guiarme y brindarme sus conocimientos que permitieron la realización de mi Trabajo de Titulación. De igual manera agradezco al Ing. Byron Agustín Solorzano Castillo, Mg. Sc., por brindarme su apoyo para llevar a cabo la presente.

A todas las personas que han confiado en mí y me han apoyado incondicionalmente.

***Roberto Sebastián Maldonado Granda.***

## Índice de contenido.

<b>Portada</b> .....	i
<b>Certificación</b> .....	ii
<b>Autoría</b> .....	iii
<b>Carta de autorización</b> .....	iv
<b>Dedicatoria</b> .....	v
<b>Agradecimiento</b> .....	vi
<b>Índice de contenido.</b> .....	vii
<b>Índice de figuras:</b> .....	x
<b>Índice de tablas:</b> .....	xiii
<b>Índice de anexos:</b> .....	xv
<b>Simbología:</b> .....	xvi
<b>1. Título</b> .....	1
<b>2. Resumen</b> .....	2
<b>2.1 Abstract</b> .....	3
<b>3. Introducción</b> .....	4
<b>4. Marco teórico</b> .....	6
4.1. Capítulo I: Secado del café.....	6
4.1.1. Proceso del secado del café .....	6
4.1.2. Importancia del secado del café .....	7
4.1.3. Métodos de secado del café.....	7
4.1.4. Parámetros del proceso de secado del café .....	10
4.2. Capítulo II: Diseño experimental .....	11
4.2.1. Procedimiento para diseñar experimentos.....	12
4.2.2. Diseño factorial completo .....	14
4.2.3. Diseño unifactorial .....	15

4.2.4. Diseño multifactorial .....	15
4.2.5. Diseño por bloques aleatorizados .....	16
4.3. Capítulo III: Monitoreo, Control y Adquisición de Datos .....	17
4.3.1. Sistemas de control.....	17
4.3.2. Sensores de humedad .....	17
4.3.3. Sensores de temperatura.....	19
4.3.4. Ventiladores.....	20
4.3.5. Sistemas de adquisición de datos .....	21
4.3.6. Sistemas ARDUINO .....	22
4.4. Capítulo IV: Investigaciones previas sobre el secado del café y su incidencia	23
4.4.1. Investigación 1 .....	23
4.4.2. Investigación 2 .....	24
4.4.3. Investigación 3 .....	25
<b>5. Metodología.....</b>	<b>27</b>
5.1. Recolección de información.....	27
5.2. Proceso experimental .....	27
5.3. Diseño de cajas experimentales.....	28
5.4. Construcción de las cajas experimentales .....	29
5.5. Programación del sistema de adquisición de datos .....	32
5.6. Preparación de muestras de café .....	34
5.7. Obtención de datos del secado del café.....	34
<b>6. Resultados .....</b>	<b>37</b>
6.1. Diseño conceptual del prototipo de secador de café .....	37
6.2. Resultados obtenidos del beneficiado del café.....	44
<b>7. Discusión.....</b>	<b>60</b>
<b>8. Conclusiones.....</b>	<b>62</b>
<b>9. Recomendaciones.....</b>	<b>63</b>



<b>10. Bibliografía.....</b>	<b>64</b>
<b>11. Anexos.....</b>	<b>66</b>

## Índice de figuras:

<b>Figura 1.</b> Secado de café al sol en patio.....	8
<b>Figura 2.</b> Secado de café en camas africanas.....	9
<b>Figura 3.</b> Tipo de secado mecánico. ....	10
<b>Figura 4.</b> Medidor de humedad de varios granos. ....	18
<b>Figura 5.</b> Sensor de humedad relativa DTH11. ....	19
<b>Figura 6.</b> Termopar tipo J. ....	19
<b>Figura 7.</b> Termopar tipo K. ....	20
<b>Figura 8.</b> Ventiladores centrífugos. ....	21
<b>Figura 9.</b> Ventiladores axiales. ....	21
<b>Figura 10.</b> Microcontrolador ARDUINO UNO.....	23
<b>Figura 11.</b> Secador solar con flujo de aire continuo alimentado con energía fotovoltaica.....	24
<b>Figura 12.</b> Sistema de lecho fluidizado para el secado de café. ....	25
<b>Figura 13.</b> Circuito eléctrico de la fuente de calor.....	31
<b>Figura 14.</b> Circuito eléctrico del sistema de adquisición de datos.....	33
<b>Figura 15.</b> Área de trabajo del proceso experimental. ....	39
<b>Figura 16.</b> Diseño de caja experimental. ....	40
<b>Figura 17.</b> Caja experimental.....	41
<b>Figura 18.</b> <i>Proceso de preparación de muestras de café para el secado. a) Despulpado de café. b) Fermentación del café. c) Cuantificación del pH de la muestra de café. d) Lavado del café fermentado. e) Peso de la muestra de café que se someterá al secado.....</i>	42
<b>Figura 19.</b> <i>Sistema de adquisición de datos.....</i>	43
<b>Figura 20.</b> Elementos para transferencia de calor durante el secado de café. a) Focos incandescentes para el aumento de temperatura del aire para el secado de café. b) Atenuadores de luz para cada foco incandescente. ....	43
<b>Figura 21.</b> Curva general de secado del experimento 1, a $T_{\text{sec}}=45^{\circ}\text{C}$ y $Q_{\text{aire}}=0,00243\text{ m}^3/\text{s}$ .....	46
<b>Figura 22.</b> Curva general de secado del experimento 2, a $T_{\text{sec}}=45^{\circ}\text{C}$ y $Q_{\text{aire}}=0,00162\text{ m}^3/\text{s}$ .....	46
<b>Figura 23.</b> Curva general de secado del experimento 3, a $T_{\text{sec}}=45^{\circ}\text{C}$ y $Q_{\text{aire}}=0,00101\text{ m}^3/\text{s}$ .....	47

<b>Figura 24.</b> Curva general de secado del experimento 4, a $T_{\text{sec}}=37^{\circ}\text{C}$ y $Q_{\text{aire}}=0,00243$ $\text{m}^3/\text{s}$ .....	47
<b>Figura 25.</b> Curva general de secado del experimento 5, a $T_{\text{sec}}=37^{\circ}\text{C}$ y $Q_{\text{aire}}=0,00162$ $\text{m}^3/\text{s}$ .....	48
<b>Figura 26.</b> Curva general de secado del experimento 6, a $T_{\text{sec}}=37^{\circ}\text{C}$ y $Q_{\text{aire}}=0,00101$ $\text{m}^3/\text{s}$ .....	48
<b>Figura 27.</b> Curva general de secado del experimento 7, a $T_{\text{sec}}=30^{\circ}\text{C}$ y $Q_{\text{aire}}=0,00243$ $\text{m}^3/\text{s}$ .....	49
<b>Figura 28.</b> Curva general de secado del experimento 8, a $T_{\text{sec}}=30^{\circ}\text{C}$ y $Q_{\text{aire}}=0,00162$ $\text{m}^3/\text{s}$ .....	49
<b>Figura 29.</b> Curva general de secado del experimento 9, a $T_{\text{sec}}=30^{\circ}\text{C}$ y $Q_{\text{aire}}=0,00101$ $\text{m}^3/\text{s}$ .....	50
<b>Figura 30.</b> Curva de tueste utilizada en las muestras de café. ....	51
<b>Figura 31.</b> Tostadora Bullet Aillio R2. ....	52
<b>Figura 32.</b> Muestras de café tostadas. ....	52
<b>Figura 33.</b> Análisis sensorial del experimento 1.....	53
<b>Figura 34.</b> Análisis sensorial del experimento 2.....	53
<b>Figura 35.</b> Análisis sensorial del experimento 3.....	54
<b>Figura 36.</b> Análisis sensorial del experimento 4.....	54
<b>Figura 37.</b> Análisis sensorial del experimento 5.....	54
<b>Figura 38.</b> Análisis sensorial del experimento 6.....	55
<b>Figura 39.</b> Análisis sensorial del experimento 7.....	55
<b>Figura 40.</b> Análisis sensorial del experimento 8.....	56
<b>Figura 41.</b> Análisis sensorial del experimento 8.....	56
<b>Figura 42.</b> Asistente de Diseño de experimentos en el software Statgrafics. ....	57
<b>Figura 43.</b> Datos considerados de temperatura, flujo de aire y catación para el respectivo análisis en el software Statgrafics. ....	57
<b>Figura 44.</b> Resultados de confiabilidad del modelo matemático.....	58
<b>Figura 45.</b> Construcción de la caja experimental.....	66
<b>Figura 46.</b> Construcción del sistema de control mediante Arduino.....	67
<b>Figura 47.</b> Caja experimental terminada.....	67
<b>Figura 48.</b> Programación para medición de temperatura y humedad relativa mediante Arduino. ....	69
<b>Figura 49.</b> Curvas de secado del experimento 1, a $T_{\text{sec}}=45^{\circ}\text{C}$ y $Q_{\text{aire}}=0,00243$ $\text{m}^3/\text{s}$ . 91	

- Figura 50.** Curvas de secado del experimento 2, a  $T_{\text{sec}}=45^{\circ}\text{C}$  y  $Q_{\text{aire}}=0,00162 \text{ m}^3/\text{s}$ . 91
- Figura 51.** Curvas de secado del experimento 3, a  $T_{\text{sec}}=45^{\circ}\text{C}$  y  $Q_{\text{aire}}=0,00101 \text{ m}^3/\text{s}$ . 92
- Figura 52.** Curvas de secado del experimento 4, a  $T_{\text{sec}}=37^{\circ}\text{C}$  y  $Q_{\text{aire}}=0,00243 \text{ m}^3/\text{s}$ . 92
- Figura 53.** Curvas de secado del experimento 5, a  $T_{\text{sec}}=37^{\circ}\text{C}$  y  $Q_{\text{aire}}=0,00162 \text{ m}^3/\text{s}$ . 93
- Figura 54.** Curvas de secado del experimento 6, a  $T_{\text{sec}}=37^{\circ}\text{C}$  y  $Q_{\text{aire}}=0,00101 \text{ m}^3/\text{s}$ . 93
- Figura 55.** Curvas de secado del experimento 7, a  $T_{\text{sec}}=30^{\circ}\text{C}$  y  $Q_{\text{aire}}=0,00243 \text{ m}^3/\text{s}$ . 94
- Figura 56.** Curvas de secado del experimento 8, a  $T_{\text{sec}}=30^{\circ}\text{C}$  y  $Q_{\text{aire}}=0,00162 \text{ m}^3/\text{s}$ . 94
- Figura 57.** Curvas de secado del experimento 9, a  $T_{\text{sec}}=30^{\circ}\text{C}$  y  $Q_{\text{aire}}=0,00101 \text{ m}^3/\text{s}$ . 95

## Índice de tablas:

<b>Tabla 1.</b> Ejemplo de matriz o plan de experimentación.....	15
<b>Tabla 2.</b> Resultados de catación de las muestras de café del proceso de secado en lecho fluidizado.....	25
<b>Tabla 3.</b> Plan de experimentación para obtención de la curva idónea del secado de café.....	28
<b>Tabla 4.</b> Recopilación de información sobre procesos experimentales del secado de café.....	37
<b>Tabla 5.</b> Rango de valores de las variables que intervienen en el secado de café. ....	39
<b>Tabla 6.</b> <i>Tabla de datos obtenidos del proceso de secado de café.</i> .....	44
<b>Tabla 7.</b> Comprobación del modelo matemático de catación en función de la temperatura y flujo de aire dentro del proceso de secado de café.....	59
<b>Tabla 8.</b> Resultados de humedad del café del experimento 1, repetición 1; a $T_{\text{sec}}=45^{\circ}\text{C}$ y $Q_{\text{aire}}=0,00243\text{ m}^3/\text{s}$ . .....	70
<b>Tabla 9.</b> Resultados de humedad del café del experimento 1, repetición 2; a $T_{\text{sec}}=45^{\circ}\text{C}$ y $Q_{\text{aire}}=0,00243\text{ m}^3/\text{s}$ . .....	70
<b>Tabla 10.</b> Resultados de humedad del café del experimento 1, repetición 3; a $T_{\text{sec}}=45^{\circ}\text{C}$ y $Q_{\text{aire}}=0,00243\text{ m}^3/\text{s}$ . .....	71
<b>Tabla 11.</b> Resultados de humedad del café del experimento 2, repetición 1; a $T_{\text{sec}}=45^{\circ}\text{C}$ y $Q_{\text{aire}}=0,00162\text{ m}^3/\text{s}$ . .....	72
<b>Tabla 12.</b> Resultados de humedad del café del experimento 2, repetición 2; a $T_{\text{sec}}=45^{\circ}\text{C}$ y $Q_{\text{aire}}=0,00162\text{ m}^3/\text{s}$ . .....	72
<b>Tabla 13.</b> Resultados de humedad del café del experimento 2, repetición 3; a $T_{\text{sec}}=45^{\circ}\text{C}$ y $Q_{\text{aire}}=0,00162\text{ m}^3/\text{s}$ . .....	73
<b>Tabla 14.</b> Resultados de humedad del café del experimento 3, repetición 1; a $T_{\text{sec}}=45^{\circ}\text{C}$ y $Q_{\text{aire}}=0,00101\text{ m}^3/\text{s}$ . .....	74
<b>Tabla 15.</b> Resultados de humedad del café del experimento 3, repetición 2; a $T_{\text{sec}}=45^{\circ}\text{C}$ y $Q_{\text{aire}}=0,00101\text{ m}^3/\text{s}$ . .....	74
<b>Tabla 16.</b> Resultados de humedad del café del experimento 3, repetición 3; a $T_{\text{sec}}=45^{\circ}\text{C}$ y $Q_{\text{aire}}=0,00101\text{ m}^3/\text{s}$ . .....	75
<b>Tabla 17.</b> Resultados de humedad del café del experimento 4, repetición 1; a $T_{\text{sec}}=37^{\circ}\text{C}$ y $Q_{\text{aire}}=0,00243\text{ m}^3/\text{s}$ . .....	76
<b>Tabla 18.</b> Resultados de humedad del café del experimento 4, repetición 2; a $T_{\text{sec}}=37^{\circ}\text{C}$ y $Q_{\text{aire}}=0,00243\text{ m}^3/\text{s}$ . .....	76

<b>Tabla 19.</b> Resultados de humedad del café del experimento 4, repetición 3; a $T_{\text{sec}}=37^{\circ}\text{C}$ y $Q_{\text{aire}}=0,00243 \text{ m}^3/\text{s}$ .	77
<b>Tabla 20.</b> Resultados de humedad del café del experimento 5, repetición 1; a $T_{\text{sec}}=37^{\circ}\text{C}$ y $Q_{\text{aire}}=0,00162 \text{ m}^3/\text{s}$ .	78
<b>Tabla 21.</b> Resultados de humedad del café del experimento 5, repetición 2; a $T_{\text{sec}}=37^{\circ}\text{C}$ y $Q_{\text{aire}}=0,00162 \text{ m}^3/\text{s}$ .	78
<b>Tabla 22.</b> Resultados de humedad del café del experimento 5, repetición 3; a $T_{\text{sec}}=37^{\circ}\text{C}$ y $Q_{\text{aire}}=0,00162 \text{ m}^3/\text{s}$ .	79
<b>Tabla 23.</b> Resultados de humedad del café del experimento 6, repetición 1; a $T_{\text{sec}}=37^{\circ}\text{C}$ y $Q_{\text{aire}}=0,00101 \text{ m}^3/\text{s}$ .	80
<b>Tabla 24.</b> Resultados de humedad del café del experimento 6, repetición 2; a $T_{\text{sec}}=37^{\circ}\text{C}$ y $Q_{\text{aire}}=0,00101 \text{ m}^3/\text{s}$ .	80
<b>Tabla 25.</b> Resultados de humedad del café del experimento 6, repetición 3; a $T_{\text{sec}}=37^{\circ}\text{C}$ y $Q_{\text{aire}}=0,00101 \text{ m}^3/\text{s}$ .	81
<b>Tabla 26.</b> Resultados de humedad del café del experimento 7, repetición 1; a $T_{\text{sec}}=30^{\circ}\text{C}$ y $Q_{\text{aire}}=0,00243 \text{ m}^3/\text{s}$ .	82
<b>Tabla 27.</b> Resultados de humedad del café del experimento 7, repetición 2; a $T_{\text{sec}}=30^{\circ}\text{C}$ y $Q_{\text{aire}}=0,00243 \text{ m}^3/\text{s}$ .	83
<b>Tabla 28.</b> Resultados de humedad del café del experimento 7, repetición 3; a $T_{\text{sec}}=30^{\circ}\text{C}$ y $Q_{\text{aire}}=0,00243 \text{ m}^3/\text{s}$ .	84
<b>Tabla 29.</b> Resultados de humedad del café del experimento 8, repetición 1; a $T_{\text{sec}}=30^{\circ}\text{C}$ y $Q_{\text{aire}}=0,00162 \text{ m}^3/\text{s}$ .	85
<b>Tabla 30.</b> Resultados de humedad del café del experimento 8, repetición 2; a $T_{\text{sec}}=30^{\circ}\text{C}$ y $Q_{\text{aire}}=0,00162 \text{ m}^3/\text{s}$ .	86
<b>Tabla 31.</b> Resultados de humedad del café del experimento 8, repetición 3; a $T_{\text{sec}}=30^{\circ}\text{C}$ y $Q_{\text{aire}}=0,00162 \text{ m}^3/\text{s}$ .	87
<b>Tabla 32.</b> Resultados de humedad del café del experimento 9, repetición 1; a $T_{\text{sec}}=30^{\circ}\text{C}$ y $Q_{\text{aire}}=0,00101 \text{ m}^3/\text{s}$ .	88
<b>Tabla 33.</b> Resultados de humedad del café del experimento 9, repetición 2; a $T_{\text{sec}}=30^{\circ}\text{C}$ y $Q_{\text{aire}}=0,00101 \text{ m}^3/\text{s}$ .	89
<b>Tabla 34.</b> Resultados de humedad del café del experimento 9, repetición 3; a $T_{\text{sec}}=30^{\circ}\text{C}$ y $Q_{\text{aire}}=0,00101 \text{ m}^3/\text{s}$ .	90

## **Índice de anexos:**

<b>Anexo 1.</b> Proceso de construcción de cajas experimentales. ....	66
<b>Anexo 2.</b> Programación del sistema de control. ....	68
<b>Anexo 3.</b> Resultados de humedad de las muestras de café de todos los experimentos y réplicas.....	70
<b>Anexo 4.</b> Curvas de secado de cada repetición de los experimentos. ....	91
<b>Anexo 5.</b> Diagrama multifilar del circuito eléctrico utilizado en las cajas experimentales.....	96
<b>Anexo 6.</b> Certificado de traducción. ....	98

**Simbología:**

***T*** = *Temperatura* [°C]

***Q*** = *Flujo de aire* [m<sup>3</sup>/s]

***t*** = *Tiempo de secado* [hrs]

***Cat*** = *Valor de catación o analisis sensorial de muestras de café* [adim]



## **1. Título**

**Diseño experimental para obtención del perfil de secado del café.**

## 2. Resumen

La presente investigación trata sobre la incidencia del proceso de secado de muestras de café en la calidad final, en otras palabras, determinar una curva de secado idónea que garantice una buena calidad del producto final para el consumo humano. Para ello se llevó a cabo la planificación de un proceso experimental, el cual permita definir todos los parámetros que intervienen en el secado de café, como son la temperatura de secado, flujo de aire, y tiempo de secado. Las muestras de café que fueron utilizadas en el secado, fueron de tipo arábica, específicamente, variedad caturra; las cuales después de la producción y cosecha, las muestras fueron despulpadas y fermentadas. Una vez que el café obtuvo el pH deseado, se procedió al lavado de las muestras, con la finalidad de prepararlas y someterlas al proceso de secado mediante cajas experimentales con temperatura y flujo de aire determinado. En este último proceso, se consiguió los datos de humedad de las muestras de café, mediante un medidor de humedad de granos, por ende, se obtuvo las curvas de todos los experimentos realizados, en total 9 pruebas de secado de café. Para finalizar el proceso de beneficiado del café, se procedió a realizar los procesos subsiguientes al secado, que son el trillado, tostado y molido, con ello se obtuvo las muestras finales que fueron sometidas al análisis sensorial a través de un barista. Con ello se determinó la curva de secado idónea que refleja un mayor puntaje de calidad en taza.

**Palabras claves:** Secado de café, Curvas de secado, Calidad en taza, Temperatura de secado, Humedad de café.

## 2.1 Abstract

This research deals with the impact of the coffee sample drying process on the final quality. So, it aims to determine an ideal drying curve that guarantees a good quality of the product for human consumption. For this purpose, the planning of an experimental process was carried out. It allows the definition of all the parameters that are involved in coffee drying, such as drying temperature, airflow, and drying time. The coffee samples that were used in the drying process were of the arabica type, specifically the *caturra* variety. After production and harvesting, the samples were pulped and fermented. After the coffee had obtained the desired pH, the samples were washed to prepare them and submit them to the drying process using experimental boxes with a determined temperature and airflow. In this process, the coffee samples' humidity data were obtained through a grain humidity meter. Therefore, the curves of all the experiments carried out were obtained, a total of 9 coffee drying tests. To finish the process of coffee processing, we proceeded to carry out the processes after drying, which are threshing, roasting, and grinding. With that, we obtained the final samples that were subjected to sensory analysis by a barista. With this, the ideal drying curve was determined that reflects a higher cup quality score.

**Keywords:** Coffee drying, Drying curves, Cup quality, Drying temperature, Coffee humidity.

### **3. Introducción**

El beneficiado de café, en el cual se incluye el secado de café, ha sido uno de los procesamientos de este producto más antiguos, en el cual se producía, procesaba y comercializaba el café a lo largo de la historia. Con el paso del tiempo, esencialmente, los métodos de secado de café fueron avanzando conforme la tecnología iba revolucionando. Antiguamente, generalmente, el café era secado naturalmente, en patios o superficies expuestas al ambiente exterior, con la finalidad de que condiciones naturales permita extraer la humedad del café. Actualmente, el secado de café se realiza mediante máquinas y equipos especializados en este proceso, con la finalidad de agilizar la extracción de humedad del grano de café, y tener un control de aquellas variables que influyen en el secado.

Los procesos de beneficiado de café en las industrias comercializadoras de este producto, es de suma importancia que se basen en estándares y normas de calidad, como, por ejemplo, la Norma INEN 285, la cual se refiere a la clasificación y requisitos del café; la Norma INEN 11294 y 11817, ambas normas que describen como se debe determinar el contenido de humedad en el grano de café, entre otras; con la finalidad de satisfacer una demanda real. Cada una de las actividades que se lleva a cabo en el procesamiento del café hasta su producto final, se deben tener en cuenta las variables que deben ser controladas, como temperatura, tiempo de secado y flujo de aire, entre otras.

En el proceso del secado de café, influyen algunos parámetros que deben ser considerados importantes, como son, el tipo de secado a utilizar, el tipo de muestra de café, el tueste de café, entre otros; para que la incidencia de este tipo de procesamiento del café no afecte a la calidad en taza del café. Dentro de este proceso, se tiene que controlar variables como, la temperatura de secado, el tiempo de secado, y la humedad final del grano de café; independiente del método o tipo de secado. (FAO, 2006)

Para ello, se ha planteado llevar a cabo una investigación experimental, en la que se defina el perfil idóneo de secado de café, el cual establezca el comportamiento de la humedad del grano de café conforme pasa el tiempo en el proceso de secado, es decir, el cómo va disminuyendo la humedad del grano de café durante este proceso; por ende, se garantice una buena calidad de café y sea aceptado en el mercado, tanto nacional, como internacional.

Los objetivos planteados para la presente investigación se describen a continuación:

## **Objetivo general**

- Determinar la incidencia del perfil de secado en la calidad del café.

## **Objetivos específicos**

- Determinar los parámetros requeridos para el secado del café
- Diseñar un proceso experimental para obtener el perfil de secado del café.
- Implementar un sistema de adquisición de datos para obtención del perfil de secado de café.
- Analizar la información obtenida para definir un perfil de secado de café.

Para llevar a cabo el proceso experimental del secado de café, se inició con la recolección de información sobre todo lo que conlleva el proceso de secado de café, las variables que intervienen y los resultados de las curvas que se obtienen; con el objetivo de definir los rangos de las variables que se van a controlar en la presente investigación, para la obtención de la curva idónea de secado de café, tal que garantice una buena calidad del café.

En la fase de diseño y construcción de las cajas experimentales, en la cuales se realizaron las pruebas del secado de café, no presentó mayor complejidad. En el tema del diseño, se consideró variables que se deben considerar para el cálculo de la geometría de las cajas, como es la densidad del café (densidad antes del proceso de secado), la cantidad de muestra, y el tipo de cama de café, con la finalidad de obtener el dato del área de la caja de secado, por consecuente sus dimensiones generales. Teniendo un diseño específico de las cajas, se adquirieron los elementos necesarios para la construcción de estas, para seguidamente, dar inicio al proceso de secado de café y al monitoreo de este.

En el tema del monitoreo del secado de café, se analizó principalmente, la humedad del grano de café, tal variable que, durante la experimentación, se fue controlando hasta llegar al valor de humedad deseado, valor que fluctúa entre el 10% al 12% de humedad (Galova, 2020). Por otro lado, también se controló la temperatura de secado y flujo de aire.

Con todo lo antes descrito, y todas las actividades que se llevaron a cabo, se cumplen con los objetivos planteados en la presente investigación.

## 4. Marco teórico

### 4.1. Capítulo I: Secado del café

#### 4.1.1. *Proceso del secado del café*

El proceso de secado del café aborda una serie de parámetros y variables de importancia que se deben tomar en cuenta en el momento del procesamiento del café. En este apartado, se enfoca en definir los parámetros clave y los subprocesos que intervienen.

El proceso de secado se lo define como el procedimiento de minimizar el porcentaje de humedad del grano del café, después que este haya sido cosechado, desde un porcentaje aproximadamente del 60% hasta un mínimo del 8 % y un máximo del 12.5 % (Internacional Coffe Council (ICC), 2004). Cabe recalcar que según indica la Asociación de Café Especiales de América (SCAA) en su “Standard for Green Coffee Quality”, el porcentaje de humedad luego del proceso de secado debe estar en un rango entre el 10% y 12%, en el cual el 11.5% constituye el rango óptimo. (Galova, 2020)

Se debe tomar en cuenta que cada grano de café es diferente en sí mismo debido a su procesamiento, condiciones de cultivo, origen, variedad, entre otros parámetros a tomar en cuenta; por lo que el porcentaje óptimo puede variar. Este rango más cerrado para el café de especialidad marca una diferencia importante en cuánto a su proceso más controlado y regulado. (Berrocal & Vanegas, 2019)

Cabe destacar que la humedad se define como la cantidad de agua dentro de una partícula objeto sólido, en el aire o en otros líquidos. (Bell, 2012)

Para definir el punto del secado se indica en la resolución N° 420, adoptada por el “International Coffee Council” con una medida para implementar el “Coffee Quality Improvement Programme”, el cual consiste en parámetros óptimos para todo el café exportable como una medida para el mejoramiento de calidad del café a nivel mundial y aplica una medida general y voluntaria para todo el café exportado de países miembros de esta organización. (Internacional Coffe Council (ICC), 2004)

Generalmente el proceso secado puede dividirse en 3 etapas tomadas en cuentas a partir de la pérdida de humedad las cuales son: la primera fase se refiere a un período de “pre secado”, en esta etapa la pérdida de humedad se produce una tasa relativamente constante esta etapa puede demorar alrededor de 1 a 3 días para el café natural y un día promedio para el café lavado o pergamino cuando se realiza el secado mediante el proceso natural. La segunda etapa se caracteriza por una pérdida acelerada de humedad la cual depende en gran medida de las condiciones atmosféricas y de la tecnología y técnicas aplicadas en el área de secado.

Finalmente, en la tercera etapa se presenta una desaceleración en la tasa de secado, influyendo en la duración de esta etapa. De igual forma depende en gran medida de las condiciones atmosféricas en esta etapa se alcanza el punto recomendado de secado como anteriormente se lo ha mencionado, con el cual se da por finalizado el proceso de secado. (FAO, 2006)

#### **4.1.2. Importancia del secado del café**

En la actualidad, el proceso del secado del café es de gran importancia, ya que generalmente, los granos del café o cualquier otro producto agrícola, no son estables, por lo que con este proceso se busca la estabilidad de estos.

La preservación de un producto agrícola a través del secado, se basa en el hecho de que los microorganismos o enzimas y todos los mecanismos metabólicos requieren de agua para llevar a cabo sus actividades, reducir el contenido de agua o la humedad en el grano del café a valores adecuados, es posible limitar las reacciones químicas y el desarrollo de microorganismos que en caso de no realizarse puede afectar a la calidad del café como producto final al promover la aparición de hongos, moho, fermentación y además afectaciones causadas por microorganismos. (Ghosh & Venkatachalapathy, 2014)

La importancia de realizar un proceso de secado de café se enfoca en la salud de los seres humanos que consumen productos agrícolas, ya que se previene la formación de microorganismos, que afectan la calidad del café, como consecuencia la salud de las personas que consumen este producto. Por otro lado, el secado garantiza la vida útil del café, así como también, el aumento de la calidad del producto.

#### **4.1.3. Métodos de secado del café**

Actualmente existen dos métodos de secado de café, los cuales son el secado al sol, y el secado mecánico. A continuación, se exponen las características de cada uno de estos métodos:

- **Secado al Sol.** Este método de secado del café es el procedimiento más convencional y utilizado a nivel mundial (FAO, 2006). Una de las principales características es que este método es más viable en la parte económica con respecto del proceso de secado mecánico, por lo que no se requiere de una inversión en maquinaria especializada para desarrollar este método, dado que se utiliza el calor natural del sol y la acción del viento para llevar este procedimiento. (Ghosh & Venkatachalapathy, 2014)

Una de las desventajas de este método, es que depende de las condiciones ambientales y del espacio en donde se desarrolle, ya que, en temporadas adversas, conlleva que el secado natural sea por tiempos de secado más extensos.

Actualmente, los avances tecnológicos y la aparición de nuevos métodos de secado, en los cuales se pretenden tener un mayor control del secado del café, ha generado una disminución de la utilización de este procedimiento de secado; sin embargo, este método siempre ha garantizado que la calidad del café sea aceptable. (Internacional Coffee Organization (ICO), 2004)

Para llevar a cabo el proceso de secado mediante el sol, se ha identificado los espacios e infraestructura, de los cuales se tiene los siguientes:

- **Patios de secado:** este tipo de secado esencialmente consiste en una superficie plana sobre el cual se depositan los granos de café y si los extiende, al momento de iniciar el proceso de secado, la superficie puede constituirse de materiales como concreto, ladrillo, lona plástica, madera, inclusive suelo al descubierto. El uso del material apropiado sobre la superficie para el proceso de secado debe responder principalmente a las condiciones climatológicas con que cuenta el espacio disponible y los métodos del significado por utilizarse. (Berrocal & Vanegas, 2019)



*Figura 1. Secado de café al sol en patio.*

*Fuente: (Coffee IQ, 2017)*

- **Camas elevadas o “africanas”:** consisten en superficies planas elevada sobre el nivel del suelo en las cuales se expande los granos del café para someterlos al secado. Generalmente las alturas sobre el suelo dependen en gran medida del entorno, pero se recomienda que se encuentren al menos a 50 cm sobre el nivel del



suelo debido a que esto permite el paso de aire por debajo y por encima de los granos del café. (Berrocal & Vanegas, 2019)

Las camas pueden estar construidas de diferentes materiales y tener variedad de tamaño, y el número depende de la disponibilidad de espacio, financiamiento, condiciones atmosféricas, cantidad de café procesado y mano de obra.



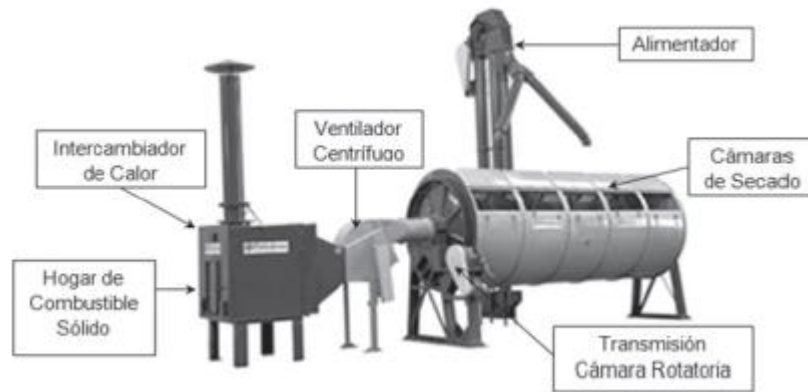
*Figura 2. Secado de café en camas africanas.*

*Fuente: (Coffee IQ, 2017)*

Para ambos tipos de secado es recomendable contar con algún tipo de lona protectora para colocar sobre el café durante la noche o en caso de lluvia durante el día, esta lona suele ser de plástico negro, pero existen otros tipos de materiales que se pueden utilizar. Además, cabe resaltar que existen otros tipos de infraestructuras de secado al sol, y estas dependen de su construcción y aplicación, así como también, de las condiciones específicas con que cuente cada ente procesador. (Berrocal & Vanegas, 2019)

- **Secado Mecánico.** El secado mecánico se basa en la utilización de cualquier tipo de maquinaria o elemento que expulse calor, flujo de aire o se hace uso de cualquier otro medio que garantice la extracción de la humedad de los granos de café (Fig. 3). La principal razón de emplear este tipo de método de secado es de aligerar y controlar de mejor manera, el proceso de secado, como consecuencia mejorar la calidad del café. Este proceso se ha enfocado a disminuir los tiempos de secado, y de dejar sin efecto los parámetros atmosféricos que afectan al secado del café.

Una de las principales desventajas de este tipo de secado, es la implicación de un plan de financiamiento para el levantamiento de la infraestructura en la que se desarrolla el secado del café, así mismo, involucra costes altos de operatividad y mantenimiento.



**Figura 3.** Tipo de secado mecánico.

**Fuente:** (Pinhalense, 2009)

#### 4.1.4. Parámetros del proceso de secado del café

En el secado del café intervienen una serie de parámetros que inciden en este proceso, y por ende en la calidad final del café, de las cuales principalmente son: la humedad, la temperatura, el tiempo de secado, entre otros. Cabe destacar que existen otros factores que pueden repercutir en el proceso de secado tales como el método de secado, la especie y variedad del café, las condiciones de cultivo, el punto de maduración del café, el entorno geográfico, las condiciones atmosféricas, etcétera. (Berrocal & Vanegas, 2019)

A continuación, se exponen los aspectos más importantes de cada uno de los principales factores que interviene en el secado del café:

- **Tiempo de secado del café.** El tiempo de secado requerido para poder cumplir con el proceso de secado del café depende de ciertos agentes que determinan la cantidad de tiempo que se necesita cómo son, principalmente las condiciones atmosféricas, el espacio e infraestructura, método de secado, entre otros.

En lo que respecta a la determinación de la cantidad de tiempo que se requiere en el secado del café, según la organización “Food and Agriculture Organization of the United Nations”, depende del método o técnica que se emplea, por ejemplo, en el método de secado natural o al sol se requiere de un mínimo de 12 días y un máximo de 30 días mientras que en un secado mecánico se requiere de un mínimo de 12 a 24 horas con un secado de tipo continuo. (FAO, 2006)

- **Humedad del grano de café.** La humedad es uno de los principales parámetros que se deben tomar en cuenta en el proceso de secado, ya que, de este porcentaje de humedad en el grano del café, se deriva la calidad de este.

Según estudios de la FAO (2006) y de Pedroza Isquierdo (2012); la humedad relativa en la ambiente afecta en gran medida la humedad interna de los granos de café, porque la humedad dentro del café busca un punto de equilibrio, por lo que aumentará o disminuirá según la humedad del ambiente. El aumento de la humedad en el café conduce al crecimiento de microorganismos, lo que lleva a un cambio brusco en la calidad del café.

- **Temperatura de secado del café.** La temperatura del proceso de secado del café dependerá del tipo de método que se aplique para llevar a cabo este proceso ya que en el proceso de secado mecánico la temperatura puede ser controlada, mientras que en el proceso de secado al sol la temperatura dependerá de las condiciones climáticas.

La temperatura máxima del secado es una de las variables que tienen más incidencia en este proceso, ya que se debe considerar que la temperatura de secado no debe exceder los 40 °C, tal temperatura que debe tener los granos del café internamente. Indiferentemente del tipo de método de secado, tal temperatura no debe ser mayor, ya que se generan daños en las características físicas del café, cómo son: las membranas y la consistencia; las cuales están asociadas a la calidad del producto (Pedroza Isquierdo et al., 2012).

Otro de los factores a tomar en cuenta es la medición de la temperatura, en el caso del método de secado mecánico se recomienda que la medición de temperatura sea al menos cada hora; mientras que si se realiza el secado al natural se debe tener un control de las variaciones del clima. (FAO, 2006)

En la presente investigación, el proceso de secado de café será un tipo de secado mecánico, el cual consta de la cámara de secado (cajas experimentales), intercambiador de calor (niquelinas), ventilador centrífugo y sistema de control. Este tipo de secado permite controlar las variables del secado, para garantizar una buena calidad del café; así como también, se prevé que este tipo de secado minimiza los tiempos de secado, agilizando el proceso experimental para la obtención de la curva idónea del secado de café.

## **4.2. Capítulo II: Diseño experimental**

Las investigaciones y en particular los diseños experimentales intentan establecer básicamente relaciones causa-efecto. Más específicamente, cuando se desea estudiar como una variable independiente (causa) modifica una variable dependiente (efecto). (Ramón, n.d.)

Según M. H. Badii et al. (2017), menciona que dentro de un diseño experimental se deben tener en cuenta algunos conceptos básicos que radican cierta investigación; de los cuales son los siguientes:

- **Experimento.** Es una técnica que se enfoca en el control de condiciones para verificar una hipótesis.
- **Unidad experimental.** Se refiere al medio material en la cual se lleva a cabo la experimentación.
- **Control de las condiciones.** Dentro de un diseño experimental, se debe fijar qué variables o condiciones se desean controlar, las cuales pueden ocasionar cambios en los resultados deseados.
- **Tratamiento.** Se define a tratamiento a aquella condición específica que está sujeta a la unidad experimental.
- **Replicación.** En el caso de que un experimento tiene un conjunto de tratamientos capaces de estimar el error experimental, estos tratamientos deben aparecer más de una vez en el experimento para mejorar su precisión, controlar el error experimental y reducir la desviación estándar.
- **Aleatorización.** La aleatorización, se define como la asignación del material experimental como el orden en que se llevan a cabo las pruebas o ensayos se determinan aleatoriamente. Este concepto debe estar presente en todo diseño de experimentos, ya que con este permite analizar de manera adecuada el efecto de los factores. (Caraballo, 2010)
- **Bloqueo.** El análisis por bloques se utiliza cuando se necesita que el experimento sea más preciso, este análisis permite controlar el factor que tiene más influencia en los resultados de la experimentación. Dentro de este, se tiene la variable bloque, que se define como aquella variable o factor que se introduce en el experimento para obtener comparaciones homogéneas. (Caraballo, 2010)

#### ***4.2.1. Procedimiento para diseñar experimentos***

Para diseñar un experimento se debe tener en cuenta algunas cuestiones que son relevantes al momento de llevar a cabo una investigación que necesita de realizar pruebas o ensayos.

Según Caraballo (2010), para la planeación de un experimento y utilización de métodos estadísticos para análisis de resultados, existen algunas metodologías. A continuación, se presenta una metodología general:

1) **Formulación del problema.** Todas aquellas metodologías que se relacionan con los métodos estadísticos se comienzan con la formulación de un problema de investigación, esto favorecerá la calidad del diseño del experimento. Además, se debe considerar el objeto de investigación, los objetivos, la determinación de tendencias y planteamiento de hipótesis.

2) **Elección de factores o variables y sus niveles.** Se refiere a la elección de aquellos factores o variables que se analizarán en el experimento y los niveles de tales factores. También se debe definir el tratamiento que se le darán a los factores, los cuales pueden ser:

- Controlarlos a un nivel
- Controlarlos a más de un nivel

Generalmente, en el área de la ingeniería los factores que se analizan en el experimento se los controla a más de un nivel.

3) **Selección de variable respuesta.** Se trata de seleccionar la característica de calidad, esto se puede elegir con un solo experimento, varias características de calidad al mismo tiempo.

4) **Elección del diseño experimental.** Para seleccionar el tipo de diseño experimental, se debe considerar tres principios básicos: número de repeticiones, orden o restricciones de aleatorización, y determinar si se realiza bloqueo.

5) **Realización del experimento.** Este paso se refiere a llevar a cabo el experimento de acuerdo con las condiciones y aspectos que se ha tomado en cuenta con anterioridad.

6) **Análisis de datos.** Para el análisis de los datos obtenidos en la experimentación, se utilizará métodos estadísticos de acuerdo con el tipo de diseño seleccionado. Para realizar un buen análisis se debe tener en cuenta que aquellos métodos estadísticos constituyen una herramienta que debe ser complementada con los criterios de especialistas y con el sentido común.

7) **Conclusiones y recomendaciones.** Hay que tener en cuenta que utilizar los métodos estadísticos no responden a nada, y que aquellas decisiones que se sugieren están sujetas a error. Para ello es necesario realizar lo siguiente:

- Conclusiones prácticas
- Métodos gráficos para presentación
- Corridas de seguimiento para detectar cambios
- Pruebas de confirmación

#### 4.2.2. *Diseño factorial completo*

El diseño factorial completo, llamado también experimento factorial completo (EFC), es aquel experimento que consiste en la variación de todos los niveles de todas las variables que conlleva la experimentación, con un número de pruebas. Para el cálculo del número de pruebas se considera la siguiente expresión:

$$N = \theta^k$$

Donde:

- $N$ : número de experimentos.
- $\theta$ : número de niveles de las variables.
- $k$ : número de variables o factores.

Este tipo de diseño permite analizar la influencia de todas las variables y establecer las interacciones entre ellas, además de establecer un modelo matemático del experimento. A diferencia del diseño unifactorial o convencional, se puede decir que este diseño factorial completo, permite definir con rapidez la influencia de las variables del proceso experimental en una menor cantidad de pruebas. (Caraballo, 2010)

El experimento factorial completo (EFC), tiene sus pasos a seguir los cuales son los siguiente:

- 1) Elección de las variables de entrada y salida.
- 2) Selección de los niveles de las variables, que pueden ser: superior, intermedio e inferior.
- 3) Construcción de la matriz o plan de experimentación

Este último paso, se refiere a utilizar una tabla en la cual se definen las variables y los niveles de cada una de estas. Esto ayudará a definir las condiciones de cada una de las pruebas que se vayan a realizar a lo largo de la experimentación, consecuente se podrá obtener los resultados de cada prueba, para luego analizar la varianza entre los resultados.

**Tabla 1.** Ejemplo de matriz o plan de experimentación.

Variables de entrada			Variables de salida
<i>N° de prueba</i>	<i>Variable 1</i>	<i>Variable 2</i>	<i>Variable 3</i>
1	+	+	Resultado 1
2	0	+	Resultado 2
3	-	0	Resultado 3
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
n	0	-	Resultado n

**Fuente:** (Caraballo, 2010)

En la tabla 1, se muestra un ejemplo sencillo de cómo se puede presentar un plan de experimentación, en esta se definen todas las posibles combinaciones de los niveles de las variables de entrada, con la finalidad de poder obtener resultados a diferentes condiciones.

#### **4.2.3. Diseño unifactorial**

El diseño unifactorial completamente aleatorizado aparece a partir del análisis de la varianza. Es el diseño más sencillo que permite estudiar la influencia de un factor cualitativo sobre una variable respuesta observada, agrupada en grupos o tratamientos. (M. Fernández, 2014)

Según Fernández & Buenestado (2020), menciona que el procedimiento que utiliza este método es comparar estos valores basados en la varianza global de las muestras a comparar. Típicamente se utiliza este análisis para asociar una probabilidad a la conclusión de que las medias de dos o más poblaciones son distintas. Además, el objetivo del análisis se basa en la descomposición de variabilidad total en dos partes, una debida a la variabilidad entre las distintas poblaciones y otra parte a la variabilidad intrínseca de las observaciones.

#### **4.2.4. Diseño multifactorial**

El diseño factorial se enfoca en analizar el efecto de varios factores o variables, sobre una o varias respuestas, siempre y cuando se considere el mismo tipo de interés sobre todos aquellos factores.

Un diseño factorial completo o multifactorial, es un diseño experimental que cuenta con dos o más factores, cada uno de los cuáles con distintos valores o niveles, cuyas unidades experimentales cubren todas las posibles combinaciones de esos niveles en todos los factores. (Alvarez, n.d.)

Los factores pueden ser tanto cualitativos como cuantitativos. Y los efectos que estos causan pueden ser de tres tipos, simples, principales y de interacción.

- **Efectos simples:** Se observan al comparar entre todos los niveles de un factor a un solo nivel del otro factor.
- **Efectos principales:** Se observan al comparar entre todos los niveles de un factor promediados para todos los niveles de otro factor.
- **Efecto de interacción:** Estos miden la diferencia entre los efectos simples de un factor a diferentes niveles de otros. (S. Fernández & Buenestado, 2020)

Este tipo de diseño multifactoriales, presentan mayores ventajas a los diferentes diseños, ya que analizar varios factores a la vez es más eficiente que solo analizar un solo factor, y permite analizar las diferentes interacciones entre las variables, evitando que se presenten conclusiones erróneas cuando aquellos factores no actúan de manera independiente. (S. Fernández & Buenestado, 2020)

#### **4.2.5. *Diseño por bloques aleatorizados***

El diseño por bloques aleatorizados, conocido también como experimento con dos criterios de calificación. Este tipo de diseño se enfoca en distribuir las unidades experimentales en grupos o bloques, de tal manera que las unidades experimentales dentro de un bloque sean homogéneas, pero entre grupos haya heterogeneidad y que en el número de unidades experimentales dentro de un bloque sea igual al número de tratamientos por investigar. (Gutiérrez, 2015)

Al estudiar la influencia de un factor sobre una variable cuantitativa, a menudo existen otras variables o factores que también afectan y deben controlarse. Estas variables se denominan variables de bloque y sus características son:

- Las variables aparecen de manera natural,
- Las variables no presentan interacción con el factor en estudio.



Uno de los principales objetivos de este tipo de diseño, es que se garantiza que la variable sea controlada y conocida, para conocer las comparaciones precisas entre el régimen de estudio.

En la presente investigación, se ha considerado que el tipo de diseño experimental para la resolución de los objetivos de esta investigación sea un experimento factorial completo; ya que cumple con los requisitos para poder obtener los resultados que se esperan, y la metodología a seguir es completamente fácil de entender y realizar. Además, con este tipo de diseño, se tiene la posibilidad de variar las condiciones de las variables de entrada, como son el caso de la temperatura de secado, el tiempo de secado y flujo de aire, para obtener varios resultados en varias mediciones, para poder obtener el error porcentual, y así concluir si la metodología utilizada en la presente investigación es la adecuada.

### **4.3. Capítulo III: Monitoreo, Control y Adquisición de Datos**

#### **4.3.1. *Sistemas de control***

Uno de los conceptos del vocablo “control”, es que se relaciona en seleccionar de un conjunto de parámetros, que se aplican en un sistema determinado, tengan que proceder de una manera predeterminada.

Los sistemas de control son sistemas dinámicos y un conocimiento de la teoría de control proporcionará una base para entender el comportamiento de tales sistemas, por ejemplo, muchos conceptos de la teoría de control pueden usarse en la solución de problemas de vibración. En este sentido, la teoría de control automático no es sino una pequeña parte de una teoría más general que estudia el comportamiento de todos los sistemas dinámicos. (Perez et al., 2007)

#### **4.3.2. *Sensores de humedad***

En la actualidad, existen una infinidad de tipos de sensores de humedad, cada uno presenta sus propias características, y su utilidad depende de la aplicación. En este caso, existen sensores de humedad para granos de café, llamados humedímetros. Este tipo de medidor de humedad también suele ser utilizado en el cacao, u otro tipo de granos.

Los medidores de humedad de granos de café son aparatos electrónicos que miden la cantidad de agua dentro del grano. Estos aparatos son sencillos de manipular, presentan un alto coste de adquisición, debido a la tecnología que cuenta este elemento. (Pachard, 2020)

Este tipo de medidores de humedad son utilizados con gran frecuencia en el proceso de secado de café, ya que, en este subproceso del beneficiado del café, es donde se utiliza este aparato electrónico con la finalidad de conocer la cantidad porcentual de humedad del grano de café.

Uno de los equipos más utilizados para cuantificar la humedad en los granos de café, son los humidímetros *AMTAST* (Fig. 4), este artefacto electrónico mide la humedad que tiene una cierta muestra de café, así como también la temperatura ambiente. Este tipo de medidor se empleará para cuantificar la humedad de las muestras del café, con la finalidad de poder ir obteniendo la curva del secado de café.

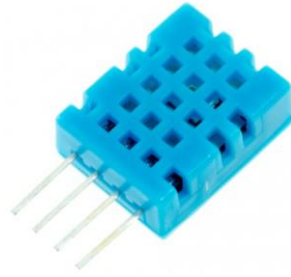


**Figura 4.** Medidor de humedad de varios granos.

**Fuente:** [https://es.made-in-china.com/co\\_kinglead/product\\_Digital-Grain-Moisture-Meter-GM006\\_euhuhhihy.html](https://es.made-in-china.com/co_kinglead/product_Digital-Grain-Moisture-Meter-GM006_euhuhhihy.html)

Por otro lado, existen los sensores de humedad relativa que miden la cantidad de humedad relativa que se presenta en un determinado ambiente, a una determinada temperatura. Dentro de estos tipos de sensores, existen una gran variedad, cada uno con sus respectivas características.

En la presente investigación se utilizará el sensor de humedad DTH11, el cual permitirá cuantificar la cantidad de humedad relativa que contiene el aire interior de las cajas experimentales, con la finalidad de conocer la humedad que se tiene a una temperatura “x” de secado de café.



**Figura 5.** Sensor de humedad relativa DTH11.

**Fuente:** <https://naylampmechatronics.com>

### 4.3.3. Sensores de temperatura

Los sensores de temperatura son aquellos dispositivos electrónicos que se utilizan en la medición de temperatura de un ambiente o un fluido. Este tipo de sensores, también se los conoce como sondas de temperatura.

Existen algunos tipos de sensores de temperatura y sus características dependen de su utilización. A continuación, se presentan algunos tipos de estos sensores:

- **Termopares.** Los termopares funcionan en base al principio de generación de una corriente entre dos metales de diferente tipo tales que presentan distinto comportamiento eléctrico dependiendo de la temperatura del ambiente. La implementación de este tipo de sensores es de bajo coste, con una buena precisión de medición; sin embargo, la velocidad de respuesta de estos es lenta.

Dentro de este tipo de sensores, existen los tipos J y tipo K. El termopar tipo J, es el más común y utilizado en gran parte de aplicaciones de medición de temperatura. Cuenta con un gran amplio rango de medición de temperatura, y su coste de adquisición es bajo. Este tipo de termopar está constituido por hierro (elemento positivo), cobre y níquel (elementos negativos).



**Figura 6.** Termopar tipo J.

**Fuente:** <https://ceiv.com.mx/tipos-de-termopares/>

Por otro lado, el termopar tipo K es utilizado para aplicaciones de medición de altas temperaturas. Este tipo está constituido por cromel (elemento positivo de níquel y cromo), y por alumel (elemento negativo conformado por níquel, manganeso, aluminio y silicio).



*Figura 7. Termopar tipo K.*

*Fuente: <https://ceiv.com.mx/tipos-de-termopares/>*

Este tipo de sensor de temperatura será empleado en la presente investigación, para el control de la temperatura de secado, tal que permite conocer el valor de temperatura exacto de secado, y determinar si se encuentra dentro del rango establecido de temperaturas.

- **Termorresistencias.** Este tipo de sensores se encuentran conformados por resistencias, tales que la conductividad de estas varía en función de la temperatura, generando una señal que, una vez procesada, resulta la medición de temperatura. A diferencia de los termopares, la velocidad de respuesta de este tipo de sensor depende de la masa de la resistencia.
- **Sensores electrónicos.** Este tipo de sensores electrónicos generan una señal de corriente o voltaje dependiendo de la temperatura. Este tipo de sensores presentan una mayor tecnología en medición de temperatura, con una velocidad de respuesta mayor a los anteriores tipos, y un alto coste de implementación. (S&P, 2017)

#### **4.3.4. Ventiladores**

Los ventiladores son aparatos eléctricos o electrónicos que transmiten energía hacia un gas, generando la presión necesaria para mantener un flujo de gas constante; en otras palabras, estos tienen la función de desplazar un gas de un lugar a otro, generalmente desplazan aire.

Hay tres tipos básicos de ventiladores: centrífugos, helicoidales y axiales, los dos últimos a menudo se clasifican en un mismo grupo, sin embargo, sus diferencias en cuanto a construcción y características son tales que requieren una clasificación separada. (Aire Limpio Global (ALG), 2015)

- **Ventiladores centrífugos.** Este tipo de ventiladores tienen la característica de que el aire desplazado sale de éste de manera radial, es decir, el aire cambia de dirección entre la entrada y salida en 90°. Dentro de este tipo de ventiladores, se subdividen de acuerdo a la configuración de las palas o álabes; estos pueden ser con álabes rectos, álabes curvados hacia adelante y álabes curvados hacia atrás.



**Figura 8.** Ventiladores centrífugos.

**Fuente:** (Airtecnicos, n.d.)

- **Ventiladores axiales.** A diferencia de los ventiladores centrífugos, este tipo de ventiladores provoca que el aire desplazado tenga la misma dirección de salida con respecto a la entrada de aire.



**Figura 9.** Ventiladores axiales.

**Fuente:** (Airtecnicos, n.d.)

#### **4.3.5. Sistemas de adquisición de datos**

Un Sistema de Adquisición de Datos no es más que un equipo electrónico cuya función es el control o simplemente el registro de una o varias variables de un proceso cualquiera, de forma general puede estar compuesto por los siguientes elementos (Monterrey, n.d.):

- Sensores.
- Amplificadores operacionales.

- Amplificadores de instrumentación.
- Aisladores.
- Multiplexores analógicos.
- Multiplexores digitales.
- Conversores A-D.
- Conversores D-A.
- Microprocesadores.
- Contadores.
- Filtros.
- Comparadores.
- Fuentes de potencia.

Según Maloy (2020), los sistemas de adquisición de datos, comúnmente denominado DAQ, se refiere al proceso de realizar mediciones de fenómenos físicos y registrarlos de alguna manera para analizarlos.

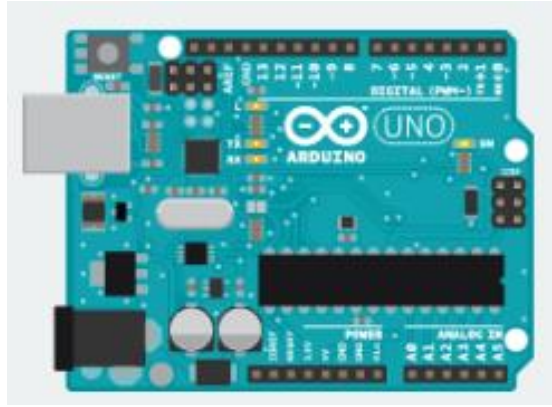
Por otro lado, los sistemas de adquisición de datos proceden de manera directa, es decir, transformar variables de procedencia analógica a datos digitales, para luego almacenarlos en algún tipo de elemento digital, como: memoria ROM, disco duro, entre otros.

Por lo general, ese tipo de sistemas se conforman de los siguientes elementos fundamentales:

- Sensores,
- acondicionamiento de señal,
- convertidores analógico-digital, y computadora con software DAQ para registro y análisis de señales.

#### ***4.3.6. Sistemas ARDUINO***

Arduino es un sistema de microcontroladores, que cuenta con un entorno virtual de fácil acceso y manejo, para el control y monitoreo de proyectos multidisciplinarios. El hardware de Arduino consiste en una placa con un microcontrolador generalmente “Atmel AVR” con puertos de comunicación y puertos de entrada/salida.



**Figura 10.** Microcontrolador ARDUINO UNO.

**Fuente:** <https://www.arduino.cc/>

Por otro lado, Arduino nos proporciona un software, llamado IDE (Entorno de desarrollo integrado), consistente en un entorno de desarrollo que implementa el lenguaje de programación de Arduino, las herramientas para transferir el firmware al microcontrolador y el bootloader ejecutado en la placa. La principal característica del software y del lenguaje de programación es su sencillez y facilidad de uso. (Crespo, 2016)

Cabe recalcar que, para la presente investigación, se utilizará este tipo de microcontrolador, con la finalidad de controlar variables del secado de café, como son la temperatura, humedad y tiempo de secado. Para el control de la temperatura de secado se utilizará termopares tipo K. El flujo de aire que permita el secado de las muestras de café será proporcionado por un ventilador centrífugo, el cual cuenta con un control del flujo de aire manual. Además, se tendrá el control de la humedad relativa del aire dentro de las cajas, mediante un sensor de humedad relativa, modelo DTH11. Además, se ha considerado que el sistema de control contará con una pantalla LCD, en el cual se pueda apreciar los valores de temperatura de secado y humedad relativa.

Por otro lado, la cuantificación de la cantidad de humedad de las muestras de café se emplea un medidor de humedad marca AMTAST.

#### **4.4. Capítulo IV: Investigaciones previas sobre el secado del café y su incidencia**

##### **4.4.1. Investigación 1**

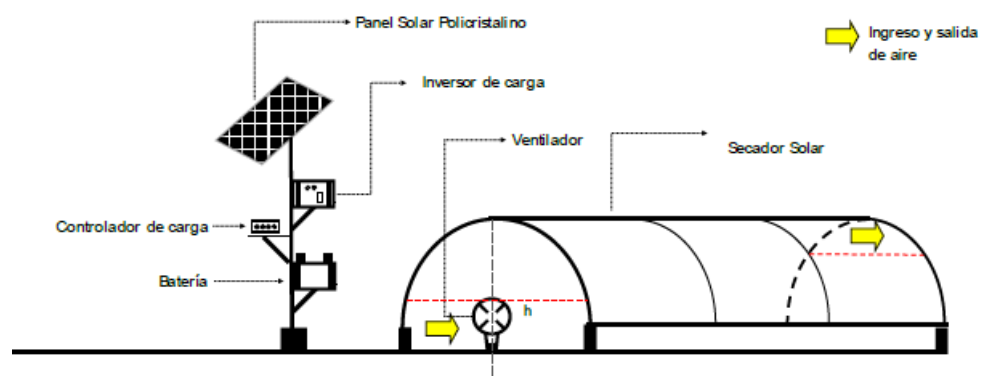
La investigación denominada “*Calidad del café natural sometido a diferentes periodos de reposo durante el proceso de secado*”, se enfoca en analizar la afectación de los periodos de reposo del grano de café durante el proceso de secado en la calidad final del producto. Por otro lado, se analiza la cantidad de humedad del grano del café en el momento del reposo de este.

En esta investigación se realizó con muestra de café arábica, tal que antes de iniciar el proceso de secado, se llevó a cabo presecado de dos días; luego se procedió con el secado mecánico en secadores de lecho fijo a una temperatura de 40 °C y un flujo de aire de 20 m<sup>3</sup>/min.

Durante el proceso de secado, se tuvieron periodos de reposo de 5, 15 o 30 días a condiciones ambientales. El resultado que se obtuvo en la cantidad de humedad de los granos de café fue entre 10% y 12%, mientras que el análisis sensorial fue entre 6 y 10 puntos, designados por tres jueces calificados para catación de café.

#### 4.4.2. Investigación 2

La investigación denominada “*Efectividad de un proceso de secado de café usando secadores solares con sistema de flujo de aire continuo impulsado por Energía Fotovoltaica, en la Región San Martín, Perú*”, se enfoca en realizar un proceso de secado de café minimizando el tiempo del proceso, con el objetivo de obtener granos de café que contengan una humedad promedio del 12%; mediante secadores solares con flujo de aire continuo.



**Figura 11.** Secador solar con flujo de aire continuo alimentado con energía fotovoltaica.

**Fuente:** (Prada et al., 2019)

El proceso de secado se llevó a cabo en un tiempo de 6 días, aproximadamente de 6 a 8 horas por día, a una temperatura de secado promedio de 45 °C; hasta obtener una cantidad de humedad dentro del 10% al 12%.

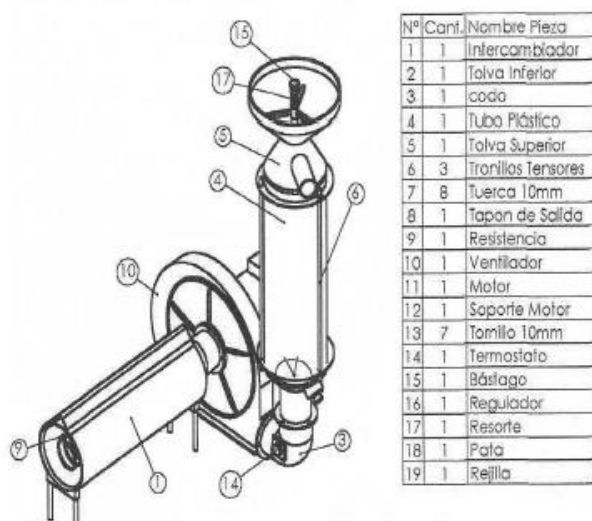
Los secadores con características que se utilizó en esta investigación tienen como objetivo a mantener la calidad de taza del grano del café, conservando las características organolépticas de una excelente calidad.



### 4.4.3. Investigación 3

La investigación 3 se titula “*Secado de café en lecho fluidizado*”, en el cual se realizó tres tratamientos de secado de café, con diferentes temperaturas; de 42 °C, 46 °C y 49 °C; obteniendo una humedad promedio del grano en los tres casos, entre el 10% y 12%.

La experimentación se llevó a cabo en un sistema de lecho fluidizado, como se muestra en la siguiente figura.



**Figura 12.** Sistema de lecho fluidizado para el secado de café.

**Fuente:** (López, 2006)

En cuanto al análisis sensorial que se llevó a cabo en las muestras del café que se sometieron al proceso de secado, el autor presenta los siguientes resultados. La escala de calificación esta entre 1 al 5; donde el 1 representa una calificación de rechazo y el número 5 representa características sensoriales muy buenas.

**Tabla 2.** Resultados de catación de las muestras de café del proceso de secado en lecho fluidizado.

Tratamiento	Fragancia	Aroma	Acidez	Cuerpo	I.Global
1	3	3	3	3	3
2	3	3	4	3	3
Tec. Becolsub	5	3	4	3	4

**Fuente:** (López, 2006)

Con los resultados que se muestran en la tabla 1, se puede concluir que la calidad de los granos de café utilizados como muestras para la realización de la investigación, son de buena calidad.

## 5. Metodología

Para llevar a cabo la presente investigación denominada: **Diseño experimental para obtención del perfil de secado del café**, se deben considerar algunos aspectos para su puesta en marcha, como son los métodos, procedimientos y materiales que serán empleados para el desarrollo de la misma.

Para ello a continuación se define la metodología que ha sido considerada para el desarrollo del presente, tomando en cuenta la siguiente subdivisión:

### 5.1. Recolección de información

- ✓ En primera instancia se debe contar con información sobre experimentaciones pasadas, las cuales servirán para definir el tipo de secado, y las variables que se desean, tanto controlar, como cuantificar; así como también, el tipo de muestra de café que se va a utilizar. Dentro de este punto se analizó lo siguiente:
  - Tipos de métodos de secado de café.
  - Temperatura de secado.
  - Tiempo de secado.
  - Convección forzada (flujo de aire).
  - Humedad del grano de café deseada.
- ✓ En base a la recolección de información se definió el método de secado a utilizar, lo cual servirá para definir los elementos y variables que se necesitará para el diseño experimental para obtención del perfil de secado de café.

### 5.2. Proceso experimental

- ✓ Para llevar a cabo el proceso experimental del secado de café, se consideró los conceptos básicos sobre diseños experimentales, por lo tanto, se siguió el siguiente procedimiento:
  - Se identificó el número de variables de entrada y salida que intervienen en el secado de café.
  - Se determinó los niveles respectivos para cada una de las variables de entrada o variables independientes. En este caso nivel máximo, nivel medio y nivel mínimo.
  - Seguidamente, se estableció los rangos de las variables de entrada de acuerdo a los niveles establecidos con anterioridad; realizando un área de trabajo experimental.

- Como consiguiente, se definió la variable de salida, es decir, determinar la variable dependiente de la experimentación que será cuantificada de acuerdo a los objetivos de la presente investigación.
- Se propuso un número de experimentaciones o ensayos, y las respectivas repeticiones de cada ensayo.
- Por último, se planificó el plan de experimentación de acuerdo al número de variables de entrada y salida, así como también definir los niveles que se tomarán en cuenta en cada prueba de experimentación. A continuación, se muestra en la siguiente tabla:

**Tabla 3.** Plan de experimentación para obtención de la curva idónea del secado de café.

N° experimentos	Variables de entrada		Variables de salida		
	Temperatura de secado	Flujo de aire	Resultado de humedad 1	Resultado de humedad 2	Resultado de humedad 3
1	+	+			
2	0	+			
.	.	.			
.	.	.			
.	.	.			
N	+	0			

*Fuente: Autor*

Para identificar los niveles de las tres variables de entrada, se ha considerado la siguiente representación para cada uno de estos:

- Valor máximo: signo más (+)
- Valor medio: cero (0)
- Valor mínimo: signo menos (-)

### 5.3. Diseño de cajas experimentales

- ✓ Para el dimensionamiento de las cajas experimentales, se prevé tener en cuenta el tipo de cama del café, densidad del café antes del proceso de secado y la cantidad de muestra de café. Partiendo de esta consideración, se calculó el volumen que ocupa la muestra de café en la caja, mediante la siguiente expresión:

$$\rho_{café} = \frac{m_{café}}{V_{café}} \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

- $\rho_{café}$ : densidad del café, [kg/m<sup>3</sup>].
  - $m_{café}$ : masa del café o cantidad de muestra, [kg].
  - $V_{café}$ : volumen del café ocupado en la caja, [m<sup>3</sup>].
- ✓ Seguidamente, se obtuvo el área del café, considerando que va a ser el secado del café con cama baja, tomando un espesor de 5 cm. Para ello se utiliza la siguiente expresión:

$$\begin{aligned} V_{café} \\ = A_{café} * x \end{aligned} \quad (Ec. 2)$$

Donde:

- $V_{café}$ : volumen del café ocupado en la caja, [m<sup>3</sup>].
  - $A_{café}$ : área del café ocupado en la caja, [m<sup>2</sup>].
  - $x$ : espesor del café (depende del tipo de cama que se considere), [m]
- ✓ Considerando que las cajas experimentales tendrán una configuración cuadrada, el área que ocupa el café en la misma, será igual al área transversal de la caja vista desde la parte superior; por ende, permitió calcular las dimensiones de esta, con la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned} A_{caja} = A_{café} = a \\ * b \end{aligned} \quad (Ec. 3)$$

Donde:

- $A_{café}$ : área del café ocupado en la caja, [m<sup>2</sup>].
- $A_{caja}$ : área de la caja, [m<sup>2</sup>].
- $a, b$ : longitudes de las aristas de la caja, [m].

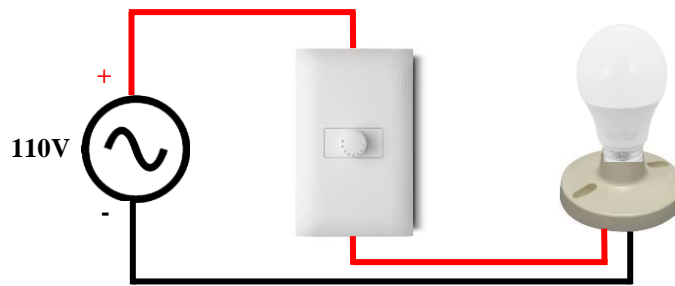
En base a la configuración de la caja de tipo cuadrada, y la ecuación 4; se tiene que las longitudes de las aristas a y b, resultaron del mismo valor.

- ✓ Por otro lado, la altura considerada que tendrán las cajas experimentales, dependió del espacio que se va a ocupar y al diseño mismo de la caja.

#### 5.4. Construcción de las cajas experimentales

- ✓ Teniendo en cuenta el apartado anterior sobre el diseño de las cajas experimentales, se procedió a adquirir los elementos, materiales y herramientas que se utilizarán para la construcción de las cajas experimentales. Dentro de este apartado se consideró lo siguiente:
- La selección del tipo de material de las cajas dependió del presupuesto establecido en el proyecto de la investigación. En este caso, el material de las cajas será madera.

- Las herramientas y maquinarias de procesamiento para construcción de las cajas, dependerán del material que se utilizó fueron las siguientes: martillo, pegamento blanco, clavos, caladora, taladro inalámbrico, sierra circular, lijadora, compresor, etcétera.
- ✓ Considerando el diseño geométrico de las cajas experimentales, se construyó las cajas experimentales. Para este proceso se tomó en cuenta los siguientes pasos:
  - 1) Se realizó cortes con sierra circular de mesa, para obtener las piezas que conformarán la caja experimental, como son la base, paredes laterales, tapa de caja y la cama para el café.
  - 2) Consecutivamente, se perforó la cama donde va a reposar las muestras de café, con la finalidad que permita el libre flujo de aire caliente y entre en contacto con las muestras de café. De la misma manera a la tapa de las cajas para que el aire caliente sea expulsado mediante estos orificios hacia el exterior.
  - 3) Posteriormente, se realizó el proceso de lijado y pulido de las diferentes piezas obtenidas.
  - 4) Seguidamente, se ensambló todas las piezas.
  - 5) Finalmente, se procedió a pintar y lacar las cajas experimentales, como retoque final.
- ✓ Para la transferencia de calor se utilizarán focos incandescentes, los cuales para regular la temperatura de estas será controlado con un atenuador o dimmer. Para la implementación de estos elementos a las cajas experimentales, se tomará en cuenta el siguiente método:
  - 1) Primeramente, se adquirió los materiales eléctricos, como focos incandescentes, boquillas tipo plafón, alambre eléctrico (puede ser sólido o flexible), atenuador, terminales, cinta aislante, entre otros.
  - 2) Seguidamente, se sujetó las boquillas a las paredes interiores de las cajas en donde se conectó el foco incandescente, en la parte que comprende el espacio entre la entrada de aire y la cama del café. Las boquillas (2) fueron ubicadas frente a frente, con la finalidad de que el calor se pueda repartir dentro de todo el interior de la caja de secado.
  - 3) A continuación, se presenta el circuito eléctrico que se utilizó para la conexión de los elementos, que permitirá aumentar la temperatura dentro de la cámara de secado. Para tener un mayor entendimiento de la conexión ver el diagrama multifilar (Lámina 1).



**Figura 13.** Circuito eléctrico de la fuente de calor.

**Fuente:** Autor

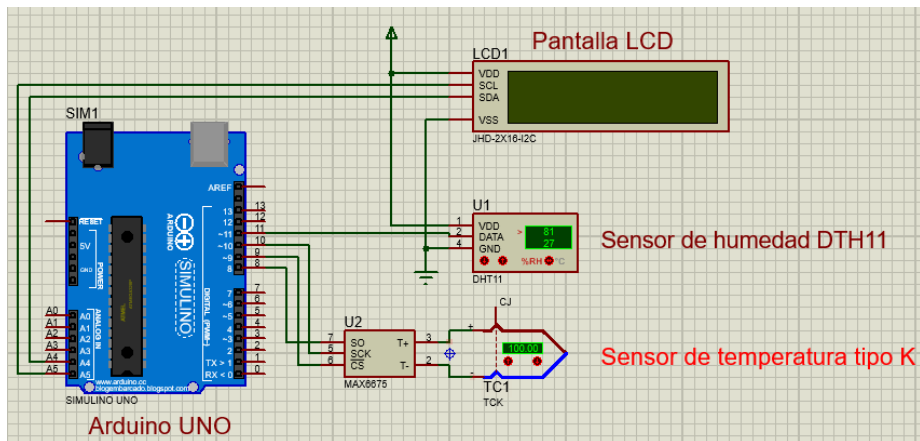
- 4) Consecuentemente, se procedió a conectar los focos incandescentes en cada una de las cajas.
  - 5) Luego, se conectó en serie el atenuador a la línea positiva de corriente alterna. Cabe recalcar que se utilizó un atenuador para cada foco incandescente.
  - 6) Una vez conectado todos los elementos eléctricos, se realizó la conexión del circuito a una fuente de voltaje de 110 V.
  - 7) Como último paso, se comprobó el funcionamiento del circuito eléctrico y la variación de temperatura de los focos incandescentes mediante el control del atenuador (resistencia variable). La temperatura que emitían los focos incandescentes fue controlada con un sensor de temperatura.
- ✓ Para considerar un flujo de aire forzado, se utilizó un ventilador centrífugo o soplador, con las siguientes características:
    - Marca del soplador: BP
    - Potencia: 150 W
    - Voltaje: 110 V
    - Velocidad de giro del impulsor: 3600 rpm
    - Corriente nominal: 1,35 A
  - ✓ Para el control de administración de aire a las cajas experimentales, se consideró los siguientes pasos:
    - 1) La regulación de la entrada de aire al ventilador, es manual, regulando la compuerta que tiene este ventilador.
    - 2) Seguidamente, se cuantificó la salida de aire del ventilador, mediante un anemómetro.
    - 3) Finalmente, se determinó la abertura que tiene que tener la compuerta de entrada de aire en el ventilador, para garantizar la salida de aire deseada.

## 5.5. Programación del sistema de adquisición de datos

- ✓ Para el sistema de adquisición de datos, se programó un sketch, tal que tenga la función de medir las variables que interviene en el secado de café. Para ello, se ha tomado en cuenta lo siguiente:
  - La selección del microcontrolador dependió de las características del sistema de adquisición de datos, como el tipo de variables que se desea medir, número de sensores a utilizar, entre otros aspectos. En este caso se ha optado por un microcontrolador marca Arduino, tipo UNO.
  - Seguidamente, se procedió a programar el sketch, considerando los siguientes pasos:
    - 1) Se descargó e instaló el software IDE de Arduino.
    - 2) Se realizó una previa visualización del interfaz y funciones del software.
    - 3) Para comenzar con la programación, se definió las librerías que se utilizarán, de acuerdo a los elementos que conforman al sistema de adquisición de datos.
    - 4) Se definió las variables que serán medidas mediante los sensores.
    - 5) Seguidamente, se identificó los pines digitales que recibirán la señal de medición de los sensores al microcontrolador.
    - 6) A continuación, se configuró el *void setup*, en esta parte se realiza el control de encendido de la pantalla LCD, así como el programar un mensaje de inicialización del sistema.
    - 7) Posteriormente, se programó el *void loop*, es decir, la parte del procesamiento de datos que se realiza constantemente con un determinado intervalo de tiempo. En esta parte se programa los códigos que servirán para que el microcontrolador pueda obtener los datos medidos de las variables y pueda mostrar tales datos en la pantalla LCD.
    - 8) Como parte del funcionamiento de la programación, se compiló el sketch para comprobar si el programa no presenta fallos de programación.
    - 9) Seguidamente, se conectó el microcontrolador Arduino al computador para poder subir el programa a éste.
    - 10) Se procedió a probar el sistema de adquisición de datos.
  - El tiempo de medición que realicen los sensores que actúan en el sistema de control debe ser considerable, con la finalidad de que el lapso de tiempo que existe entre la medición del sensor y el envío de datos hacia el microcontrolador no altere el resultado de los datos obtenidos.



- La calibración de los sensores es un punto importante a considerar, ya que con esto se garantiza que los datos obtenidos sean fiables y confiables.
- ✓ Contando con el diseño del sistema de adquisición de datos, se adquirió los elementos electrónicos y herramientas para el montaje del sistema de control en las cajas experimentales. Para ello se adquirió los siguientes materiales:
  - Un microcontrolador Arduino UNO.
  - Una termocupla tipo K, ya que esta opera en rangos de hasta 1200 °C.
  - Un sensor de humedad relativa DHT11, opera en un rango de humedad del 20% hasta 90%.
  - Cables de conexión o jumpers.
  - Una fuente de voltaje continuo de 5 V.
- ✓ Con ello, se presenta el circuito eléctrico utilizado:



**Figura 14.** Circuito eléctrico del sistema de adquisición de datos.

**Fuente:** Autor

- ✓ Para tener un mayor entendimiento de la conexión del circuito eléctrico ver el diagrama multifilar (Lámina 1).
- ✓ Una vez que se haya adquirido todos los elementos, y tomando en cuenta el circuito eléctrico antes descrito, se procedió a conectar todos los elementos electrónicos, de acuerdo a la programación del sketch. En este paso, se conectó el microcontrolador al computador, con la finalidad de subir la programación a éste.
- ✓ Teniendo el circuito electrónico conectado en su totalidad, se alimentó el circuito con la fuente de poder, para dar paso a la prueba de funcionamiento del sistema de adquisición de datos.
- ✓ Por último, se implementó el sistema en las cajas de secado.

## **5.6. Preparación de muestras de café**

- ✓ En primera instancia, se obtuvo las muestras de café de variedad caturra, que serán consideradas para la experimentación del proceso de secado. Dentro de este punto, se ha tomado en consideración lo siguiente:
  - La variedad de las muestras de café debe ser la misma durante todo el proceso experimental.
  - La cantidad de muestra de café que se consiguió fue de un total de 5 kg.
- ✓ Posteriormente, las muestras de café fueron sometidas a un proceso de preparación, para ello se debe seguir los siguientes pasos:
  - 1) Se separó los granos de café dependiendo su grado de madurez.
  - 2) Seguidamente, los granos fueron despulpados mediante una máquina despulpadora de café.
  - 3) Consecuentemente, las muestras despulpadas se sometieron a un proceso de fermentación dentro de fundas plásticas bien selladas, de aproximadamente 3 a 4 días. La fermentación permite que el café tenga un pH de 4.
  - 4) Pasado los 4 días de fermentación, se midió el pH del café, mediante tiras especiales que se tornan de un color en específico dependiendo al pH, y este color se comparó con la escala de pH. Con ello se determinó si las muestras de café están listas para el secado.
  - 5) En el caso de que el café tenga un pH de 4, se procedió a lavar las muestras de café y escurrirlas.
- ✓ Una vez que se tienen preparadas las muestras de café, se inició con el proceso de secado en las cajas experimentales. Para acelerar el plan de experimentación, el proceso de secado de café se realizó en dos cajas experimentales.

## **5.7. Obtención de datos del secado del café**

- ✓ Una vez que hay iniciado el proceso de secado de las muestras de café se fue recolectando los datos de todas las variables antes descritas, principalmente la humedad de los granos de café y el tiempo de secado para determinar progresivamente la curva de secado del café.
  - El secado de café se inició desde las 7:00 am hasta el momento de terminar con el secado en todas las muestras de café.
  - Antes de introducir las muestras de café a las cajas experimentales, se verificó que la temperatura y flujo de aire se encuentren estables de acuerdo a las condiciones de cada experimentación. La variación de temperatura de secado es de  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ .

- La toma de datos de la humedad del grano de café se llevó a cabo cada media hora, mediante un humidímetro marca “Amtast”.
  - Una vez que el café haya alcanzado la humedad óptima del 10% al 12%, se interrumpió el secado, y se ubicó las muestras de café en unas fundas plásticas bien selladas para iniciar el tiempo de reposo. Este tiempo de reposo comienza desde el momento de que haya terminado el secado hasta el día siguiente que inicia el proceso de secado de café.
- ✓ Tomando en cuenta que el plan de experimentación contaba con un determinado número de experimentos, el total de curvas obtenidas de secado de café dependerá de este valor. Para obtener las curvas se siguió el siguiente procedimiento:
- En primera instancia, se graficó los datos que se obtuvieron en cada repetición de cada experimento, es decir, se obtuvo 3 curvas por cada experimento.
  - Seguidamente, se analizó la tendencia de los datos graficados, de acuerdo al modelo que se ajuste de mejor manera, obteniendo un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) no menor al 75%.
  - Una vez que se haya obtenido la curva y ecuación de cada repetición de proceso de secado, en cada experimento se unificó las tres curvas (por cada repetición) con la finalidad de obtener una curva general promedio de tal experimento.
  - Finalmente, obtenida la curva general de cada experimento, se determinó la ecuación que describe tal curva, para definir el comportamiento del porcentaje de humedad del grano de café con respecto al tiempo de secado.
- ✓ Una vez culminado, todas las pruebas, se finalizó el proceso de beneficiado del café, es decir, que las muestras de café se sometieron a proceso de clasificación por densidad del café, tostado del café, y por último el molido.
- ✓ Posteriormente, se analizó las muestras de café que fueron sometidas al secado de café de todas las pruebas realizadas, a través de la catación del café realizado por un barista de café.
- ✓ Finalmente, se obtuvo las calificaciones de las diferentes muestras de café que proporcionó el barista de café, con la finalidad de poder determinar el perfil idóneo de secado de café.
- ✓ Por otro lado, se realizó un análisis de la influencia que tiene la variación de las variables de entrada antes descritas, sobre la valoración sensorial de cada muestra, mediante el software Statgraphics, para ello se siguió el siguiente procedimiento:

- Una vez dentro del software, se eligió la opción del StatWizard; con la finalidad de escoger el tipo de tarea que se desea realizar, en este caso se seleccionó “Diseñar un nuevo experimento”.
- Seguidamente se eligió el tipo de estudio estadístico, para esta ocasión es “Diseño experimental”.
- Luego, se definió la variable de salida o respuesta, en este caso es la catación.
- Siguiendo el paso, se determinó las variables de entrada, las cuales son la temperatura y el flujo de aire, con sus respectivas unidades.
- Una vez que se haya seleccionado las variables que intervienen, se seleccionó el diseño experimental, en este caso sería un diseño factorial  $2^k$ , en cual se determinó la aleatorización y las repeticiones en el punto central, en este caso igual a 3.
- Se especificó el modelo de procesamiento de los datos, en este caso analizar todas las interacciones.
- Seguidamente, se ingresó los valores de las variables, tanto de entrada como de salida.
- Finalmente, se presentan los resultados que se obtuvieron, en este caso analizó la matriz de correlación, intervalos de confianza; así como también, se analizó el modelo matemático que se obtiene, siendo este de tipo lineal.

## 6. Resultados

### 6.1. Diseño conceptual del prototipo de secador de café

De acuerdo con la metodología explicada en el punto anterior, en la siguiente tabla, se presentan algunos estudios experimentales, sobre los métodos utilizados para el secado del grano de café, y las variables que se consideran en tal proceso.

**Tabla 4.** Recopilación de información sobre procesos experimentales del secado de café.

Autor (es)	Método(s) de secado	Tiempo de secado [horas]	Temperatura promedio de secado [°C]	Flujo de aire [ $m^3/min$ (m/s)]	Humedad final del grano [%]	Observación
<ul style="list-style-type: none"> <li>Alfonso Parra-Coronado</li> <li>Gonzalo Roa-Mejía</li> <li>Carlos E. Oliveros-Tascón</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Secador estático con inversión de flujo de aire</li> </ul>	48	39,5	45,25	11,2	<ul style="list-style-type: none"> <li>Convección forzada</li> <li>Se comparó con modelos matemáticos los resultados experimentales.</li> <li>Calidad de muestras de café aceptable.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Secador de tres pisos</li> </ul>	31	53	31,41	11,6	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Eder Pedroza Isquierdo</li> <li>Flávio Meira Borém</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Secador mecánico de lecho fijo de capas</li> </ul>	-	40	20	11	<ul style="list-style-type: none"> <li>Café Arábica.</li> <li>Altas temperaturas de secado disminuyen la calidad.</li> <li>Convección natural y forzada</li> <li>Se sometió a presecado, tiempos de descanso de secado.</li> <li>Diseño experimental con bloques al azar, con 3 bloques (3 secadores).</li> <li>Análisis sensorial realizado por tres jueces, puntuación de entre 6 y 10 puntos; resultando una buena calidad de café.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Harold F. Cano Suárez</li> <li>Héctor J. Ciro Velásquez</li> <li>Julio C. Arango Tobón</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Secador mecánico en secadora de carga secuencial</li> </ul>	24	50	80	10-12	<ul style="list-style-type: none"> <li>Café Arábica, variedad caturra.</li> <li>Convección natural y forzada</li> <li>Combinación de secado mecánico y secado natural</li> <li>Diseño experimental con medidas distributivas en el tiempo con esquema 6x5.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Mario Milver Patiño-Velasco</li> <li>Edgar DLeonairo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Secador mediante Speckle dinámico.</li> </ul>	8-10	50	-	10-12	<ul style="list-style-type: none"> <li>Café variedad Castillo.</li> <li>Se obtuvo la humedad del grano mediante el peso, cada 1 hora.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Álvaro Prada</li> <li>Cynthia Vela</li> <li>Gabriela Bardález</li> <li>Jorge Saavedra</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Secador solar con sistema de flujo de aire continuo</li> </ul>	6-8 /día (6 días)	42-50	(0,29 a 0,32)	10-12	<ul style="list-style-type: none"> <li>Café arábigo.</li> <li>Convección forzada</li> <li>Diseño completamente al azar, con esquema de dos factores, 7 repeticiones.</li> <li>Conserva características organolépticas de buena calidad.</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elkin Mauricio Lopez</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Secador con lecho fluidizado</li> </ul>	7	49	-	10-12	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Café pergamino variedad Colombia</li> <li>• Convección forzada</li> <li>• Se realizo la toma de datos en base a tres temperaturas 42, 46 y 49 °C.</li> <li>• Análisis sensorial aceptable, con calidad promedio a un valor de 3; de acuerdo con el rango de puntuación de la investigación</li> </ul>
--	--	---	----	---	-------	--

*Fuente: Autor.*

De acuerdo con la recolección de datos, se define el tipo de secado del café, el cual corresponderá un tipo de secado mecánico con flujo de aire forzado. La muestra de café corresponde a café arábica, variedad caturra; obtenida del cantón Zumba de la provincia de Zamora Chinchipe.

El proceso experimental que se va a llevar a cabo en la presente investigación consiste en desarrollar el proceso de secado de café de diferentes muestras a diferentes condiciones; para ello se define las variables de entrada y salida, así como también sus niveles. Para el proceso de secado de café se tiene dos variables de entrada: temperatura de secado y flujo de aire; mientras que se tiene una variable de salida, la cual es la humedad de los granos de café.

Tomando en cuenta lo anterior, se debe planificar un plan de experimentación de acuerdo con el número de experimentos o ensayos a realizar, considerando que se tiene dos variables de entrada y tres niveles (valor máximo, valor medio y valor mínimo), el número de experimentaciones es de **9 ensayos**, en los cuales en cada ensayo se realizar dos repeticiones, con la finalidad de minimizar el error de obtención de datos que describan la curva de secado de determinado experimento.

Además, se presenta los rangos de valores de las variables de entrada, que son la temperatura y flujo de aire; tales que serán controlados. Estos valores han sido considerados de acuerdo a la revisión bibliográfica de procesos experimentales afines a la presente investigación.

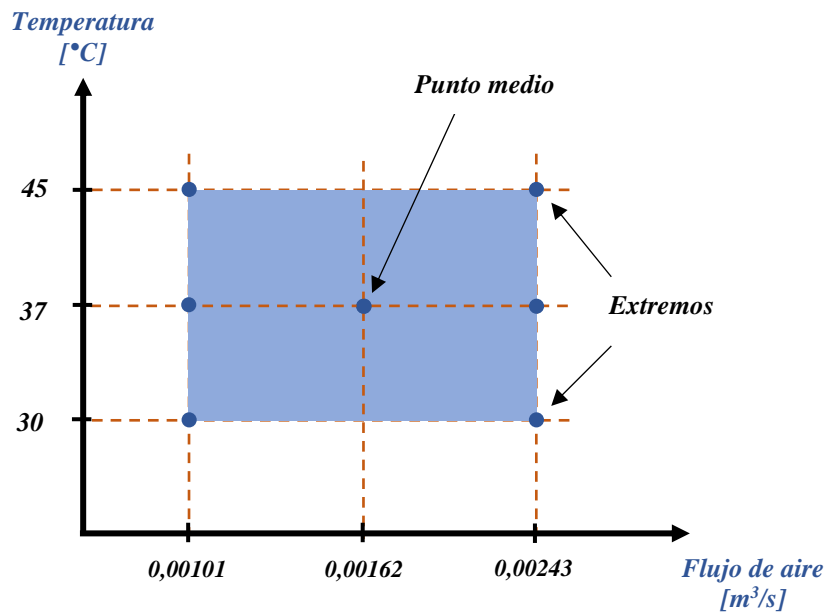
La temperatura y el flujo de aire serán controlados mediante sensores, en cuanto a la temperatura mediante una termocupla tipo K, mientras que para el flujo de aire que administre el ventilador será cuantificado mediante un anemómetro. Cabe recalcar que el anemómetro mide la velocidad del viento, por lo que se transformó a flujo de aire, considerando que el área donde fluye el aire hacia el interior de la caja es de 2".

**Tabla 5.** Rango de valores de las variables que intervienen en el secado de café.

Niveles	Variables de entrada	
	Temperatura de secado (°C)	Flujo de aire (m <sup>3</sup> /s)
Mínimo	30	0,00101
Medio	37	0,00162
Máximo	45	0,00243

*Fuente: Autor.*

En base a lo descrito anteriormente, se define el área de trabajo del proceso experimental, en el cual se muestra las variables y sus niveles, así como también, se especifica que se trabajó tanto en los extremos, como en el punto medio el proceso de secado de café, en cada punto se realizó tres repeticiones.



**Figura 15.** Área de trabajo del proceso experimental.

*Fuente: Autor.*

Por otro lado, para llevar a cabo el proceso de secado de café, se plantea diseñar y construir cajas en las cuales se van a realizar la experimentación. Como se va a considerar un secado de café de cama baja, y teniendo en cuenta la cantidad de muestra de café; se podrá dimensionar el espacio y configuración de las cajas experimentales.

Para ello, utilizando las ecuaciones 1 y 2, se puede calcular el volumen y área que ocupa el café en la caja, respectivamente; considerando una densidad de  $620 \text{ kg/m}^3$  (Palacios, 2021), y una masa de 2 kg, obteniendo lo siguiente:

- Volumen del café

$$V_{\text{café}} = 0,00323 \text{ m}^3$$

- Área del café

Se tiene en cuenta que el secado de café es de tipo cama baja, por lo que el espesor de la cama del café es de 5 cm, por lo que se obtiene lo siguiente:

$$A_{\text{café}} = 0,0645 \text{ m}^2$$

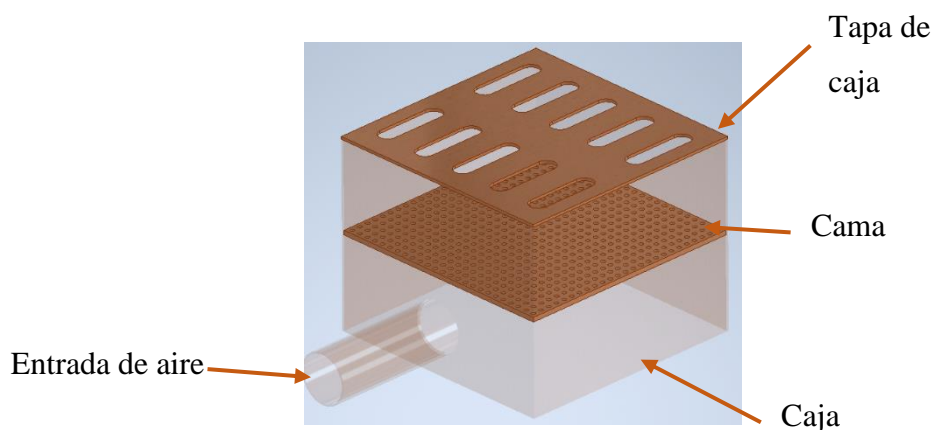
Seguidamente, se puede estimar las dimensiones de la caja, teniendo en cuenta la ecuación 3, por lo que se tiene lo siguiente:

$$A_{\text{caja}} = A_{\text{café}} = 0,0645 \text{ m}^2$$

Por lo tanto, las longitudes de las aristas serán de los siguientes valores:

$$a = b = 0,254 \text{ m} = 25,4 \text{ cm}$$

La altura de las cajas experimentales es propuesta en base a las condiciones constructivas de las mismas. En este caso, tendrán una altura de 25 cm; por lo tanto, las dimensiones son de 25,4 cm x 25,4 cm x 25 cm. En la siguiente figura, se muestra el diseño de la caja experimental.



**Figura 16.** Diseño de caja experimental.

**Fuente:** Autor.



Las cajas experimentales, contarán con una entrada de aire, el cual servirá para disminuir la humedad en los granos de café; por otro lado, cuenta con una cama en donde reposará las muestras de café. Además, estas tienen una tapa perforada por donde saldrá el aire que fluye por dentro de las cajas. Las dimensiones de la entrada de aire, se ajusta a las características del ventilador centrífugo (soplador).

Una vez que se consideró todos los ítems anteriormente mencionados, se muestra a continuación el modelo de una de las cajas experimentales terminadas, las cuales servirán para realizar el proceso experimental del secado de café. En el anexo 1, se puede evidenciar el proceso que se realizó para construir las cajas de secado. Cabe recalcar que las dos cajas experimentales tienen el mismo diseño y características constructivas.



*Figura 17. Caja experimental.*

*Fuente: Autor.*

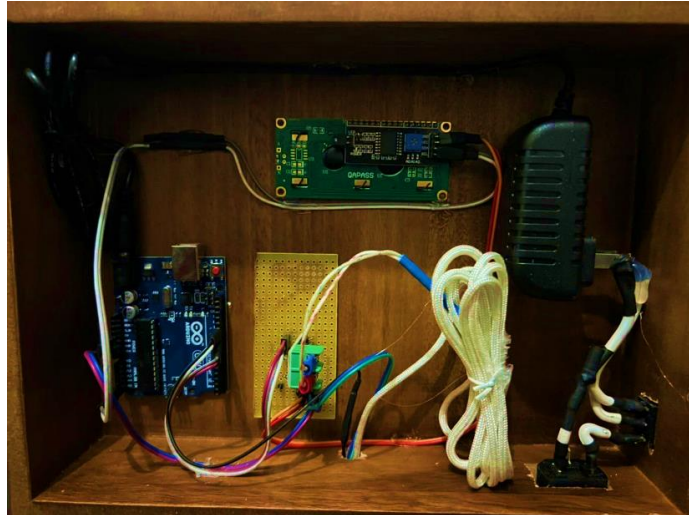
Para el secado de los granos de café, se consideró que el grano debe ser despulpado, fermentado y lavado. Dentro de las cajas experimentales, específicamente en la cama de café, se ubicó los 2 kg de granos de café, los cuales que se sometieron al secado. Esta cantidad de muestra es para cada una de las cajas experimentales.



**Figura 18.** *Proceso de preparación de muestras de café para el secado. a) Despulpado de café. b) Fermentación del café. c) Cuantificación del pH de la muestra de café. d) Lavado del café fermentado. e) Peso de la muestra de café que se someterá al secado.*

**Fuente:** Autor.

De la misma manera, tomando en cuenta la metodología planteada sobre el diseño e implementación del sistema de adquisición de datos, se presenta a continuación el circuito electrónico que permitió obtener los datos de las variables de temperatura de secado y humedad relativa del aire. En el anexo 2, se puede apreciar la programación del sistema de adquisición de datos por parte del microcontrolador Arduino.



**Figura 19.** Sistema de adquisición de datos.

**Fuente:** Autor.

Para el secado de las muestras de café, se empleó focos incandescentes de 100 W para calentar el aire que entra a la caja experimental, tal que permita disminuir la humedad de los granos del café. El aire frío que entra del ambiente a una determinada velocidad, será aumentado de temperatura mediante los focos para llegar a una temperatura óptima de secado de café. El control de la temperatura del aire dependerá de la temperatura que emitan los focos incandescentes, tal que será regulada con un dimmer, tal como se menciona en la parte de metodología, en el apartado 5.4.



a)



b)

**Figura 20.** Elementos para transferencia de calor durante el secado de café. a) Focos incandescentes para el aumento de temperatura del aire para el secado de café. b) Atenuadores de luz para cada foco incandescente.

**Fuente:** Autor.

## 6.2. Resultados obtenidos del beneficiado del café

Considerando la metodología para obtención de las curvas de secado de café, a continuación, se presenta los resultados de humedad final de las muestras de café que dependen al número de experimento y réplica correspondiente. Cabe recalcar que, para llegar a tal valor de humedad final, las muestras de café fueron sometidas al proceso de secado, que, para cada experimento, varía las variables que intervienen en tal proceso. El proceso de secado para cada muestra finalizó en el momento que los granos de café se mantengan con una humedad del 10% al 12%.

**Tabla 6.** Tabla de datos obtenidos del proceso de secado de café.

Nº de pruebas	Variables de entrada		Variables de salida		
	Temperatura de secado [°C]	Flujo de aire [m <sup>3</sup> /s]	Resultado de humedad final de la muestra de café [%]		
			Réplica 1	Réplica 2	Réplica 3
<b>1</b>	+	+	11,0	11,0	11,1
<b>2</b>	+	0	11,0	11,2	11,0
<b>3</b>	+	-	11,0	11,0	11,1
<b>4</b>	0	+	10,9	11,1	11,0
<b>5</b>	0	0	11,0	10,9	10,8
<b>6</b>	0	-	11,0	10,9	11,2
<b>7</b>	-	+	10,8	10,8	10,9
<b>8</b>	-	0	11,1	11,1	11,0
<b>9</b>	-	-	11,2	11,0	11,1

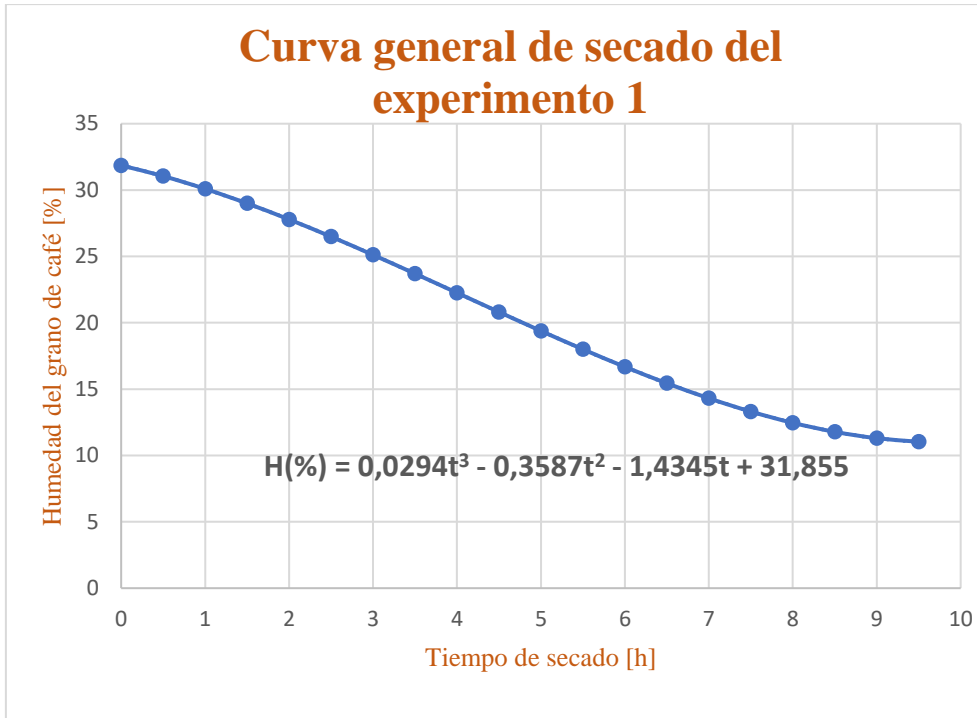
*Fuente: Autor.*

En el anexo 3, se presentan los resultados de humedad que se obtuvo cada día de todas las muestras de café, especificándose los datos medidos cada media hora de la humedad del grano desde el primer día de secado hasta el día final de secado en el que ya el café mantuvo la humedad final deseada.

Con estos datos obtenidos de la humedad del grano de café, medida cada determinado tiempo de secado, se pudo obtener las siguientes curvas de secado, relacionando el tiempo de secado y la humedad porcentual del grano. Además, en cada curva general promedio de secado de cada experimento, se presenta la ecuación que define el comportamiento de la humedad del grano de café con respecto al tiempo de secado. Estas curvas de secado de café tienen la característica de ser decrecientes, ya que la humedad del grano va disminuyendo a medida que el tiempo de secado aumenta a una cierta temperatura y flujo de aire determinado. Todos estos parámetros dependerán del número de prueba que se esté analizando y de los niveles de las variables considerados en cada uno de estas. Hay que tener en cuenta que, para analizar la curva de secado general de cada experimento, se graficó los datos obtenidos de las repeticiones de cada experimentación (véase, Anexo 4), se unificó estas curvas, y se sacó una curva promedio.

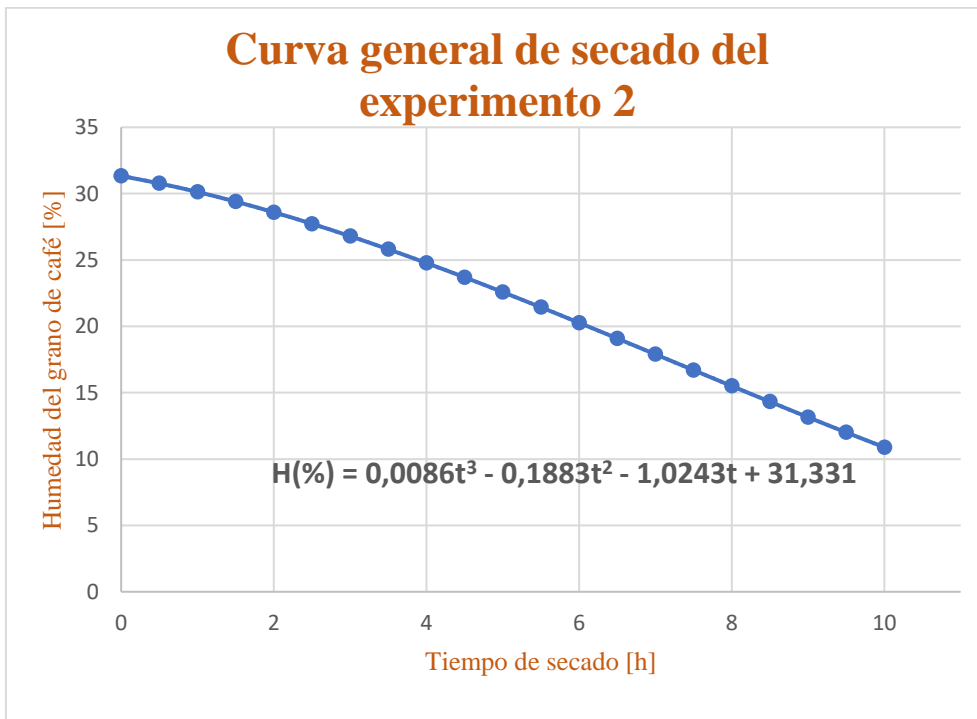
Por otro lado, en cada curva que se obtuvo de cada repetición de cada experimentación, se analizó el tipo de tendencia que se ajustaba de mejor manera a los datos, con la que resulte un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) no menor al 75% (0,75); por ende, definir la curva de tal ensayo. Para todas las curvas de secado, se obtuvo una curva polinómica de orden 3.

A continuación, se presentan las curvas generales de secado del café obtenidas de cada experimento, con su respectiva ecuación.



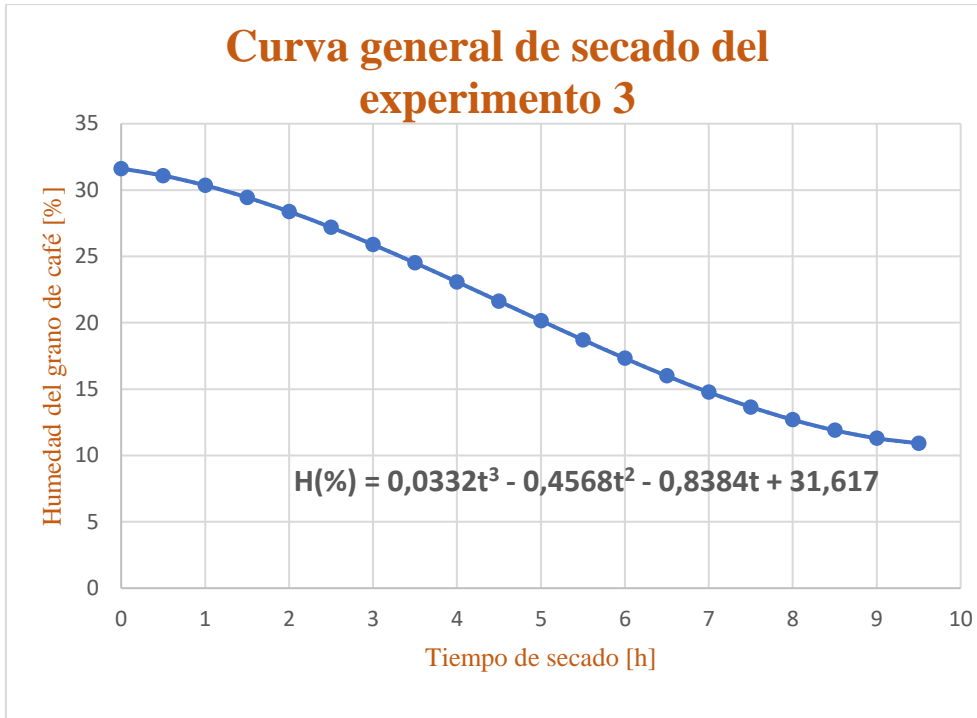
**Figura 21.** Curva general de secado del experimento 1, a  $T_{sec}=45^{\circ}C$  y  $Q_{aire}=0,00243\ m^3/s$ .

**Fuente:** Autor.



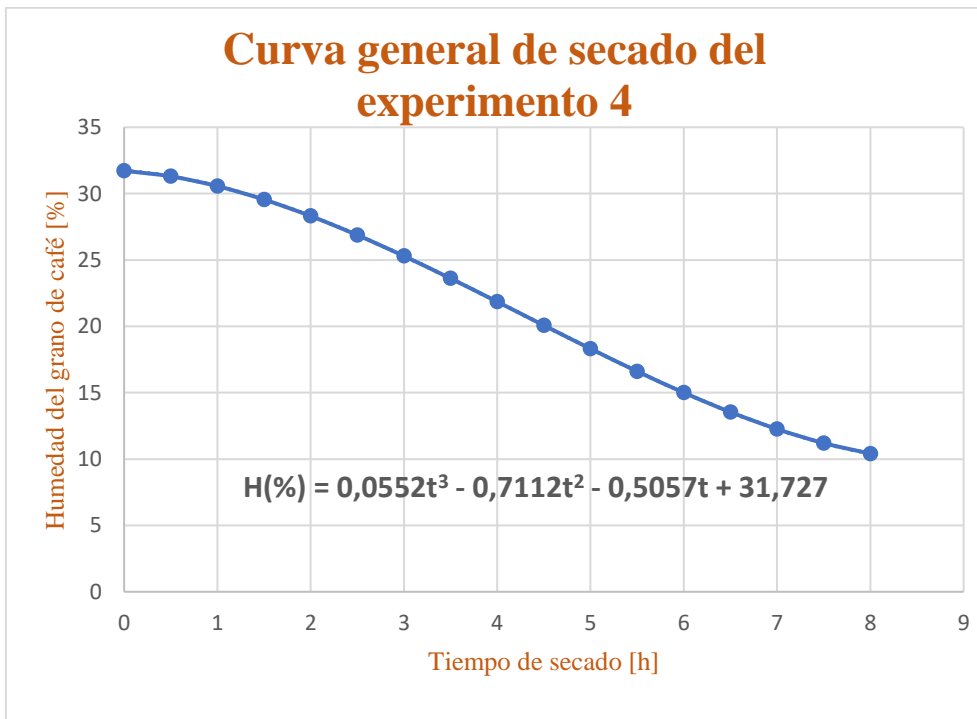
**Figura 22.** Curva general de secado del experimento 2, a  $T_{sec}=45^{\circ}C$  y  $Q_{aire}=0,00162\ m^3/s$ .

**Fuente:** Autor.



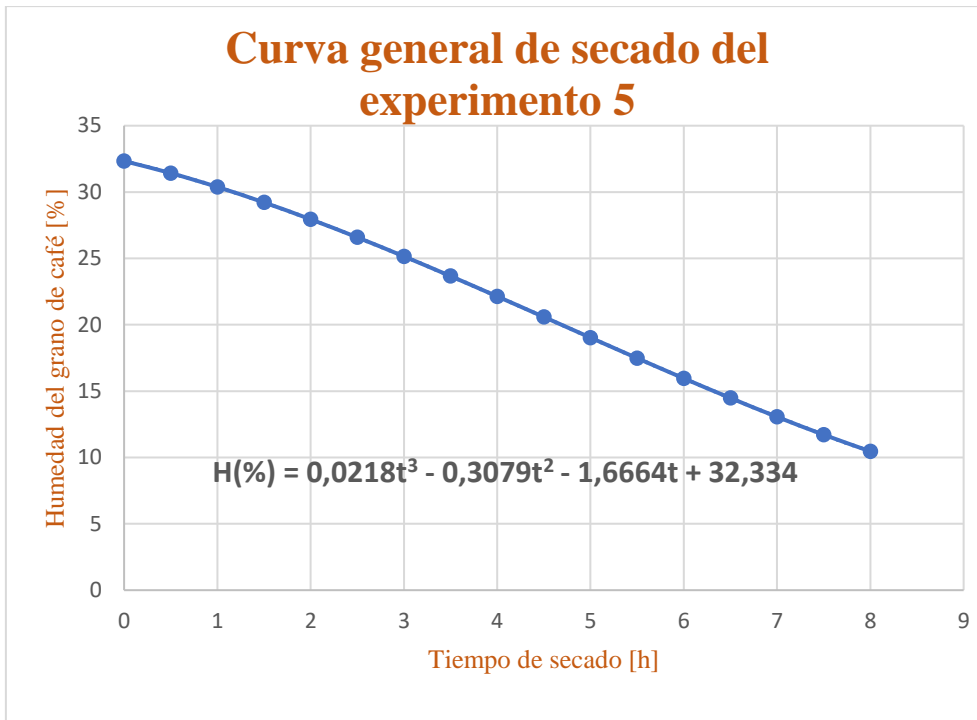
**Figura 23.** Curva general de secado del experimento 3, a  $T_{sec}=45^{\circ}C$  y  $Q_{aire}=0,00101\ m^3/s$ .

**Fuente:** Autor.



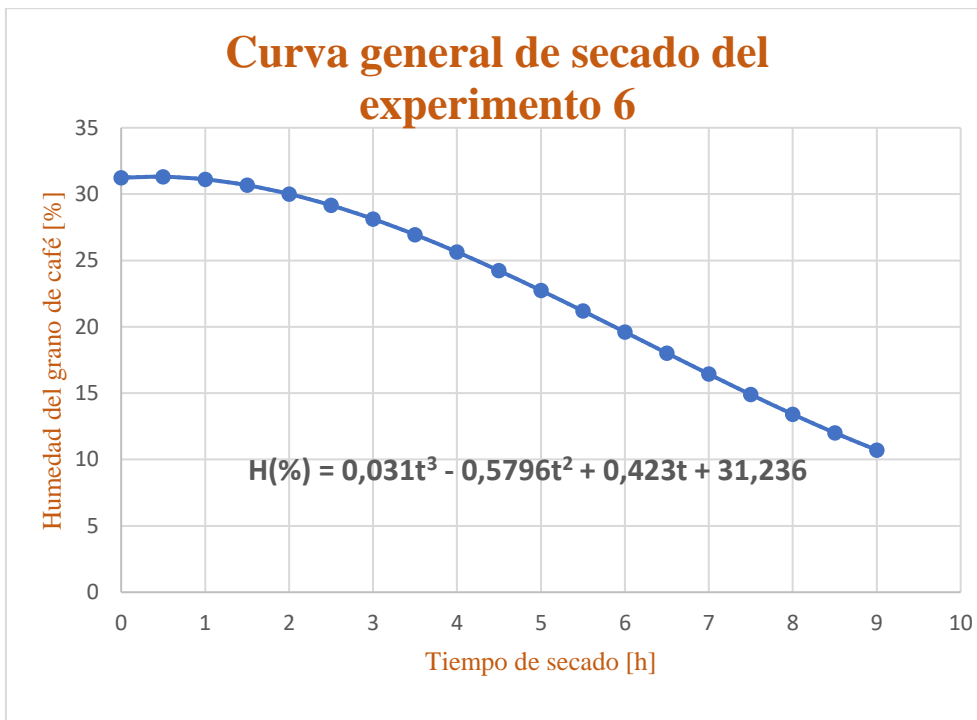
**Figura 24.** Curva general de secado del experimento 4, a  $T_{sec}=37^{\circ}C$  y  $Q_{aire}=0,00243\ m^3/s$ .

**Fuente:** Autor.



**Figura 25.** Curva general de secado del experimento 5, a  $T_{sec}=37^{\circ}C$  y  $Q_{aire}=0,00162 m^3/s$ .

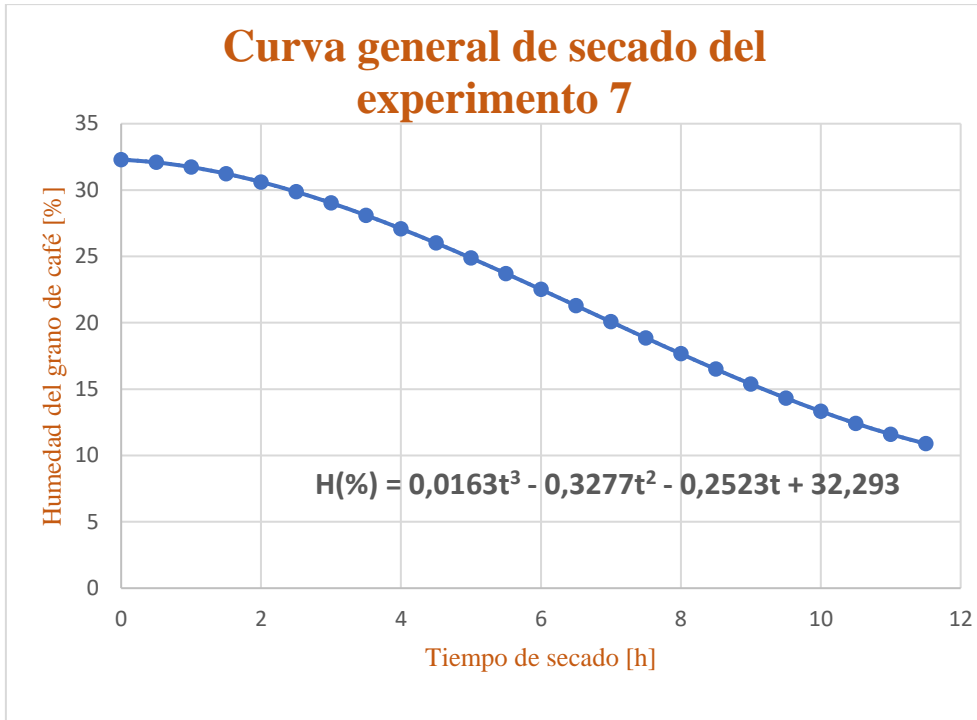
*Fuente: Autor.*



**Figura 26.** Curva general de secado del experimento 6, a  $T_{sec}=37^{\circ}C$  y  $Q_{aire}=0,00101 m^3/s$ .

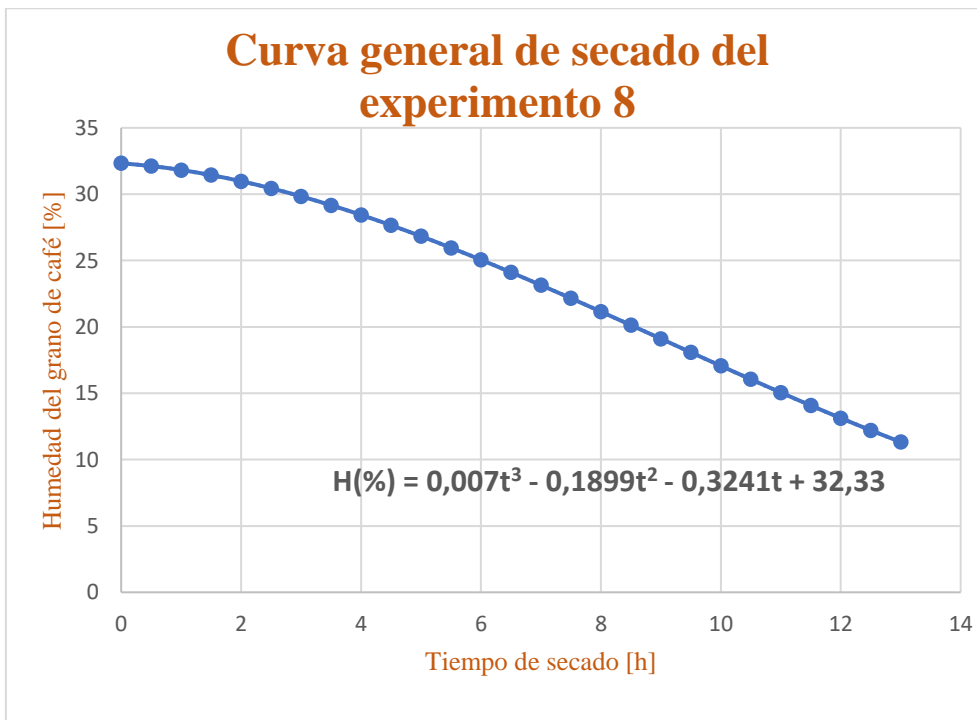
*Fuente: Autor.*





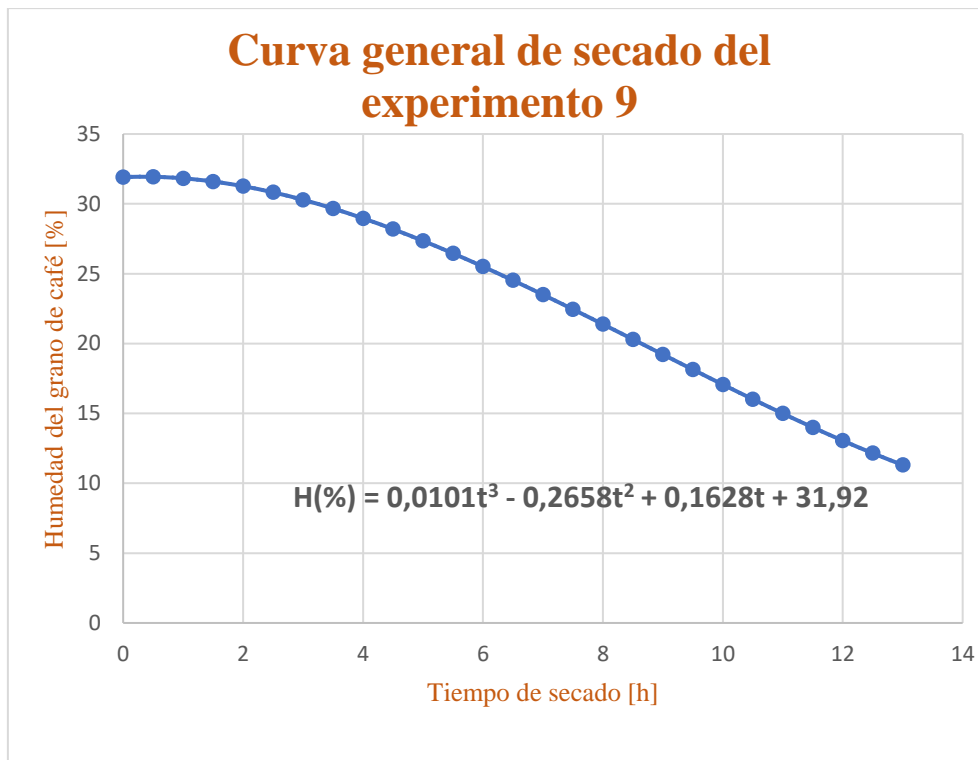
**Figura 27.** Curva general de secado del experimento 7, a  $T_{sec}=30^{\circ}C$  y  $Q_{aire}=0,00243\ m^3/s$ .

*Fuente: Autor.*



**Figura 28.** Curva general de secado del experimento 8, a  $T_{sec}=30^{\circ}C$  y  $Q_{aire}=0,00162\ m^3/s$ .

*Fuente: Autor.*



**Figura 29.** Curva general de secado del experimento 9, a  $T_{sec}=30^{\circ}C$  y  $Q_{aire}=0,00101 m^3/s$ .

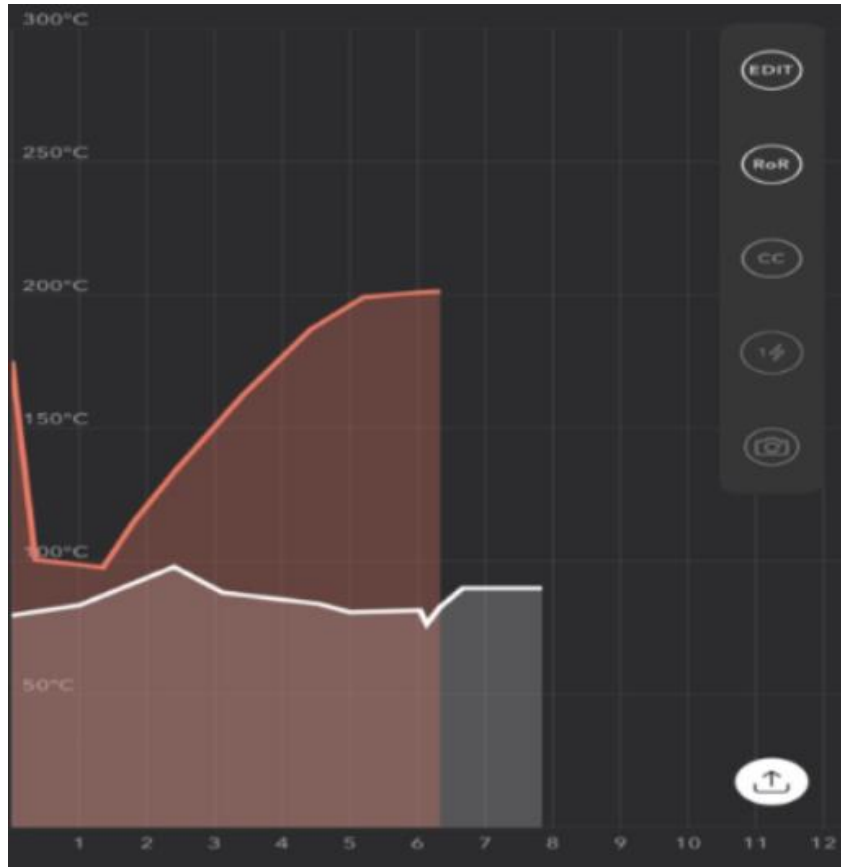
**Fuente:** Autor.

En las curvas que resultaron de todos los experimentos, se puede evidenciar que todas las curvas de secado tienen el mismo comportamiento decreciente, esto debido a que, en los primeros días, las muestras de café inician el proceso de secado con un valor de humedad entre el 32,5% al 30%, aproximadamente; hasta llegar a la humedad del 10% al 12%. En cada una de estas curvas generales de secado, se presenta la ecuación que define como la humedad del grano de café disminuye con respecto al tiempo de secado, siendo esta ecuación de tercer grado.

De la misma manera, en cada curva se analizó el coeficiente de determinación, siendo valores que abordaban entre el 0.9 y 1; permitiendo determinar que la tendencia de la curva de secado se ajusta a los datos, por ende, es aceptable (véase, Anexo 4).

Una vez que se terminó el proceso de secado de todas las muestras de café, y obtenido los datos del secado; se procedió a llevar a cabo los siguientes subprocesos de beneficiado del café hasta obtener el producto final. Se consideró que, para realizar los procesos subsiguientes al secado, las tres muestras que se tenía en cada experimentación, sean agrupadas, ya que las tres muestras que se sometieron al secado de cierta experimentación, fueron secadas con las mismas condiciones, dependiendo de las variables que se tomó en cuenta en cada experimento.

Los subprocesos comprenden lo siguiente: trillado y selección de las mejores muestras de café para realizar el tueste respectivo de cada experimento. Para el tueste de las diferentes muestras de café, se tomó en cuenta la siguiente curva de tueste, en la que se relaciona la temperatura del tueste y el tiempo, tal que fue la misma para todos los experimentos (*figura 27*).



**Figura 30.** Curva de tueste utilizada en las muestras de café.

**Fuente:** *Ontaneda, H.*

Además de la curva de tueste, se consideró la humedad del café y la densidad del mismo. El tostado de las muestras de café se realizó en una máquina Bullet Aillio R2, como se muestra en la siguiente figura.



**Figura 31.** Tostadora Bullet Aillio R2.

**Fuente:** Ontaneda, H.

Con las muestras de café tostadas (figura 29), se procedió a moler las muestras, para con ello obtener el producto final de café para el consumo humano, con lo que permitió analizar sensorialmente las muestras de café de los 9 experimentos. El análisis sensorial (llamada también Prueba de Taza), constituye el método, por el cual se define la calidad del café en base a protocolos de la Asociación de Cafés Especiales de América (SCCA, siglas en inglés). Este análisis de las muestras de café, fue realiza por un juez profesional internacional de café, el Sr. Hubert Ontaneda. Al momento de la catación del café, el punto más importante de este proceso es el sentido sensorial que tenga el barista, con ello se podrá determinar el puntaje de calidad en taza del café.



**Figura 32.** Muestras de café tostadas.

**Fuente:** Autor.

Primeramente, el barista preparó la muestra de café molida en agua, para luego esta sea degustada. Con ello se utiliza una aplicación virtual, en la cual se va calificando de manera puntual los aspectos de color, aroma, sabor, acidez, cuerpo, balance, dulzor y limpieza. Una vez, se haya puntuado todos aquellos aspectos, resulta el puntaje final de las muestras de café analizada.

A continuación, se presenta el análisis sensorial de cada experimento, especificando en cada uno los puntajes de cada aspecto antes mencionado.



**Figura 33.** Análisis sensorial del experimento 1.

**Fuente:** Ontaneda, H.



**Figura 34.** Análisis sensorial del experimento 2.

**Fuente:** Ontaneda, H.



**Figura 35.** Análisis sensorial del experimento 3.

*Fuente: Ontaneda, H.*



**Figura 36.** Análisis sensorial del experimento 4.

*Fuente: Ontaneda, H.*



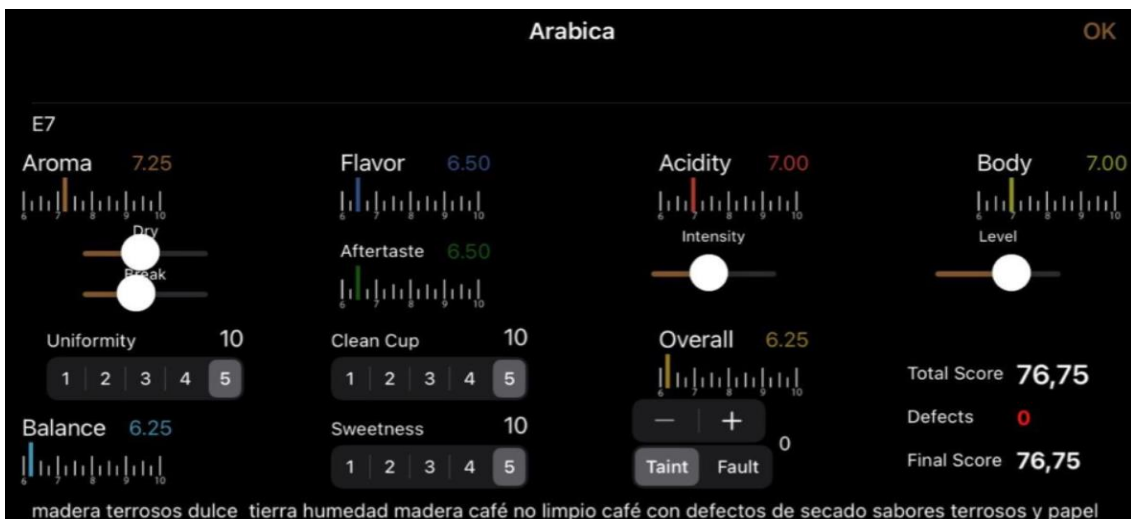
**Figura 37.** Análisis sensorial del experimento 5.

*Fuente: Ontaneda, H.*



*Figura 38. Análisis sensorial del experimento 6.*

*Fuente: Ontaneda, H.*



*Figura 39. Análisis sensorial del experimento 7.*

*Fuente: Ontaneda, H.*



*Figura 40. Análisis sensorial del experimento 8.*

*Fuente: Ontaneda, H.*



*Figura 41. Análisis sensorial del experimento 8.*

*Fuente: Ontaneda, H.*

Como se puede apreciar de la figura 30 a la 38, el análisis sensorial de todas las muestras de café se llevó a cabo bajo las mismas condiciones y especificaciones, con ello se determinó que la muestra del **experimento 8**, tuvo el mayor puntaje de calidad en taza de café, con un valor del **85,25/100**. Con esto se puede definir que la curva de secado que garantizaría una mayor calidad del café como producto final para el consumo humano es la curva general de secado del **experimento 8** (figura 25), con condiciones de una temperatura mínima de 30 °C, y un flujo de aire intermedio de 0,00162 m<sup>3</sup>/s. Cabe destacar que las muestras el experimento 4 y 6, también cuentan con un buen puntaje de calidad en taza, por lo que se podría considerar también estas curvas de secado de tales experimentos.



Por otro lado, se relacionó la influencia que tiene la variación de las variables de entrada, como son, la temperatura y flujo de aire, en la catación de las muestras; para ello se realizó el análisis mediante el software Statgraphics. En primera instancia se definió todos los parámetros y datos a analizar, como es los valores de temperatura y flujo de aire, y cuál fue el resultado de valoración sensorial respectiva. A continuación, se presenta la información:

**Asistente de Diseño de Experimentos**

Paso 1: Definir las variables respuesta a ser medidas

Nombre	Unidades	Analizar	Objetivo	Destino	Impacto	Sensibilidad	Bajo	Alto
Cat		Media	Maximizar		3,0	Medio		

Paso 2: Definir los factores experimentales que van a variar

Nombre	Unidades	Tipo	Papel	Bajo	Alto	Niveles
A:T	°C	Continuo	Controlable	-1,0	1,0	
B:Q	m <sup>3</sup> /s	Continuo	Controlable	-1,0	1,0	

Paso 3: Seleccione el diseño experimental

Tipo of	Diseño	Puntos Centrales	Punto Central	Diseño es	Número de	Total
Factores	Tipo	Por Bloque	Colocación	Aleatorizado	Replicaciones	Ejecuciones
Proceso	Factorial 2 <sup>2</sup>	3	Aleatorio	Si	0	7

Total	Error
Bloques	D.F.
1	3

Número de muestras por ejecución: 1

Paso 4: Indicar el modelo inicial a ajustar a los resultados del experimento

Factores	Modelo	Coefficientes	Efectos excluidos
Proceso	Interacciones de 2 factores	4	

**Figura 42.** Asistente de Diseño de experimentos en el software Statgrafics.

*Fuente: Autor.*

	BLOQUE	T	Q	Cat
		°C	m <sup>3</sup> /s	
1	1	45	0,00243	82,75
2	1	30	0,00243	76,75
3	1	45	0,00101	83,75
4	1	30	0,00101	84,25
5	1	37	0,00162	84
6	1	30	0,00162	85,25
7	1	37	0,00243	84,5

**Figura 43.** Datos considerados de temperatura, flujo de aire y catación para el respectivo análisis en el software Statgrafics.

*Fuente: Autor.*

En base a la metodología, se analizó el modelo matemático que se obtiene del diseño experimental, y la confiabilidad que tiene este modelo, por lo que se obtuvo lo siguiente:

$$Cat = 83,4735 + 0,094796 * T - 2162,75 * Q$$

Tal ecuación, refleja una confiabilidad baja del 27,67%, debido al que valor P es mucho mayor a 0,05, siendo este igual a 0,5231. Esto se debe a la falta de datos que se analizan en este tipo de diseño experimental. En la siguiente figura se presenta los datos que reflejó el software sobre el análisis de datos:

**Regresión Múltiple - Cat**

Variable dependiente: Cat

Variables independientes:

T (°C)

Q (m<sup>3</sup>/s)

Parámetro	Estimación	Error		Valor-P
		Estándar	T	
CONSTANTE	83,4735	7,38331	11,3057	0,0003
T	0,094796	0,181843	0,521306	0,6297
Q	-2162,75	1893,5	-1,1422	0,3171

**Análisis de Varianza**

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Modelo	13,7121	2	6,85604	0,77	0,5231
Residuo	35,8415	4	8,96037		
Total (Corr.)	49,5536	6			

R-cuadrada = 27,6712 por ciento

**Figura 44.** Resultados de confiabilidad del modelo matemático.

**Fuente:** Autor.

Con todo lo que se obtuvo en el software, se puede destacar el modelo matemático que resultó, ya que con esta ecuación sería posible calcular de manera aproximada, el valor del análisis sensorial posible que podría tener una determinada muestra de café que haya sido sometida a un proceso de secado.

En base al modelo obtenido que predice el valor de catación, en función de la temperatura y flujo de aire, para ello se consideró los datos de todos los experimentos, para su debida comprobación del modelo:

**Tabla 7.** Comprobación del modelo matemático de catación en función de la temperatura y flujo de aire dentro del proceso de secado de café.

N <sup>ro</sup> Experimento	Valores de las variables		Valor real de catación	Valor de catación con base al modelo	Error absoluto	Error porcentual [%]
	T [°C]	Q [m <sup>3</sup> /s]				
1	45	0,00243	82,75	82,48	0,27	<b>0,32</b>
2	45	0,00162	83,25	84,24	0,99	<b>1,2</b>
3	45	0,00101	83,75	85,55	1,8	<b>2,15</b>
4	37	0,00243	84,5	81,72	2,78	<b>3,29</b>
5	37	0,00162	84	83,48	0,52	<b>0,62</b>
6	37	0,00101	85	84,79	0,21	<b>0,25</b>
7	30	0,00243	76,75	81,06	4,31	<b>5,61</b>
8	30	0,00162	85,25	82,81	2,44	<b>2,86</b>
9	30	0,00101	84,25	84,13	0,12	<b>0,14</b>

*Fuente: Autor.*

En la tabla 7, se representa los valores obtenidos de error relativo porcentual que refleja el modelo matemático de catación antes descrito, en la cual se puede apreciar que los valores de error están menores al 5%, excepto el valor de error que se obtiene en base a los datos del experimento 7; sin embargo, se puede definir que el modelo matemático que predice el valor referencial y aproximado de catación de muestra de café a determinada temperatura y flujo de aire, sea considerado aceptable.

## 7. Discusión

Una de las principales cuestiones para determinar la curva de secado que garantice una calidad de café considerable por el consumidor, es de conocer cuáles fueron los procesos de producción, cosecha y postcosecha.

En la presente investigación, al momento de realizar la búsqueda de información con respecto a curvas de secado de café, se puede evidenciar que existe una gran cantidad de documentos de investigación acerca de este tema, lo que sí se puede decir, que de todos estos documentos que determinan una curva de secado de café, no analizan las muestras sensorialmente; con la finalidad de definir cuál de todas las curvas obtenidas, garantizaría un mayor puntaje de calidad en taza de café. Por otro lado, también se puede decir, que existe una gran infinidad de modelos y tipos de secadores de café, en los cuales se realizan los respectivos estudios y análisis de las curvas de secado de café. En este caso, se realizó el secado del café mediante un tipo de secado mecánico con aire forzado y temperatura variable, con la finalidad de agilizar el proceso de secado de café, y considerar elementos básicos, como, prototipos de cajas de secado, ventilador para la administración de aire, focos incandescentes como fuente de calor, entre otros; tales que permitan el proceso de secado de la mejor manera, con ello pues sea posible reducir costos de implementación del sistema de secador mecánico, valor que rodea aproximadamente \$60 (dólares americanos), por cada caja experimental.

Según Galova (2020), indica que el porcentaje de humedad del grano de café óptimo es de 11.5%; en base a esto se puede discutir que los resultados obtenidos de humedad final de las muestras que se sometieron al secado en la presente experimentación, están cerca al valor óptimo de humedad, aproximadamente el 11%.

Por otro lado, al finalizar la investigación, se obtuvieron los resultados de las curvas de secado obtenidas en cada experimentación. De igual manera se obtuvo los puntajes finales de calidad de cada experimentación de secado de café, con lo cual se definió la curva de secado de la muestra de café la que obtuvo un mayor puntaje de calidad en taza de café, siendo la curva de secado del experimento 8, de la cual la muestra de café obtuvo una calidad de 85,25/100. Por otro lado, se puede evidenciar que los resultados que se obtuvieron en investigaciones realizadas por otros autores, por ejemplo; López (2006), presenta los perfiles de secado que obtuvo en su investigación de secado de café en lecho fluidizado con flujo de aire forzado, en la cual la curva de secado que refleja una mayor calidad en taza de café, fue obtenida durante el proceso de secado de café a una temperatura de 42°C y un flujo de aire aproximada de 0,0183 m<sup>3</sup>/s; contrastando con la presente investigación se puede determinar que existe una diferencia

en los datos obtenidos; esto se puede producir por el tipo de muestras de café utilizadas, las condiciones de secado utilizadas, procesos de producción y cosecha, entre otros; sin embargo, esto no determina que la presente investigación, en tema de los datos obtenidos, no tenga validez y credibilidad; todo esto porque se consideró cada aspecto que intervienen en el beneficiado de café para garantizar una buena calidad de café como producto final.

Finalmente, en base al análisis que se obtuvo en el software Statgraphics, sobre la influencia que tiene la temperatura y flujo de aire durante el secado de café, en la calidad en taza; se puede determinar que el modelo matemático obtenido tiene una baja confiabilidad; sin embargo, no se descarta la posibilidad de que este modelo matemático sirva para aproximar el cálculo del valor de la catación de una muestra de café, tomando en cuenta el error porcentual que se obtuvo en la comparación del valor real de catación con el valor calculado con base al modelo matemático. Por ello, se prevé tener presente una mayor cantidad de datos, con la finalidad de aumentar la confiabilidad de la ecuación.

## 8. Conclusiones

- En primera instancia se demostró que el perfil de secado tiene gran incidencia en la calidad final del café, determinándose que la curva de secado correspondiente al experimento 8 (temperatura de secado a 30°C y un flujo de aire de 0,00162 m<sup>3</sup>/s), reflejó el mejor puntaje de calidad en taza.
- Todos los procesos que involucran en el procesamiento de café, tienen su incidencia en el producto final. Por ello es de gran importancia que cada proceso de beneficiado de café sea llevado a cabo con la mínima atención posible, ya que con eso se garantizará que la calidad que se obtenga del café sea aceptable. Dentro del secado de café, se consideró que el secado de café sea por medio de un secado mecánico, el tipo de muestra de café sea arábica, variedad caturra; así como también las variables que se van a controlar y cuales no, como son la temperatura de secado (de 30°C a 45°C), flujo de aire (de 0,00101 m<sup>3</sup>/s a 0,00243 m<sup>3</sup>/s), tiempo de secado (de 8 a 14 horas, por día), humedad del grano de café (de 10% al 12%), y humedad relativa del aire (entre 20% al 40%).
- Tomar en cuenta un proceso experimental para la obtención de datos del secado de café, es importante para obtener buenos resultados, ya que con esto se conoce que variables se van a analizar, de las cuales definir qué variables son de entrada y qué variables son de salida; así como también la cantidad de pruebas experimentales y repeticiones se van a llevar a cabo; con la finalidad de minimizar el error al momento de analizar los resultados obtenidos.
- Durante el proceso de secado de las muestras de secado, fue de suma importancia contar con un sistema de adquisición de datos, ya que permitió controlar la principal variable, que es la temperatura de secado, así como también el flujo de aire y humedad relativa del aire. La obtención de los datos para la curva de secado se obtuvo mediante un medidor de muestras de café que mostraba la humedad del café.
- El análisis de la información obtenida después del proceso de secado y procesos subsiguiente de beneficiado de café, mediante análisis sensorial de las muestras de café, fue de gran importancia, ya que con esto se pudo determinar la curva de secado es la idónea que garantizará una buena calidad en taza de café; la cual, en la presente investigación, es la curva de secado del experimento 8, la cual reflejó un puntaje de calidad de café de **85,25/100**.

## **9. Recomendaciones**

- Se recomienda continuar con la presente investigación sobre la obtención de curvas de secado, para mejorar los datos de las curvas, consecuente mejorando la calidad final del café.
- En la metodología utilizada, se recomienda realizar los ajustes necesarios en cuestión del secador de café, ya que con esto se podría mejorar la eficiencia del secador, por ende, mejorando el proceso de secado de café.
- Se recomienda que, si se realiza una experimentación de secado de café, sea llevado a cabo con el mismo tipo de variedad de café y misma calidad, con la finalidad que al final la comparación de los datos obtenidos sea relacionada entre sí.
- Para el análisis sensorial de las muestras de café, se recomienda que sea estudiado y analizado por un profesional en catación de muestras de café, para garantizar que los resultados obtenidos sean confiables y verídicos.
- Se recomienda que, si se realiza un análisis de datos y experimentación mediante un software, sea de fácil manejo y comprensión; así como también, sea un software actualizado. En el caso de utilizar el software Statgraphics, se recomienda analizar el diseño experimental que propone el software, considerar las mismas variables, utilizando un mayor número de datos, con la finalidad de minimizar el error del modelo matemático.

## 10. Bibliografía

- Aire Limpio Global (ALG). (2015). *Tipos de Ventiladores / Características y Consideraciones ¿Cuál es mejor?* <https://airelimpioglobal.com/tipos-de-ventiladores/>
- Airtecnicos. (n.d.). *Ventiladores: Generalidades*. Retrieved June 10, 2022, from <https://www.airtecnicos.com/es/tecnologia/ventiladores-generalidades>
- Alvarez, H. (n.d.). *Diseño de experimentos-Experimentos multifactoriales*. Retrieved March 9, 2023, from <http://www.academia.utp.ac.pa/humberto-alvarez/diseño-de-experimentos-y-regresión>
- Bell, S. (2012). *The Beginner's Guide to Humidity Measurement*.
- Berrocal, C., & Vanegas, N. (2019). *La gestión de calidad en el proceso de secado de café de especialidad natural en Costa Rica*.
- Caraballo, M. (2010). *Investigación Científica Integrada*.
- Crespo, E. (2016). *Qué es Arduino / Aprendiendo Arduino*. <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2016/12/11/que-es-arduino-2/>
- FAO. (2006). *Guidelines for the Prevention of Mould Formation in Coffee FINAL*.
- Fernández, M. (2014). *Diseño unifactorial con covariable*.
- Fernández, S., & Buenestado, P. (2020). *DISEÑO DE EXPERIMENTOS: DISEÑO FACTORIAL Memoria y Anexos Autor*.
- Galova, V. (2020). *Cómo evaluar la calidad de tu café*. <https://www.roestcoffee.com/roestblog/quality-control-part1>
- Ghosh, P., & Venkatachalapathy, N. (2014). *Processing and Drying of Coffee-A Review*. <https://www.researchgate.net/publication/269986518>
- Gutiérrez, J. (2015). *DISEÑO DE BLOQUES AL AZAR*.
- Internacional Coffe Council (ICC). (2004). *Programa de Mejoramiento de la Calidad del Café – Modificaciones*.
- Internacional Coffe Organization (ICO). (2004). *Organización Internacional del Café - Historia*. [https://www.ico.org/es/icohistory\\_c.asp?section=Qui%E9nes\\_somos](https://www.ico.org/es/icohistory_c.asp?section=Qui%E9nes_somos)
- López, E. M. (2006). Secado de café en lecho fluidizado. *Ingeniería e Investigación*, 26, 1–5.



<http://www.scielo.org.co/pdf/iei/v26n1/v26n1a03.pdf>

- M. H. Badii, Rodríguez, M. C., Wong, A., & Villalpando, P. (2017). Diseños experimentales e investigación científica. *Innovaciones de Negocios*, 4(8). <https://doi.org/10.29105/rinn4.8-5>
- Maloy, G. (2020). *Qué es Adquisición de Datos - DAQ or DAS? | Dewesoft*. <https://dewesoft.com/es/daq/que-es-adquisicion-de-datos>
- Monterrey. (n.d.). *Los Sistemas de Adquisición de Datos*. Retrieved June 7, 2022, from <https://www.monografias.com/trabajos17/sistemas-adquisicion-dato/sistemas-adquisicion-dato>
- Pachard, G. (2020). *▷ Medidores De Humedad Para Café: Usos y Modelos*. <https://www.comprarmicafetera.com/medidores-de-humedad-para-el-cafe/>
- Palacios, A. (2021). *Diseño y construcción de un secador de café aprovechando energía solar térmica con geometría Pavarti*.
- Pedroza Isquierdo, E., Meira Borém, F., Damasceno De Oliveira, P., Siqueira, V. C., & Alves, G. E. (2012). *QUALITY OF NATURAL COFFEE SUBJECTED TO DIFFERENT REST PERIODS DURING THE DRYING PROCESS* *Qualidade do café natural submetido a diferentes períodos de repouso durante a secagem*. 36, 439–445.
- Perez, M., Perez Hidalgo, A., & Perez Berenger, E. (2007). *INTRODUCCION A LOS SISTEMAS DE CONTROL Y MODELO MATEMÁTICO PARA SISTEMAS LINEALES INVARIANTES EN EL TIEMPO*.
- Prada, Á., Vela, C. P., Bardález, G., Saavedra, J., Cooperativa, ), Cafetalera, A., Carretera, A., Belaúnde, F., Km, T., & Martín, S. (2019). Effectiveness of a Coffee Drying Process Using Solar Dryers with a Continuous Air Flow System Powered by Photovoltaic Energy, in the San Martín Region, Peru. *Información Tecnológica*, 30(6), 85–92. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000600085>
- Ramón, G. (n.d.). *Diseños experimentales*.
- S&P. (2017). *Sensor de temperatura: tipos y normativa*. <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/sensor-temperatura/>

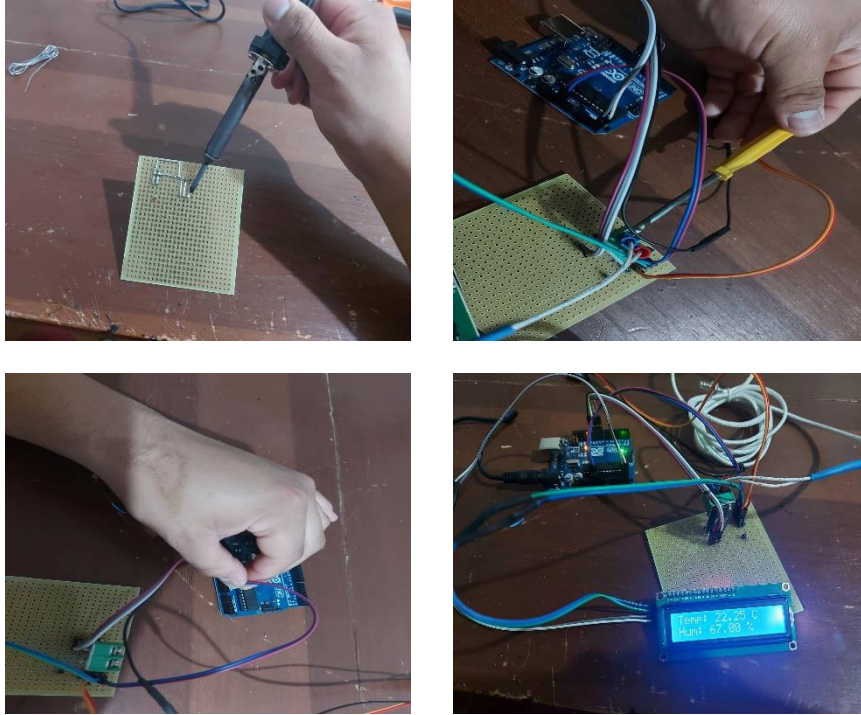
## 11. Anexos

### Anexo 1. Proceso de construcción de cajas experimentales.



*Figura 45. Construcción de la caja experimental.*

*Fuente: Autor.*



*Figura 46. Construcción del sistema de control mediante Arduino.*

*Fuente: Autor.*



*Figura 47. Caja experimental terminada.*

*Fuente: Autor.*

## Anexo 2. Programación del sistema de control.

Programaci\_n\_temp\_y\_humedad Arduino 1.8.19

Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda



Programaci\_n\_temp\_y\_humedad

```
||PROGRAMACIÓN PARA MEDICIÓN DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA
```

```
#include "max6675.h"
#include <dht.h>
#include <Wire.h>
#include <LCD.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 2, 1, 0, 4, 5, 6, 7); //Define DIR, E, RW, RS, D4, D5, D6, D7
dht DHT;

//Se crea variables flotantes para almacenar la temperatura y la humedad
float temperatura=0;
float humedad=0;

//Se definen los pines a usar para conectar el Dht11 y el MAX6675

#define DHT11_PIN 11
int ktcSO = 8;
int ktcCS = 9;
int ktcCLK = 10;

MAX6675 ktc(ktcCLK, ktcCS, ktcSO);

void setup() {

//Configurar el backlight del LCD y colocarlo en 1 logico, y inicia el lcd
  lcd.setBacklightPin(3, POSITIVE);
  lcd.setBacklight(HIGH);
  lcd.begin(16, 2);
  lcd.clear();
```

```

//Comunicacion serial.
Serial.begin(9600);

//Saludo inicial presentacion en la pantalla LCD.
lcd.setCursor(3, 0);
lcd.print("PROCESO DE");
lcd.setCursor(1, 1);
lcd.print("SECADO DE CAFE");
delay(2000);

}

void loop() {

//Leer temperatura.
temperatura=ktc.readCelsius();
//temperatura=ktc.readFahrenheit();

//Enviar dato de temperatura por el puerto serial.
Serial.print("Temp= ");
Serial.print(temperatura);
Serial.println(" C");

//Mostrar dato de temperatura en LCD.
lcd.clear();
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("Temp: ");
lcd.setCursor(6, 0);
lcd.print(temperatura);
lcd.setCursor(11, 0);
lcd.print(" C");

//Leer humedad
DHT.read11(DHT11_PIN);
humedad=DHT.humidity;

//Enviar dato de humedad por el puerto serial.
Serial.print("Hum= ");
Serial.print(humedad);
Serial.println(" %");

//Mostrar dato de humedad en LCD.
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("Hum: ");
lcd.setCursor(5, 1);
lcd.print(humedad);
lcd.setCursor(10, 1);
lcd.print(" %");

//Pausa de 2 segundos para repetir el proceso
delay(3000);

}

```

**Figura 48.** Programación para medición de temperatura y humedad relativa mediante Arduino.

*Fuente:* Autor.

**Anexo 3. Resultados de humedad de las muestras de café de todos los experimentos y réplicas.**

**Tabla 8. Resultados de humedad del café del experimento 1, repetición 1; a  $T_{sec}=45^{\circ}C$  y  $Q_{aire}=0,00243 m^3/s$ .**

<b>Experimento 1, repet. 1</b>									
<b>Hora</b>	<b>Tiempo de secado (h)</b>	<b>Resultado humedad de grano de café [%]</b>							
		<b>Día 1</b>	<b>Día 2</b>	<b>Día 3</b>	<b>Día 4</b>	<b>Día 5</b>	<b>Día 6</b>	<b>Día 7</b>	<b>Día 8</b>
7:00	0	32	22,2	21,8	20,7	20,6	19,7	19,4	18,5
7:30	0,5	31,6	21,6	20,3	19,8	18,2	18,9	18,1	16,9
8:00	1	31,1	19,8	19,5	17,5	16,4	17,2	16,3	15,5
8:30	1,5	30,6	18,6	18,6	15,6	15,3	15,1	14,5	12,5
9:00	2	29,9	17,6	17,2	13,4	13,9	13,2	12,4	11
9:30	2,5	28,7	16,4	16,4	12,2	12,3	11,2	11,2	-
10:00	3	27,4	15,9	15,8	11,1	11,3	-	-	-
10:30	3,5	25,7	14,6	14,2	-	-	-	-	-
11:00	4	22,8	13,8	13,3	-	-	-	-	-
11:30	4,5	20,5	12,5	12	-	-	-	-	-
12:00	5	18,7	11,3	11,2	-	-	-	-	-
12:30	5,5	16,4	-	-	-	-	-	-	-
13:00	6	14,3	-	-	-	-	-	-	-
13:30	6,5	12,5	-	-	-	-	-	-	-
14:00	7	11,3	-	-	-	-	-	-	-

*Fuente: Autor.*

**Tabla 9. Resultados de humedad del café del experimento 1, repetición 2; a  $T_{sec}=45^{\circ}C$  y  $Q_{aire}=0,00243 m^3/s$ .**

<b>Experimento 1, repet. 2</b>									
<b>Hora</b>	<b>Tiempo de secado (h)</b>	<b>Resultado humedad de grano de café [%]</b>							
		<b>Día 1</b>	<b>Día 2</b>	<b>Día 3</b>	<b>Día 4</b>	<b>Día 5</b>	<b>Día 6</b>	<b>Día 7</b>	<b>Día 8</b>
15:00	0	31,2	21,9	21,4	20,5	19,4	19,4	19	18,1
15:30	0,5	30,6	20,5	20,2	19,4	18,2	18,4	17,1	16,4
16:00	1	29,6	19,4	19,5	17,9	16,8	17,4	15,1	14,2
16:30	1,5	28,4	18,5	18,4	15,8	15,4	15,3	13,2	12,1
17:00	2	27,5	17,5	17,2	13,6	13,5	13,1	11,2	11
17:30	2,5	26,8	16,4	16,4	12,3	12,2	11,2	-	-
18:00	3	25,2	15,5	15,2	11,4	11,2	-	-	-
18:30	3,5	23,5	14,2	14,1	-	-	-	-	-

19:00	4	21,4	13,6	13,4	-	-	-	-	-
19:30	4,5	18,5	12,5	12,6	-	-	-	-	-
20:00	5	16,3	11,3	11,4	-	-	-	-	-
20:30	5,5	14,5	-	-	-	-	-	-	-
21:00	6	12,8	-	-	-	-	-	-	-
21:30	6,5	11,5	-	-	-	-	-	-	-

*Fuente: Autor.*

**Tabla 10.** Resultados de humedad del café del experimento 1, repetición 3; a  $T_{sec}=45^{\circ}C$  y  $Q_{aire}=0,00243\ m^3/s$ .

<b>Experimento 1, repet. 3</b>									
<b>Hora</b>	<b>Tiempo de secado (h)</b>	<b>Resultado humedad de grano de café [%]</b>							
		<b>Día 1</b>	<b>Día 2</b>	<b>Día 3</b>	<b>Día 4</b>	<b>Día 5</b>	<b>Día 6</b>	<b>Día 7</b>	<b>Día 8</b>
7:00	0	31,4	22,3	21,1	20,1	20,1	19,8	19,7	18
7:30	0,5	30,9	21,2	20,1	19,1	18,4	17,3	17,5	17
8:00	1	29,6	19,5	19,4	17,2	16,2	15,1	15,1	15,4
8:30	1,5	28,5	18,1	18,5	15,5	15,1	14,2	14,7	12,7
9:00	2	27,3	17,2	17,5	13,6	13,6	12,1	12,1	11,1
9:30	2,5	26,2	16,4	16,7	12,5	12,5	11,1	11,3	-
10:00	3	24,3	15,2	15,3	11,4	11,2	-	-	-
10:30	3,5	22,5	14,1	13,8	-	-	-	-	-
11:00	4	19,5	13,4	12,5	-	-	-	-	-
11:30	4,5	17,3	12,5	11,4	-	-	-	-	-
12:00	5	15,1	11,5	-	-	-	-	-	-
12:30	5,5	13,3	-	-	-	-	-	-	-
13:00	6	11,5	-	-	-	-	-	-	-
13:30	6,5	-	-	-	-	-	-	-	-
14:00	7	-	-	-	-	-	-	-	-

*Fuente: Autor.*

**Tabla 11.** Resultados de humedad del café del experimento 2, repetición 1; a  $T_{sec}=45^{\circ}C$  y  $Q_{aire}=0,00162 m^3/s$ .

Experimento 2, repet. 1										
Hora	Tiempo de secado (h)	Resultado humedad de grano de café [%]								
		Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8	Día 9
15:00	0	32,3	24,3	21,9	20,5	20,9	20,2	20,2	20,2	18,2
15:30	0,5	31,6	23,4	20,4	18,9	19,2	19,1	19,2	18,3	17,3
16:00	1	30,5	22,7	19,3	17,5	17,9	17,9	17,5	16,7	15,7
16:30	1,5	29,7	21,8	18,4	16,2	16,6	16,3	15,6	14,5	13,7
17:00	2	28,5	19,6	17,6	15,3	15,3	15,1	13,2	12,9	11
17:30	2,5	27,5	17,8	16,4	14,5	14,3	13,8	12,1	11,2	-
18:00	3	26,3	16,7	15,6	13,6	13,3	12,5	11	-	-
18:30	3,5	25,4	15,4	14,2	12,4	12,1	11,1	-	-	-
19:00	4	24,6	13,5	13,5	11,1	11,4	-	-	-	-
19:30	4,5	23,5	12,6	12,1	-	-	-	-	-	-
20:00	5	22,1	11,3	11,2	-	-	-	-	-	-
20:30	5,5	21,3	-	-	-	-	-	-	-	-
21:00	6	20,5	-	-	-	-	-	-	-	-
21:30	6,5	19,7	-	-	-	-	-	-	-	-
22:00	7	18,6	-	-	-	-	-	-	-	-
22:30	7,5	17,5	-	-	-	-	-	-	-	-
23:00	8	16,6	-	-	-	-	-	-	-	-
23:30	8,5	15,4	-	-	-	-	-	-	-	-
0:00	9	13,5	-	-	-	-	-	-	-	-
0:30	9,5	12,4	-	-	-	-	-	-	-	-
1:00	10	11,3	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: Autor.

**Tabla 12.** Resultados de humedad del café del experimento 2, repetición 2; a  $T_{sec}=45^{\circ}C$  y  $Q_{aire}=0,00162 m^3/s$ .

Experimento 2, repet. 2										
Hora	Tiempo de secado (h)	Resultado humedad de grano de café [%]								
		Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8	Día 9
7:00	0	31,2	22,5	21,9	20,7	20,4	19,7	19,6	19,6	19,1
7:30	0,5	30,9	21,2	20,8	19,8	19,2	18,5	16,6	17,7	17,5
8:00	1	30	19,6	19,4	18,6	17,8	17,5	14,2	16,1	15,6
8:30	1,5	29,2	18,5	18,3	17,2	16,5	16,7	12,7	13,9	12,8
9:00	2	28,5	17,6	16,9	16,7	15,2	15,1	11,2	11,3	11,2



9:30	2,5	27,3	16,5	15,6	15	14,1	13,2	-	-	-
10:00	3	26,4	15,2	14,3	14,2	12,7	11,3	-	-	-
10:30	3,5	25,6	14,3	13,2	13,5	11,3	-	-	-	-
11:00	4	24,2	13,6	11,5	11,4	-	-	-	-	-
11:30	4,5	23,5	12,7	-	-	-	-	-	-	-
12:00	5	21,8	11,6	-	-	-	-	-	-	-
12:30	5,5	20,1	-	-	-	-	-	-	-	-
13:00	6	19,2	-	-	-	-	-	-	-	-
13:30	6,5	17,8	-	-	-	-	-	-	-	-
14:00	7	16,2	-	-	-	-	-	-	-	-
14:30	7,5	15,4	-	-	-	-	-	-	-	-
15:00	8	13,9	-	-	-	-	-	-	-	-
15:30	8,5	12,6	-	-	-	-	-	-	-	-
16:00	9	11,4	-	-	-	-	-	-	-	-

*Fuente: Autor.*

*Tabla 13. Resultados de humedad del café del experimento 2, repetición 3; a  $T_{sec}=45^{\circ}C$  y  $Q_{aire}=0,00162 m^3/s$ .*

<b>Experimento 2, repet. 3</b>										
<b>Hora</b>	<b>Tiempo de secado (h)</b>	<b>Resultado humedad de grano de café [%]</b>								
		<b>Día 1</b>	<b>Día 2</b>	<b>Día 3</b>	<b>Día 4</b>	<b>Día 5</b>	<b>Día 6</b>	<b>Día 7</b>	<b>Día 8</b>	<b>Día 9</b>
15:00	0	31,4	22,4	20,2	20,4	20,3	20	20,5	20,2	19,1
15:30	0,5	30,8	21,5	19	19,5	18,9	18,1	18,6	18,1	16,5
16:00	1	29,8	20,1	18,2	18,2	16,8	16,7	16,8	16,7	14,2
16:30	1,5	29	19,5	17,1	17,4	15	14,9	15,1	14,5	11
17:00	2	28,3	18,2	15,9	16,5	13,1	13,1	13,2	12,6	-
17:30	2,5	27,3	17,1	14,7	15,9	11,4	11,3	11,3	11,2	-
18:00	3	26,2	15,8	13,5	14,5	-	-	-	-	-
18:30	3,5	25,1	14,7	12,1	13,1	-	-	-	-	-
19:00	4	24,7	13,6	11,4	11,4	-	-	-	-	-
19:30	4,5	23,8	12,4	-	-	-	-	-	-	-
20:00	5	22,9	11,5	-	-	-	-	-	-	-
20:30	5,5	21,5	-	-	-	-	-	-	-	-
21:00	6	20,5	-	-	-	-	-	-	-	-
21:30	6,5	19,6	-	-	-	-	-	-	-	-
22:00	7	17,6	-	-	-	-	-	-	-	-
22:30	7,5	15,8	-	-	-	-	-	-	-	-
23:00	8	13,7	-	-	-	-	-	-	-	-
23:30	8,5	11,6	-	-	-	-	-	-	-	-

*Fuente: Autor.*

**Tabla 14.** Resultados de humedad del café del experimento 3, repetición 1; a  $T_{sec}=45^{\circ}C$  y  $Q_{aire}=0,00101 m^3/s$ .

<b>Experimento 3, repet. 1</b>										
<b>Hora</b>	<b>Tiempo de secado (h)</b>	<b>Resultado humedad de grano de café [%]</b>								
		<b>Día 1</b>	<b>Día 2</b>	<b>Día 3</b>	<b>Día 4</b>	<b>Día 5</b>	<b>Día 6</b>	<b>Día 7</b>	<b>Día 8</b>	<b>Día 9</b>
7:00	0	31,5	25,7	24,2	20,3	20,4	20,2	20,2	19,1	18,4
7:30	0,5	30,8	24,8	23,1	19,4	18,8	18,2	17,8	17,6	17,2
8:00	1	30,1	23,2	21,5	18,5	17,6	16,5	15,6	14,6	15,4
8:30	1,5	29,3	21,5	19,7	17,3	16,3	14,8	13,4	13,1	13,7
9:00	2	28,2	19,7	18,5	16,4	15,3	13,4	11,4	11,2	11
9:30	2,5	26,8	17,1	17,9	15,1	14,2	11,3	-	-	-
10:00	3	24,7	15,3	15,6	13,6	12,1	-	-	-	-
10:30	3,5	22,6	13,2	13,6	11,3	11,3	-	-	-	-
11:00	4	19,9	11,2	11,3	-	-	-	-	-	-
11:30	4,5	17,5	-	-	-	-	-	-	-	-
12:00	5	15,3	-	-	-	-	-	-	-	-
12:30	5,5	13,5	-	-	-	-	-	-	-	-
13:00	6	11,6	-	-	-	-	-	-	-	-

*Fuente: Autor.*

**Tabla 15.** Resultados de humedad del café del experimento 3, repetición 2; a  $T_{sec}=45^{\circ}C$  y  $Q_{aire}=0,00101 m^3/s$ .

<b>Experimento 3, repet. 2</b>										
<b>Hora</b>	<b>Tiempo de secado (h)</b>	<b>Resultado humedad de grano de café [%]</b>								
		<b>Día 1</b>	<b>Día 2</b>	<b>Día 3</b>	<b>Día 4</b>	<b>Día 5</b>	<b>Día 6</b>	<b>Día 7</b>	<b>Día 8</b>	<b>Día 9</b>
15:00	0	31,9	25,8	21,5	19,5	19,4	19	18,5	18,5	17,1
15:30	0,5	31,3	24,2	20,1	18,4	18,2	17,8	15,6	15,1	14,8
16:00	1	30,5	22,5	18,8	17,2	17,1	16,4	13,9	12,9	12,7
16:30	1,5	29,7	21,1	17,4	16,4	16,1	14,7	12,5	11,2	11
17:00	2	28,2	19,7	15,6	15,4	15,2	13	11,3	-	-
17:30	2,5	27,3	17,3	14	14,3	14,1	11,3	-	-	-
18:00	3	26,2	15,5	13,1	12,4	12,6	-	-	-	-
18:30	3,5	25,5	13,2	12,2	11,3	11,3	-	-	-	-

19:00	4	24,3	11,5	11,3	-	-	-	-	-	-
19:30	4,5	22,1	-	-	-	-	-	-	-	-
20:00	5	19,7	-	-	-	-	-	-	-	-
20:30	5,5	17,8	-	-	-	-	-	-	-	-
21:00	6	16	-	-	-	-	-	-	-	-
21:30	6,5	14,1	-	-	-	-	-	-	-	-
22:00	7	12,8	-	-	-	-	-	-	-	-
22:30	7,5	11,5	-	-	-	-	-	-	-	-

*Fuente: Autor.*

**Tabla 16.** Resultados de humedad del café del experimento 3, repetición 3; a  $T_{sec}=45^{\circ}C$  y  $Q_{aire}=0,00101 m^3/s$ .

<b>Experimento 3, repet. 3</b>										
<b>Hora</b>	<b>Tiempo de secado (h)</b>	<b>Resultado humedad de grano de café [%]</b>								
		<b>Día 1</b>	<b>Día 2</b>	<b>Día 3</b>	<b>Día 4</b>	<b>Día 5</b>	<b>Día 6</b>	<b>Día 7</b>	<b>Día 8</b>	<b>Día 9</b>
7:00	0	31,7	22,9	21,8	19,7	19,2	19	18,5	18,4	18
7:30	0,5	31,2	22,1	20,5	18,5	18,1	17,8	16,3	16,5	16,4
8:00	1	30,7	21,2	19,2	17,2	17,4	16,1	13,8	14,2	13,9
8:30	1,5	29,1	19,9	18,1	16,4	16,4	14,8	11,2	11,2	11,1
9:00	2	28,2	18,7	16,6	15,4	15,6	13,3	-	-	-
9:30	2,5	27,2	17,5	15,4	14,3	14,2	11,3	-	-	-
10:00	3	26,3	16,5	14,5	12,2	13,1	-	-	-	-
10:30	3,5	25,4	14,3	12,7	11,4	11,3	-	-	-	-
11:00	4	23,7	12,6	11,3	-	-	-	-	-	-
11:30	4,5	21,7	11,5	-	-	-	-	-	-	-
12:00	5	19,7	-	-	-	-	-	-	-	-
12:30	5,5	17,1	-	-	-	-	-	-	-	-
13:00	6	15,9	-	-	-	-	-	-	-	-
13:30	6,5	14,1	-	-	-	-	-	-	-	-
14:00	7	12,8	-	-	-	-	-	-	-	-
14:30	7,5	11,6	-	-	-	-	-	-	-	-

*Fuente: Autor.*

**Tabla 17.** Resultados de humedad del café del experimento 4, repetición 1; a  $T_{sec}=37^{\circ}C$  y  $Q_{aire}=0,00243 m^3/s$ .

<b>Experimento 4, repet. 1</b>										
Hora	Tiempo de secado (h)	Resultado humedad de grano de café [%]								
		Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8	Día 9
15:00	0	31,5	22,1	21,2	20	20,4	20,2	19,6	18,7	18,4
15:30	0,5	30,8	21,2	20,2	18,5	18,2	17,7	16,3	16,5	16,9
16:00	1	30,2	20,1	19,4	16,4	15,5	14,8	14,4	14,2	14,5
16:30	1,5	29,4	18,7	18,5	14,2	13,6	12,9	13,1	11,2	10,9
17:00	2	28,2	17,1	17,5	12,8	11,3	11,2	11,2	-	-
17:30	2,5	26,6	15,2	15,7	11,3	-	-	-	-	-
18:00	3	23,5	13,9	13,9	-	-	-	-	-	-
18:30	3,5	21,5	12,1	11,4	-	-	-	-	-	-
19:00	4	19,8	11,4	-	-	-	-	-	-	-
19:30	4,5	17,5	-	-	-	-	-	-	-	-
20:00	5	15,3	-	-	-	-	-	-	-	-
20:30	5,5	13,4	-	-	-	-	-	-	-	-
21:00	6	11,4	-	-	-	-	-	-	-	-

*Fuente: Autor.*

**Tabla 18.** Resultados de humedad del café del experimento 4, repetición 2; a  $T_{sec}=37^{\circ}C$  y  $Q_{aire}=0,00243 m^3/s$ .

<b>Experimento 4, repet. 2</b>										
Hora	Tiempo de secado (h)	Resultado humedad de grano de café [%]								
		Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8	Día 9
7:00	0	31,9	22,3	20,9	20,8	19	18,9	19,1	18,7	17,3
7:30	0,5	31,7	21,2	19,5	19,2	17,8	16,5	16,3	15,6	15,1
8:00	1	31,1	20,2	18,4	17,6	16,2	14,5	14,7	13,3	13,4
8:30	1,5	29,9	19,4	16,5	15,4	14,1	12,7	12,5	11,2	11,1
9:00	2	28,1	17,5	14,1	13,6	11,4	11,4	11,2	-	-
9:30	2,5	26,9	15,8	12,8	11,4	-	-	-	-	-
10:00	3	24,7	13,9	12	-	-	-	-	-	-
10:30	3,5	22,3	12,5	11,5	-	-	-	-	-	-

11:00	4	20,3	11,5	-	-	-	-	-	-	-
11:30	4,5	18,6	-	-	-	-	-	-	-	-
12:00	5	16,5	-	-	-	-	-	-	-	-
12:30	5,5	14,8	-	-	-	-	-	-	-	-
13:00	6	12,7	-	-	-	-	-	-	-	-
13:30	6,5	11,5	-	-	-	-	-	-	-	-

*Fuente: Autor.*

**Tabla 19.** Resultados de humedad del café del experimento 4, repetición 3; a  $T_{sec}=37^{\circ}C$  y  $Q_{aire}=0,00243 m^3/s$ .

<b>Experimento 4, repet. 3</b>										
<b>Hora</b>	<b>Tiempo de secado (h)</b>	<b>Resultado humedad de grano de café [%]</b>								
		<b>Día 1</b>	<b>Día 2</b>	<b>Día 3</b>	<b>Día 4</b>	<b>Día 5</b>	<b>Día 6</b>	<b>Día 7</b>	<b>Día 8</b>	<b>Día 9</b>
15:00	0	31,7	22,5	21,2	19,5	19,4	18,9	19	18,8	18,3
15:30	0,5	31,1	21,5	20,4	17,7	17,1	16,7	17,8	15,2	15,7
16:00	1	30,7	20,9	19,5	16,1	15	14,1	16,2	12,6	13,5
16:30	1,5	30,1	20,1	18,2	14,4	13,1	12,6	14	11,2	11
17:00	2	29,2	18,5	16,6	12,4	11,5	11,4	11,6	-	-
17:30	2,5	28,5	16,3	14,7	11,3	-	-	-	-	-
18:00	3	27,8	14,1	12,5	-	-	-	-	-	-
18:30	3,5	26,3	11,6	11,2	-	-	-	-	-	-
19:00	4	24,4	-	-	-	-	-	-	-	-
19:30	4,5	22,9	-	-	-	-	-	-	-	-
20:00	5	21,4	-	-	-	-	-	-	-	-
20:30	5,5	19,7	-	-	-	-	-	-	-	-
21:00	6	17,3	-	-	-	-	-	-	-	-
21:30	6,5	15,1	-	-	-	-	-	-	-	-
22:00	7	13,2	-	-	-	-	-	-	-	-
22:30	7,5	11,6	-	-	-	-	-	-	-	-

*Fuente: Autor.*

**Tabla 20.** Resultados de humedad del café del experimento 5, repetición 1; a  $T_{sec}=37^{\circ}C$  y  $Q_{aire}=0,00162 m^3/s$ .

<b>Experimento 5, repet. 1</b>											
Hora	Tiempo de secado (h)	Resultado humedad de grano de café [%]									
		Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8	Día 9	Día 10
7:00	0	31,5	21,9	21,1	20,6	19,9	19,6	19,5	19	18,5	18,1
7:30	0,5	30,8	20,5	20,5	19,5	17,5	16,3	17	16,8	16,1	16,5
8:00	1	30,1	19,4	19,6	18,6	14,8	14,5	15,2	15,4	13,9	14,7
8:30	1,5	29,5	18,4	18,1	16,5	12,7	13,8	14,4	14,2	11,2	11
9:00	2	27,9	17,5	16,5	14,2	11,2	11,3	11,3	11,2	-	-
9:30	2,5	25,5	15,6	14,9	12,5	-	-	-	-	-	-
10:00	3	23,8	13,1	12,7	11,4	-	-	-	-	-	-
10:30	3,5	22,2	11,4	11,2	-	-	-	-	-	-	-
11:00	4	19,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11:30	4,5	17,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12:00	5	15,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12:30	5,5	13,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13:00	6	11,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: Autor.

**Tabla 21.** Resultados de humedad del café del experimento 5, repetición 2; a  $T_{sec}=37^{\circ}C$  y  $Q_{aire}=0,00162 m^3/s$ .

<b>Experimento 5, repet. 2</b>											
Hora	Tiempo de secado (h)	Resultado humedad de grano de café [%]									
		Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8	Día 9	Día 10
15:00	0	31,4	21,8	21	19,5	19,2	20	19,5	19,4	19	17,2
15:30	0,5	31	20,4	20,1	18,1	17,5	17,5	17,2	17,1	17,2	15,6
16:00	1	30,8	19,3	19,5	17,5	15,6	15,2	15,6	14,9	15,2	13,4
16:30	1,5	30,3	18,2	17,4	16,7	13,2	13,7	13,5	12,8	12,7	10,9
17:00	2	29,1	17,5	15,7	14,6	11,5	11,6	11,4	11,2	11,2	-
17:30	2,5	27,4	15,2	13,9	12,5	-	-	-	-	-	-
18:00	3	25,5	13,3	12,5	11,5	-	-	-	-	-	-
18:30	3,5	23,8	11,6	11,5	-	-	-	-	-	-	-

19:00	4	21,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19:30	4,5	19,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20:00	5	17,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20:30	5,5	15,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21:00	6	13,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21:30	6,5	11,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-

*Fuente: Autor.*

**Tabla 22.** Resultados de humedad del café del experimento 5, repetición 3; a  $T_{sec}=37^{\circ}C$  y  $Q_{aire}=0,00162 m^3/s$ .

<b>Experimento 5, repet. 3</b>											
Hora	Tiempo de secado (h)	Resultado humedad de grano de café [%]									
		Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8	Día 9	Día 10
7:00	0	32,4	21,5	20,3	20	19,8	19,8	19,3	19,1	18,1	16,7
7:30	0,5	31,8	20,8	17,7	18,6	17,5	17,1	17,5	17,3	16,5	15,2
8:00	1	31	19,4	15,9	17,2	15,6	15,3	15,4	15,1	13,8	13,3
8:30	1,5	30,4	18,2	14,2	15,9	14,2	13,6	13,5	13,2	12,5	10,8
9:00	2	29,5	16,7	12,7	14,5	12,6	11,3	11,3	11,2	11,2	-
9:30	2,5	28	15,2	11,5	12,8	11,3	-	-	-	-	-
10:00	3	26,5	13,6	-	11,4	-	-	-	-	-	-
10:30	3,5	24,2	11,6	-	-	-	-	-	-	-	-
11:00	4	22,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11:30	4,5	20,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12:00	5	18,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12:30	5,5	16,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13:00	6	14,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13:30	6,5	13,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14:00	7	11,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-

*Fuente: Autor.*

**Tabla 23.** Resultados de humedad del café del experimento 6, repetición 1; a  $T_{sec}=37^{\circ}C$  y  $Q_{aire}=0,00101 m^3/s$ .

<b>Experimento 6, repet. 1</b>											
Hora	Tiempo de secado (h)	Resultado humedad de grano de café [%]									
		Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8	Día 9	Día 10
15:00	0	31,5	23,6	21,7	20,6	19,9	19,7	19,8	20,4	19,6	17,5
15:30	0,5	30,9	22	19,6	19,4	18,8	16,7	17,3	17,4	17,8	15,3
16:00	1	30,5	21,1	18,2	18,7	17,5	14,9	15,5	14,9	15,6	12,5
16:30	1,5	30,1	18,9	16,5	16,4	16,7	13,2	13,1	13,3	13,7	11
17:00	2	29,9	16,7	14,8	15	14,8	11,4	11,3	11,4	11,5	-
17:30	2,5	28,6	14,6	12,6	13,5	13,2	-	-	-	-	-
18:00	3	27,8	12,9	11,2	11,3	11,3	-	-	-	-	-
18:30	3,5	26,4	11,2	-	-	-	-	-	-	-	-
19:00	4	25,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19:30	4,5	24	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20:00	5	22,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20:30	5,5	20,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21:00	6	18,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21:30	6,5	16,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22:00	7	14,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22:30	7,5	12,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23:00	8	11,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: Autor.

**Tabla 24.** Resultados de humedad del café del experimento 6, repetición 2; a  $T_{sec}=37^{\circ}C$  y  $Q_{aire}=0,00101 m^3/s$ .

<b>Experimento 6, repet. 2</b>											
Hora	Tiempo de secado (h)	Resultado humedad de grano de café [%]									
		Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8	Día 9	Día 10
7:00	0	31,4	21,2	21	20,1	19,5	20	19,5	19,4	19	17,5
7:30	0,5	31,3	20	18,7	19,5	18,4	17,8	17,4	17,5	17,5	15,6
8:00	1	31	19,2	19,4	18,4	17,4	14,9	15,1	15,8	15,6	13,5



8:30	1,5	30,5	18,5	18,7	16,5	16,5	13,6	13,6	12,5	13,5	10,9
9:00	2	29,9	16,4	17,5	14,6	14,3	11,6	11,5	11,3	11,4	-
9:30	2,5	28,9	14,5	15,7	12,8	12,5	-	-	-	-	-
10:00	3	27,9	12,7	13,8	11,5	11,5	-	-	-	-	-
10:30	3,5	26,4	11,6	11,6	-	-	-	-	-	-	-
11:00	4	25,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11:30	4,5	24,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12:00	5	23,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12:30	5,5	21,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13:00	6	19,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13:30	6,5	17,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14:00	7	15,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14:30	7,5	13,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15:00	8	11,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-

*Fuente: Autor.*

**Tabla 25.** Resultados de humedad del café del experimento 6, repetición 3; a  $T_{sec}=37^{\circ}C$  y  $Q_{aire}=0,00101 m^3/s$ .

<b>Experimento 6, repet. 3</b>											
<b>Hora</b>	<b>Tiempo de secado (h)</b>	<b>Resultado humedad de grano de café [%]</b>									
		<b>Día 1</b>	<b>Día 2</b>	<b>Día 3</b>	<b>Día 4</b>	<b>Día 5</b>	<b>Día 6</b>	<b>Día 7</b>	<b>Día 8</b>	<b>Día 9</b>	<b>Día 10</b>
15:00	0	32,4	23,4	20,3	20	19,9	19,8	19,7	19,7	19,3	17,3
15:30	0,5	31,9	22,1	19,4	18,5	18,4	18,5	17,6	17,8	17,8	15,5
16:00	1	31,3	21,5	18,5	17,4	17,2	16,1	15,5	15,9	15,5	13,6
16:30	1,5	30,6	19,7	17,7	16,5	15,4	14,1	13,6	13,7	13,7	11,2
17:00	2	29,8	17,9	16,6	14,7	13,5	12,4	11,4	11,4	11,3	-
17:30	2,5	28,8	15,5	14,4	13,1	11,4	11,4	-	-	-	-
18:00	3	27,8	13,7	12,9	11,5	-	-	-	-	-	-
18:30	3,5	26,7	11,7	11,6	-	-	-	-	-	-	-
19:00	4	25,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19:30	4,5	24,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20:00	5	23,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20:30	5,5	21,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21:00	6	20,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21:30	6,5	18,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-

22:00	7	16,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22:30	7,5	14,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23:00	8	13,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23:30	8,5	11,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: Autor.

Tabla 26. Resultados de humedad del café del experimento 7, repetición 1; a  $T_{sec}=30^{\circ}C$  y  $Q_{aire}=0,00243 m^3/s$ .

Experimento 7, repet. 1											
Hora	Tiempo de secado (h)	Resultado humedad de grano de café [%]									
		Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8	Día 9	Día 10
7:00	0	31,9	23,5	21,6	21,2	20,5	19,2	19,4	18,9	18,5	17,5
7:30	0,5	31,7	22,6	20,2	19,7	19,2	18,2	18,6	17,1	17,2	16,1
8:00	1	31,5	21,2	19,7	18,5	17,7	17,1	17,5	15,8	16,4	14,8
8:30	1,5	31,4	19,8	18,5	17,2	16,5	15,9	16,6	14,5	15,2	13,3
9:00	2	31	18,9	17,6	16,1	15,4	14,2	14,8	13,6	14	12,2
9:30	2,5	30,4	17,7	16,4	15,1	14,2	13,2	13,4	12,7	12,7	10,8
10:00	3	29,8	16,5	15,5	13,7	13,2	12,1	12,5	11,4	11,3	-
10:30	3,5	28,3	15,6	13,8	12,4	12,5	11,4	11,4	-	-	-
11:00	4	27,2	14,7	12,8	11,5	11,5	-	-	-	-	-
11:30	4,5	25,9	13,5	11,6	-	-	-	-	-	-	-
12:00	5	24,3	12,7	-	-	-	-	-	-	-	-
12:30	5,5	23	11,7	-	-	-	-	-	-	-	-
13:00	6	22,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13:30	6,5	21,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14:00	7	20,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14:30	7,5	19,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15:00	8	17,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15:30	8,5	15,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16:00	9	14,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16:30	9,5	12,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17:00	10	11,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: Autor.

**Tabla 27.** Resultados de humedad del café del experimento 7, repetición 2; a  $T_{sec}=30^{\circ}C$  y  $Q_{aire}=0,00243\ m^3/s$ .

<b>Experimento 7, repet. 2</b>											
<b>Hora</b>	<b>Tiempo de secado (h)</b>	<b>Resultado humedad de grano de café [%]</b>									
		<b>Día 1</b>	<b>Día 2</b>	<b>Día 3</b>	<b>Día 4</b>	<b>Día 5</b>	<b>Día 6</b>	<b>Día 7</b>	<b>Día 8</b>	<b>Día 9</b>	<b>Día 10</b>
15:00	0	31,9	23,5	21,8	21,2	20,7	19,4	19,1	18,8	18	17,6
15:30	0,5	31,8	22,4	20,6	19,8	19,3	18,6	18,5	17,6	16,8	15,8
16:00	1	31,7	21,1	19,8	18,6	17,9	17,4	17,6	16,7	15,6	14,2
16:30	1,5	31,6	19,8	18,7	17,4	16,6	15,9	16,5	15,4	14,5	13,1
17:00	2	31	18,9	17,6	16,2	15,8	14,5	15,4	14,6	13,2	12,5
17:30	2,5	30,4	17,6	16,5	15,3	14,2	13,2	14,1	13,5	12,5	10,8
18:00	3	29,5	16,1	15,5	13,9	13,3	12,6	12,8	12,6	11,3	-
18:30	3,5	28,2	15,3	13,9	12,5	12,6	11,5	11,5	11,5	-	-
19:00	4	27,1	14,7	12,7	11,5	11,5	-	-	-	-	-
19:30	4,5	25,9	13,5	11,6	-	-	-	-	-	-	-
20:00	5	24,2	12,6	-	-	-	-	-	-	-	-
20:30	5,5	23	11,7	-	-	-	-	-	-	-	-
21:00	6	22,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21:30	6,5	21,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22:00	7	20,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22:30	7,5	19,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23:00	8	17,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23:30	8,5	15,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0:00	9	14,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0:30	9,5	12,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1:00	10	11,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-

*Fuente: Autor.*

**Tabla 28.** Resultados de humedad del café del experimento 7, repetición 3; a  $T_{sec}=30^{\circ}C$  y  $Q_{aire}=0,00243 m^3/s$ .

<b>Experimento 7, repet. 3</b>											
<b>Hora</b>	<b>Tiempo de secado (h)</b>	<b>Resultado humedad de grano de café [%]</b>									
		<b>Día 1</b>	<b>Día 2</b>	<b>Día 3</b>	<b>Día 4</b>	<b>Día 5</b>	<b>Día 6</b>	<b>Día 7</b>	<b>Día 8</b>	<b>Día 9</b>	<b>Día 10</b>
7:00	0	32,1	22,5	22	20,4	20,2	20	19,7	19	18,5	17,2
7:30	0,5	31,8	20,8	20,8	19,5	19,1	19,2	17,9	17,8	17,6	15,6
8:00	1	31,6	19,3	19,6	18,7	17,8	18,2	16,7	16,5	16,2	14,3
8:30	1,5	31,4	18,5	18,3	17,6	16,4	17,5	15,3	15,4	14,8	13,8
9:00	2	30,9	17,2	17,5	16,5	15,4	16,4	14,2	14,2	13,2	12,5
9:30	2,5	30,6	16,5	16,6	15,7	14,6	15,4	13,3	13,1	12,3	10,9
10:00	3	29,7	15,2	15,6	14,6	13,7	14,3	12,4	12,3	11,2	-
10:30	3,5	28,9	14,5	14,8	13,5	12,4	12,6	11,4	11,2	-	-
11:00	4	27,4	13,5	13,2	12,7	11,4	11,4	-	-	-	-
11:30	4,5	25,9	12,6	12,6	11,5	-	-	-	-	-	-
12:00	5	24,8	11,7	11,5	-	-	-	-	-	-	-
12:30	5,5	24,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13:00	6	23,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13:30	6,5	22,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14:00	7	21,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14:30	7,5	20,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15:00	8	19,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15:30	8,5	17,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16:00	9	15,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16:30	9,5	13,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17:00	10	11,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-

*Fuente: Autor.*

**Tabla 29.** Resultados de humedad del café del experimento 8, repetición 1; a  $T_{sec}=30^{\circ}C$  y  $Q_{aire}=0,00162 m^3/s$ .

<b>Experimento 8, repet. 1</b>												
<b>Hora</b>	<b>Tiempo de secado (h)</b>	<b>Resultado humedad de grano de café [%]</b>										
		<b>Día 1</b>	<b>Día 2</b>	<b>Día 3</b>	<b>Día 4</b>	<b>Día 5</b>	<b>Día 6</b>	<b>Día 7</b>	<b>Día 8</b>	<b>Día 9</b>	<b>Día 10</b>	<b>Día 11</b>
15:00	0	31,9	24,2	21,9	21,3	21,4	20,8	20,5	20,1	19,5	18,3	17,5
15:30	0,5	31,8	23,5	20,5	20,6	19,9	19,6	19,5	19,1	18,6	17,2	16,2
16:00	1	31,7	22,7	19,9	19,2	18,7	18,7	18,6	17,8	17,5	16,1	15,6
16:30	1,5	31,4	21,6	18,1	18,3	17,5	17,6	17,5	16,7	16,7	15,5	14,5
17:00	2	31,1	20,5	17,6	17,6	16,7	16,5	16,4	15,7	15,3	14,5	13,5
17:30	2,5	30,7	19,4	16,5	16,5	15,5	15,5	15,6	14,3	14,5	13,4	12,3
18:00	3	29,8	18,7	15,1	15,8	14,6	14,6	14,5	13,5	12,6	12,6	11,1
18:30	3,5	28,7	17,1	14	14,7	13,4	13,4	13,6	12,5	11,4	11,2	-
19:00	4	27,6	16,3	13,1	13,9	12,4	12,6	12,5	11,4	-	-	-
19:30	4,5	26,5	15,8	12,5	12,5	11,5	11,5	11,4	-	-	-	-
20:00	5	25,8	14,5	11,7	11,6	-	-	-	-	-	-	-
20:30	5,5	24,9	13,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21:00	6	24	12,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21:30	6,5	23,4	11,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22:00	7	22,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22:30	7,5	21,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23:00	8	20,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23:30	8,5	19,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0:00	9	18,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0:30	9,5	17,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1:00	10	16,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1:30	10,5	15,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2:00	11	13,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2:30	11,5	11,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

*Fuente: Autor.*

**Tabla 30.** Resultados de humedad del café del experimento 8, repetición 2; a  $T_{sec}=30^{\circ}C$  y  $Q_{aire}=0,00162 m^3/s$ .

<b>Experimento 8, repet. 2</b>												
<b>Hora</b>	<b>Tiempo de secado (h)</b>	<b>Resultado humedad de grano de café [%]</b>										
		<b>Día 1</b>	<b>Día 2</b>	<b>Día 3</b>	<b>Día 4</b>	<b>Día 5</b>	<b>Día 6</b>	<b>Día 7</b>	<b>Día 8</b>	<b>Día 9</b>	<b>Día 10</b>	<b>Día 11</b>
7:00	0	32,1	22,6	22,1	20,7	20,5	20,5	20,4	20,1	18,8	18	17,2
7:30	0,5	32	21,4	21,3	19,4	19,4	19,4	19,4	19,2	17,5	17,2	16,1
8:00	1	31,8	20,9	19,7	18,8	18,7	18,1	18,4	17,7	16	16,3	15,1
8:30	1,5	31,7	19,7	18,5	17,7	17,6	16,8	17,5	16,8	15,6	15,6	14,5
9:00	2	31,4	18,3	17,8	16,7	16,4	15,4	16,5	15,6	14,7	14,5	13,4
9:30	2,5	31	17,5	16,1	15,6	15,5	14,6	15,4	14,3	13,5	13,5	12,1
10:00	3	30,6	16,5	15,4	14,5	14,6	13,5	14,5	13,5	12,2	12,2	11,1
10:30	3,5	29,5	15,4	14,6	13,4	13,5	12,7	13,5	12,4	11,3	11,2	-
11:00	4	28,6	14,6	13,5	12,8	12,7	11,5	12,4	11,4	-	-	-
11:30	4,5	27,5	13,4	12,8	11,6	11,5	-	11,4	-	-	-	-
12:00	5	26,5	12,2	11,6	-	-	-	-	-	-	-	-
12:30	5,5	25,2	11,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13:00	6	24,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13:30	6,5	23,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14:00	7	22,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14:30	7,5	21,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15:00	8	20,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15:30	8,5	19,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16:00	9	18,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16:30	9,5	17,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17:00	10	15,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17:30	10,5	14,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18:00	11	13,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18:30	11,5	11,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

*Fuente: Autor.*

**Tabla 31.** Resultados de humedad del café del experimento 8, repetición 3; a  $T_{sec}=30^{\circ}C$  y  $Q_{aire}=0,00162 m^3/s$ .

<b>Experimento 8, repet. 3</b>												
<b>Hora</b>	<b>Tiempo de secado (h)</b>	<b>Resultado humedad de grano de café [%]</b>										
		<b>Día 1</b>	<b>Día 2</b>	<b>Día 3</b>	<b>Día 4</b>	<b>Día 5</b>	<b>Día 6</b>	<b>Día 7</b>	<b>Día 8</b>	<b>Día 9</b>	<b>Día 10</b>	<b>Día 11</b>
15:00	0	32,2	24,1	21,5	21,1	20,9	20,7	20,5	20	19,4	18,1	17
15:30	0,5	32	23,2	20,4	20,3	19,7	18,9	19,5	19,1	18,5	17,2	16,2
16:00	1	31,7	22,2	19,7	19,5	18,5	17,5	18,7	17,9	17,4	16,5	15,1
16:30	1,5	31,4	20,8	18,6	18,4	17,6	16,3	17,5	16,7	16,6	15,7	14,2
17:00	2	31,2	18,9	17,6	17,4	16,5	15,7	16,4	15,6	15,4	14,3	13,2
17:30	2,5	31	17,5	16,4	16,6	15,8	14,3	15,5	14,3	14,5	13,2	12,1
18:00	3	30,6	16,4	15,5	15,5	14,7	13,5	14,3	13,4	12,7	12,1	11
18:30	3,5	30,3	15,5	14,5	14,3	13,5	12,4	13,4	12,5	11,3	11,2	-
19:00	4	29,5	14,6	13,7	13,4	12,6	11,4	12,4	11,4	-	-	-
19:30	4,5	28,4	13,7	12,6	12,5	11,5	-	11,4	-	-	-	-
20:00	5	27,8	12,5	11,6	11,6	-	-	-	-	-	-	-
20:30	5,5	26,9	11,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21:00	6	25,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21:30	6,5	24,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22:00	7	23,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22:30	7,5	22,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23:00	8	21,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23:30	8,5	20,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0:00	9	19,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0:30	9,5	18,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1:00	10	17,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1:30	10,5	16,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2:00	11	15,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2:30	11,5	14,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3:00	12	13,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3:30	12,5	12,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4:00	13	11,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

*Fuente: Autor.*

**Tabla 32.** Resultados de humedad del café del experimento 9, repetición 1; a  $T_{sec}=30^{\circ}C$  y  $Q_{aire}=0,00101 m^3/s$ .

<b>Experimento 9, repet. 1</b>												
Hora	Tiempo de secado (h)	Resultado humedad de grano de café [%]										
		Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8	Día 9	Día 10	Día 11
7:00	0	32,2	25,3	23,5	21,1	20,9	20,5	20,1	19,5	19	18,2	17,2
7:30	0,5	32,1	24,3	22,4	20,2	20,2	19,5	18,9	18,4	17,8	16,8	16,1
8:00	1	31,8	23,2	21,6	19,5	19,2	18,7	17,5	17,2	16,5	15,4	14,9
8:30	1,5	31,6	22,5	20,6	18,9	18,3	17,4	16,5	15,9	15,4	14,3	13,5
9:00	2	31,4	21,7	19,8	17,7	17,5	16,5	15,6	14,5	14,2	13,6	12,4
9:30	2,5	31,1	20,6	18,1	16,7	16,8	15,3	14,5	13,2	13,5	12,3	11,2
10:00	3	30,8	19,4	17,2	15,5	15,4	14,4	13,3	12,5	12,3	11,2	-
10:30	3,5	30,6	18,4	16,5	14,6	14,3	13,5	12,4	11,4	11,3	-	-
11:00	4	30,3	17,9	15,4	13,6	13,5	12,5	11,4	-	-	-	-
11:30	4,5	29,9	16,7	14,6	12,7	12,6	11,4	-	-	-	-	-
12:00	5	29,1	15,6	13,4	11,6	11,5	-	-	-	-	-	-
12:30	5,5	28,6	14,3	12,5	-	-	-	-	-	-	-	-
13:00	6	27,4	13,5	11,6	-	-	-	-	-	-	-	-
13:30	6,5	26,2	12,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14:00	7	25,7	11,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14:30	7,5	24,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15:00	8	23,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15:30	8,5	22,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16:00	9	21,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16:30	9,5	20,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17:00	10	19,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17:30	10,5	18,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18:00	11	17,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18:30	11,5	16,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19:00	12	15,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19:30	12,5	14,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20:00	13	13,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20:30	13,5	12,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21:00	14	11,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: Autor.



**Tabla 33.** Resultados de humedad del café del experimento 9, repetición 2; a  $T_{sec}=30^{\circ}C$  y  $Q_{aire}=0,00101 m^3/s$ .

<b>Experimento 9, repet. 2</b>												
<b>Hora</b>	<b>Tiempo de secado (h)</b>	<b>Resultado humedad de grano de café [%]</b>										
		<b>Día 1</b>	<b>Día 2</b>	<b>Día 3</b>	<b>Día 4</b>	<b>Día 5</b>	<b>Día 6</b>	<b>Día 7</b>	<b>Día 8</b>	<b>Día 9</b>	<b>Día 10</b>	<b>Día 11</b>
15:00	0	32,1	25,6	24,2	22,5	21,5	20,5	20,2	19,6	18,8	18,1	17,3
15:30	0,5	31,8	24,5	23,5	21,2	20,6	19,4	19,1	18,5	17,6	16,8	16,3
16:00	1	31,6	23,5	22,7	20,2	19,5	18,6	17,8	17,3	16,4	15,3	15
16:30	1,5	31,3	22,4	21,4	18,8	18,3	17,5	16,5	15,9	15,4	14,3	13,4
17:00	2	30,8	21,5	20,2	17,6	17,5	16,2	15,5	14,4	14,2	13,5	12,3
17:30	2,5	30,6	20,5	19,3	16,5	16,7	15,4	14,4	13,3	13,3	12,2	11
18:00	3	30,2	19,6	18,6	15,4	15,5	14,5	13,5	12,4	12,2	11,2	-
18:30	3,5	29,8	18,7	17,4	14,6	14,4	13,4	12,5	11,4	11,3	-	-
19:00	4	28,7	17,6	16,3	13,5	13,6	12,3	11,4	-	-	-	-
19:30	4,5	27,6	16,4	15,4	12,7	12,5	11,5	-	-	-	-	-
20:00	5	26,7	15,4	14,2	11,6	11,5	-	-	-	-	-	-
20:30	5,5	25,6	14,5	12,9	-	-	-	-	-	-	-	-
21:00	6	24,4	13,6	11,6	-	-	-	-	-	-	-	-
21:30	6,5	23,5	12,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22:00	7	22,6	11,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22:30	7,5	21,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23:00	8	20,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23:30	8,5	19,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0:00	9	18,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0:30	9,5	17,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1:00	10	16,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1:30	10,5	15,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2:00	11	14,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2:30	11,5	13,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3:00	12	12,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3:30	12,5	11,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

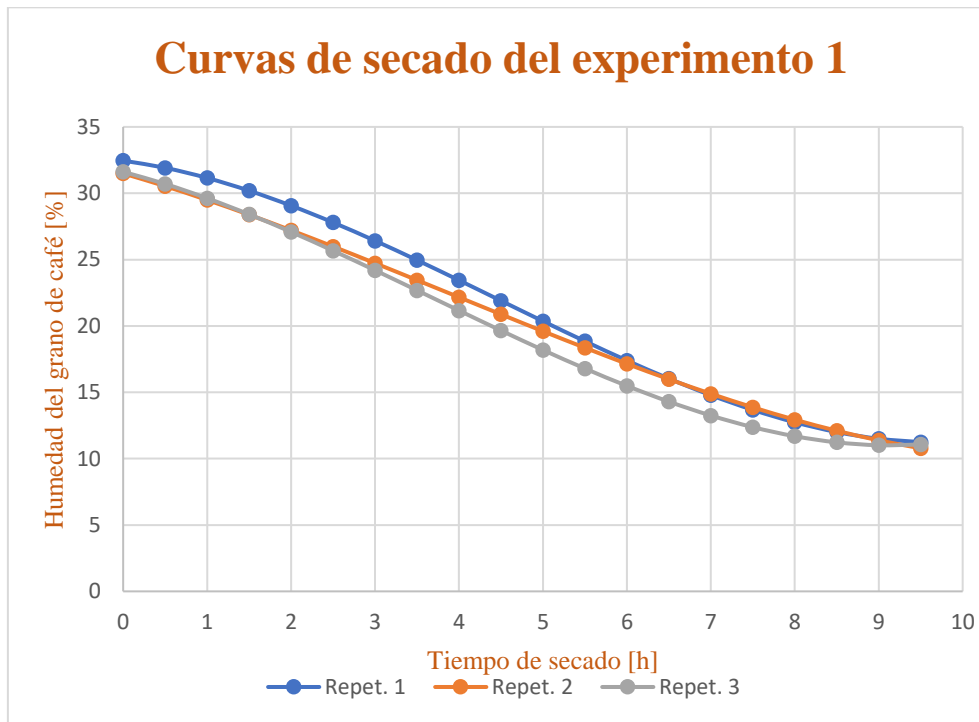
*Fuente: Autor.*

**Tabla 34.** Resultados de humedad del café del experimento 9, repetición 3; a  $T_{sec}=30^{\circ}C$  y  $Q_{aire}=0,00101 m^3/s$ .

<b>Experimento 9, repet. 3</b>												
<b>Hora</b>	<b>Tiempo de secado (h)</b>	<b>Resultado humedad de grano de café [%]</b>										
		<b>Día 1</b>	<b>Día 2</b>	<b>Día 3</b>	<b>Día 4</b>	<b>Día 5</b>	<b>Día 6</b>	<b>Día 7</b>	<b>Día 8</b>	<b>Día 9</b>	<b>Día 10</b>	<b>Día 11</b>
7:00	0	32,1	25,4	23,1	21,7	20,5	20,5	20	19,5	18,8	18,3	17,1
7:30	0,5	31,9	24,3	22,3	20,6	19,3	19,6	18,8	18,5	17,8	16,9	15,8
8:00	1	31,7	23,2	21,7	19,3	18,6	18,7	17,5	17,3	16,5	15,5	14,5
8:30	1,5	31,3	21,7	20,4	18,5	17,4	17,5	16,5	15,8	15,5	14,2	13,3
9:00	2	30,9	19,5	19,5	17,4	16,5	16,6	15,5	14,5	14,4	13,4	12,1
9:30	2,5	30,5	18,4	18,7	16,5	15,3	15,4	14,6	13,3	13,6	12,2	11,1
10:00	3	30,3	17,6	17,6	15,4	14,5	14,4	13,4	12,5	12,3	11,2	-
10:30	3,5	29,7	16,5	16,5	14,6	13,6	13,5	12,5	11,3	11,3	-	-
11:00	4	28,5	15,4	15,4	13,5	12,5	12,6	11,4	-	-	-	-
11:30	4,5	27,5	14,5	14,6	12,8	11,5	11,4	-	-	-	-	-
12:00	5	26,6	13,7	13,5	11,6	-	-	-	-	-	-	-
12:30	5,5	25,8	12,6	12,6	-	-	-	-	-	-	-	-
13:00	6	24,7	11,7	11,6	-	-	-	-	-	-	-	-
13:30	6,5	23,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14:00	7	22,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14:30	7,5	21,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15:00	8	20,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15:30	8,5	19,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16:00	9	18,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16:30	9,5	17,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17:00	10	16,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17:30	10,5	15,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18:00	11	14,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18:30	11,5	13,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19:00	12	12,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19:30	12,5	11,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

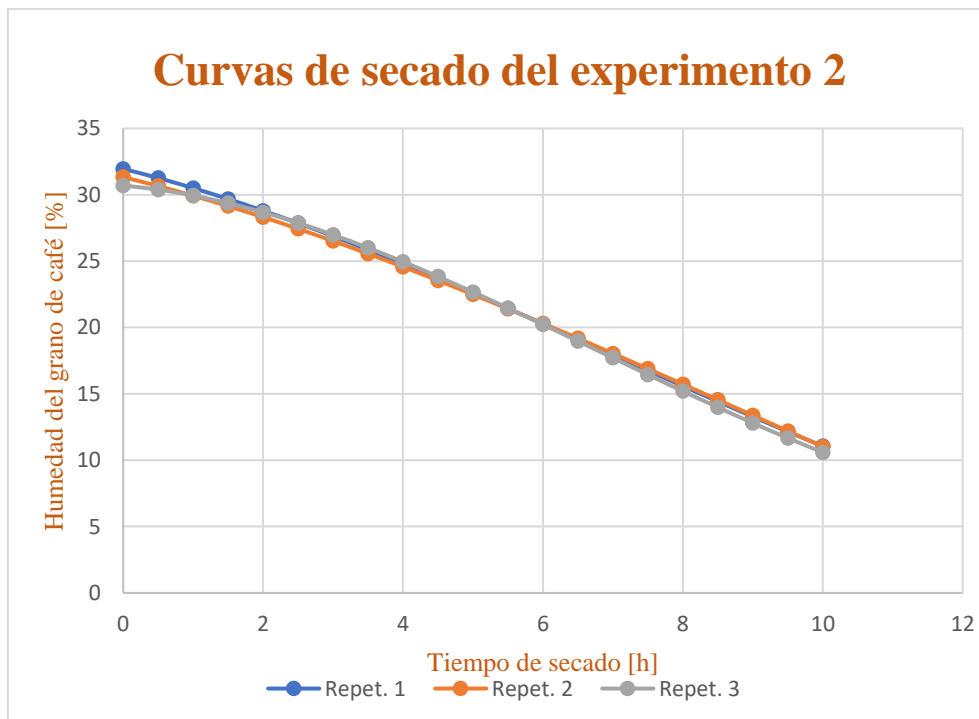
*Fuente: Autor.*

**Anexo 4. Curvas de secado de cada repetición de los experimentos.**



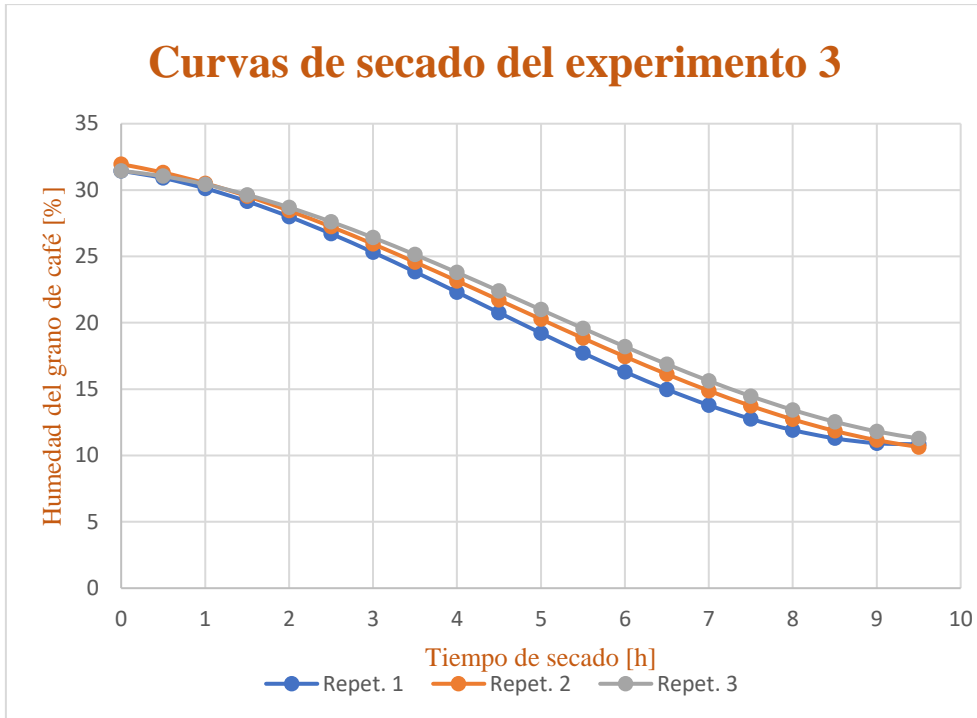
**Figura 49.** Curvas de secado del experimento 1, a  $T_{sec}=45^{\circ}C$  y  $Q_{aire}=0,00243\ m^3/s$ .

*Fuente: Autor.*



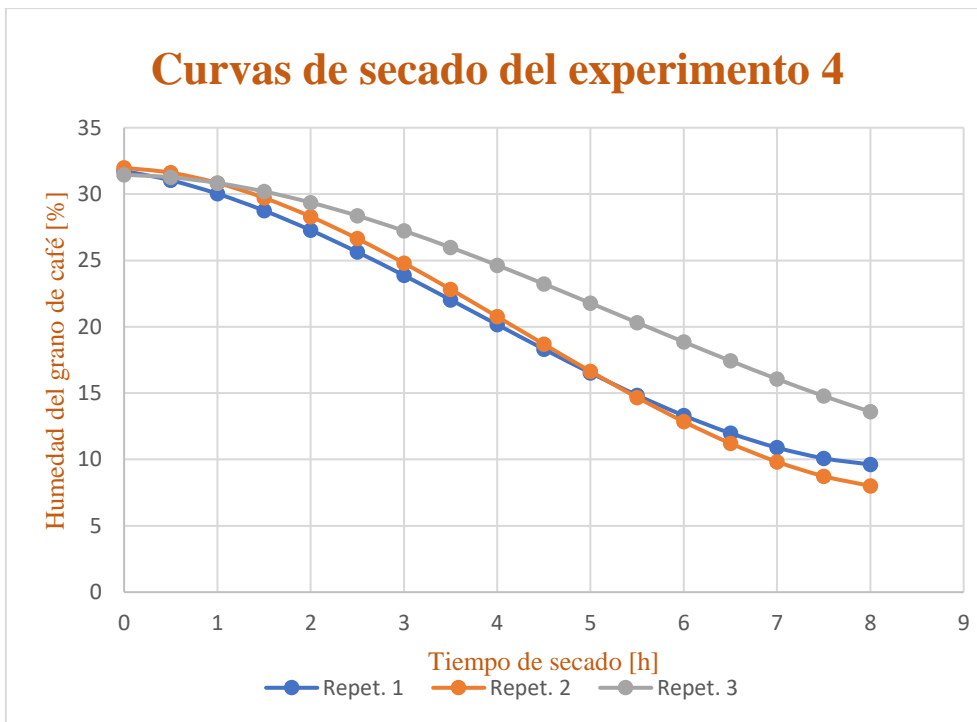
**Figura 50.** Curvas de secado del experimento 2, a  $T_{sec}=45^{\circ}C$  y  $Q_{aire}=0,00162\ m^3/s$ .

*Fuente: Autor.*



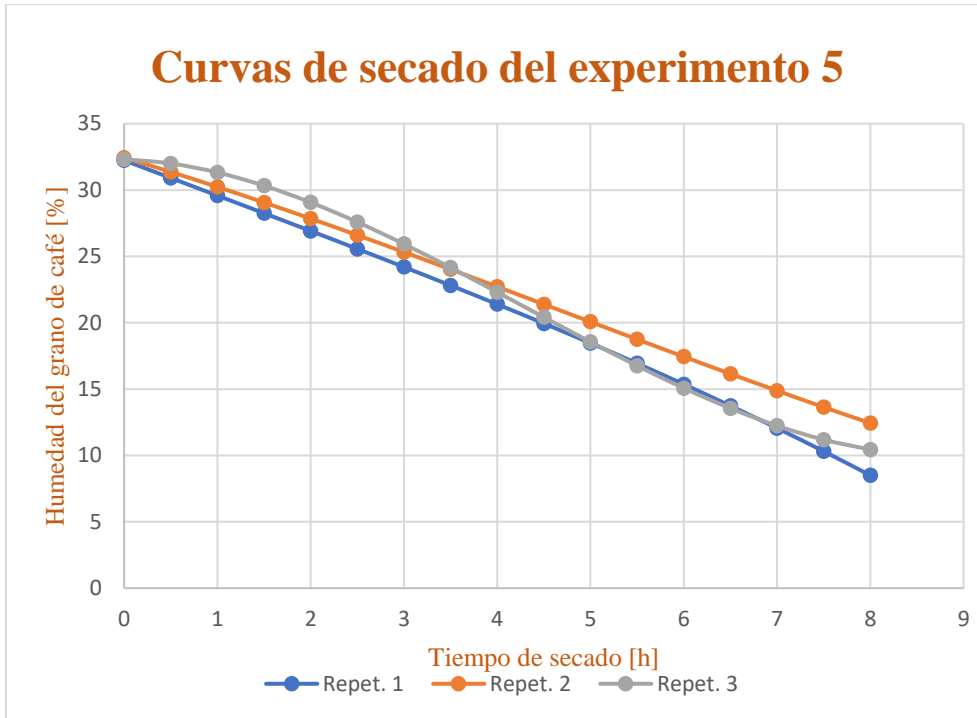
**Figura 51.** Curvas de secado del experimento 3, a  $T_{sec}=45^{\circ}C$  y  $Q_{aire}=0,00101\ m^3/s$ .

*Fuente: Autor.*



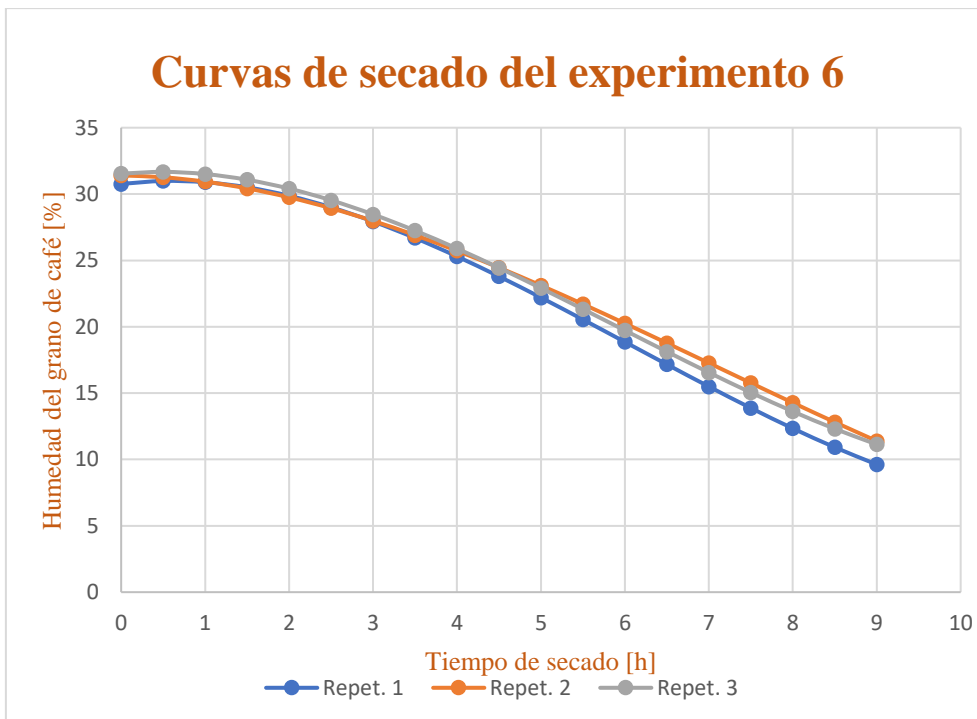
**Figura 52.** Curvas de secado del experimento 4, a  $T_{sec}=37^{\circ}C$  y  $Q_{aire}=0,00243\ m^3/s$ .

*Fuente: Autor.*



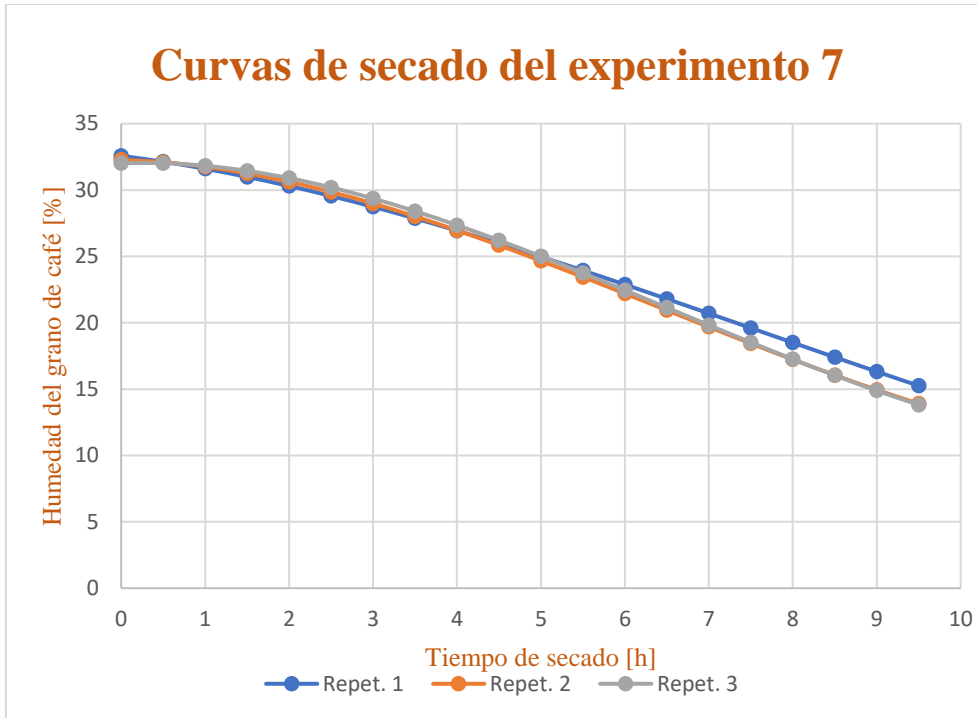
**Figura 53.** Curvas de secado del experimento 5, a  $T_{sec}=37^{\circ}C$  y  $Q_{aire}=0,00162\ m^3/s$ .

*Fuente: Autor.*



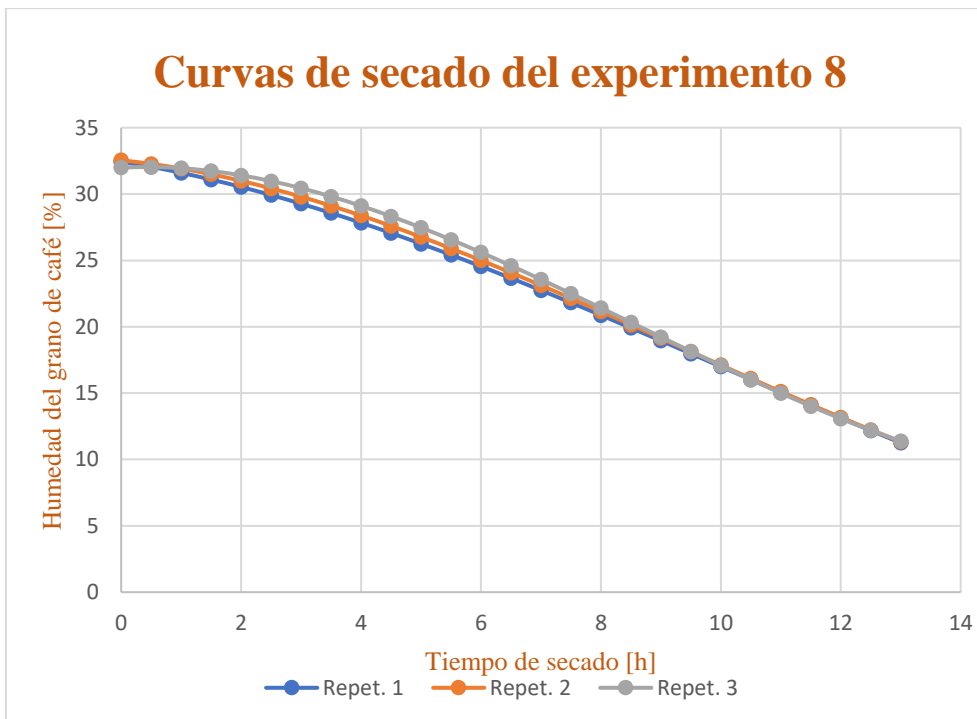
**Figura 54.** Curvas de secado del experimento 6, a  $T_{sec}=37^{\circ}C$  y  $Q_{aire}=0,00101\ m^3/s$ .

*Fuente: Autor.*



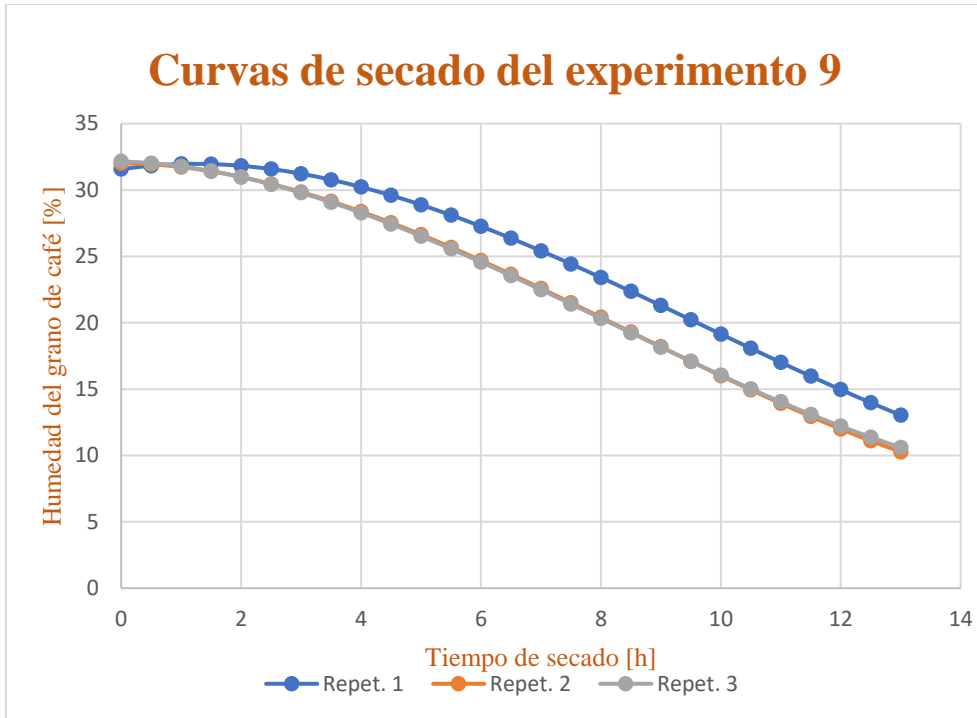
**Figura 55.** Curvas de secado del experimento 7, a  $T_{sec}=30^{\circ}C$  y  $Q_{aire}=0,00243\ m^3/s$ .

*Fuente: Autor.*



**Figura 56.** Curvas de secado del experimento 8, a  $T_{sec}=30^{\circ}C$  y  $Q_{aire}=0,00162\ m^3/s$ .

*Fuente: Autor.*

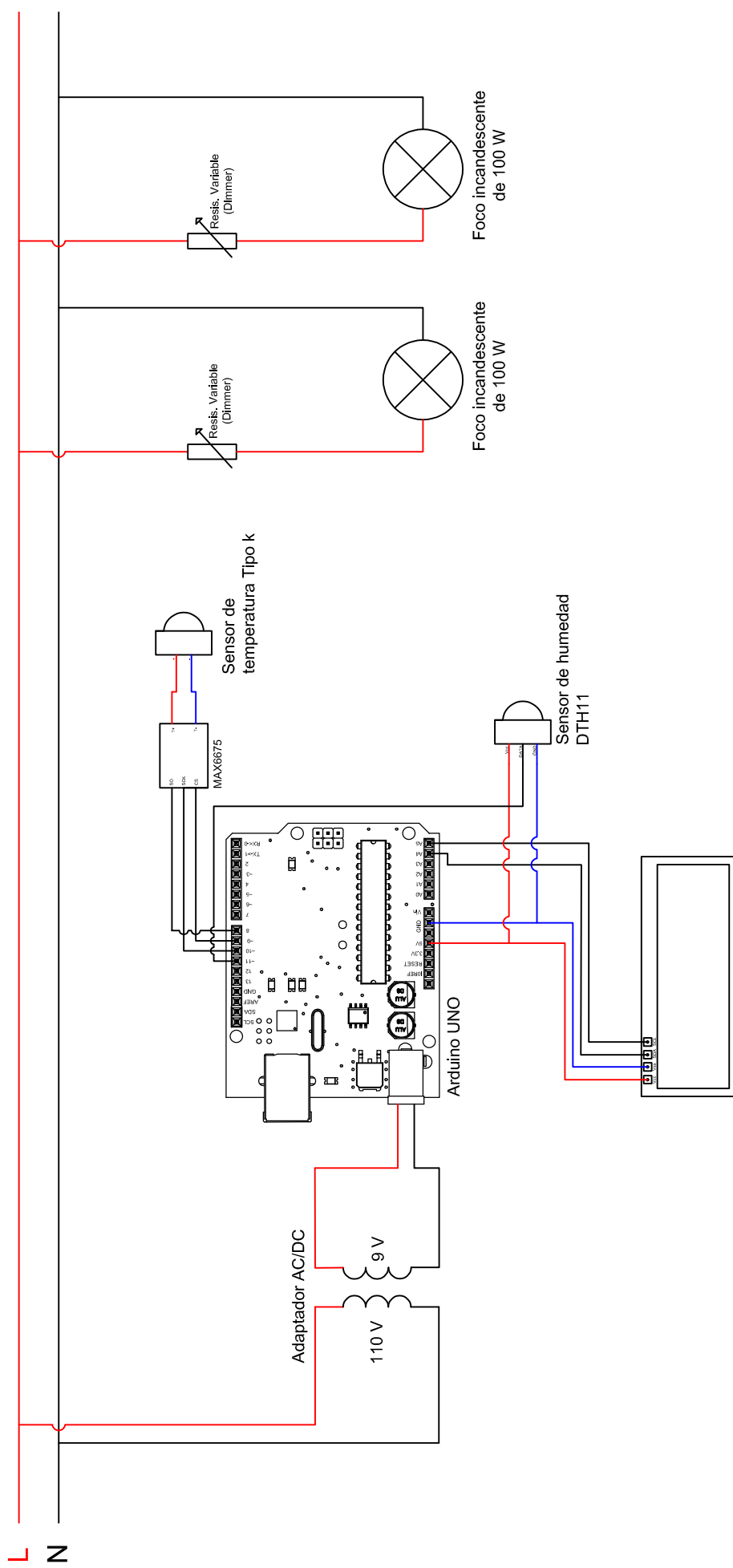


**Figura 57.** Curvas de secado del experimento 9, a  $T_{sec}=30^{\circ}C$  y  $Q_{aire}=0,00101\ m^3/s$ .

**Fuente:** Autor.

**Anexo 5. Diagrama multifilar del circuito eléctrico utilizado en las cajas experimentales.**





ITEMS		NOMBRE	FECHA	FIRMAS	
DIBUJÓ:	Roberto Maldonado		30/08/2023		
REVISÓ:	Ing. Darwin Tapia Ing. Byron Solórzano Ing. Raul Chávez		31/08/2023		
PROYECTO:	Trabajo de titulación		ESCALA: N/D		
NOMBRE DEL PROYECTO:					
<b>Diagrama Multifilar del circuito eléctrico de las cajas experimentales</b>					

CARRERA DE INGENIERIA ELECTROMECANICA  
**CIEM**



UBICACIÓN: LOJA  
LÁMINA N°: 1  
HOJA: 1 DE: 1

## **Anexo 6. Certificado de traducción.**

Loja, 18 de agosto de 2023

### **Licenciada**

Yulisa Liset Manzanares Ordóñez

**DOCENTE DE LENGUAS**

**EXTRANJERAS**

En mi calidad de Licenciada en Pedagogía de Idioma Inglés con capacidades que pueden ser probadas a través de la certificación de conocimiento del inglés, nivel B2, herealizado la traducción del resumen del trabajo de titulación denominado: **“Diseño Experimental para Obtención del Perfil de Secado del Café”** perteneciente al señor estudiante **Roberto Sebastián Maldonado Granda** con C.I. **1105552580**

Es cuanto puedo certificar en honor a la verdad, facultando al interesado, señor estudiante **Roberto Sebastián Maldonado Granda**, hacer uso legal del presente segúnestime conveniente.

Atentamente,



---

**Lic. Yulisa Manzanares Ordóñez**  
**Docente de lenguas extranjeras**  
**Nro registro Senecyt 1031-2022-2421776**