



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

“Estimación del tiempo de secado de fresas (*Fragaria sp*) del cantón Guano  
utilizando redes neuronales artificiales”

Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniera Industrial

**Autor:**

Duque Enriquez, Samantha Daniela

**Tutor:**

Msc. Manolo Alexander Córdova Suárez.

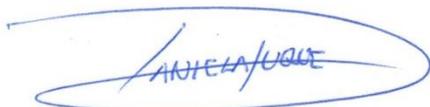
**Riobamba, Ecuador. 2024**

## DECLARATORIA DE AUTORÍA

Yo, Samantha Daniela Duque Enriquez, con cédula de ciudadanía 0604852525, autor del trabajo de investigación titulado: Estimación del tiempo de secado de fresas (*Fragaria sp*) del cantón Guano utilizando redes neuronales artificiales, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor (a) de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 17 de octubre de 2024.



---

Samantha Daniela Duque Enriquez

C.I: 0604852525

## DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR

Quien suscribe, Manolo Alexander Córdova Suárez, catedrático adscrito a la Facultad de Ingeniería, por medio del presente documento certifico haber asesorado y revisado el desarrollo del trabajo de investigación titulado: Estimación del tiempo de secado de fresas (*Fragaria sp*) del cantón Guano utilizando redes neuronales artificiales, bajo la autoría de Samantha Daniela Duque Enriquez; por lo que se autoriza ejecutar los trámites legales para su sustentación.

Es todo cuanto informar en honor a la verdad; en Riobamba, a los 17 días del mes de octubre de 2024



---

Msc. Manolo Alexander Córdova Suárez

C.I: 1802842508

## CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación Estimación del tiempo de secado de fresas (*Fragaria sp*) del cantón Guano utilizando redes neuronales artificiales por Samantha Daniela Duque Enriquez, con cédula de identidad número 0604852525, bajo la tutoría de Mg. Manolo Alexander Córdova Suárez; certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba, a los 17 días del mes de octubre de 2024.

Ph.D. Fidel Ernesto Vallejo Gallardo.  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO**



---

Ph.D. Mario Vicente Cabrera Vallejo.  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO**



---

Mgs. Luís Stalin López Telenchana.  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO**



---



## CERTIFICACIÓN

Que, Samantha Daniela Duque Enriquez con CC: 060485252-5, estudiante de la Carrera Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado **“Estimación del tiempo de secado de fresas (*Fragaria sp*) del cantón Guano utilizando redes neuronales artificiales”**, cumple con el 6%, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio TURNITIN, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente, autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 09 de octubre de 2024



firmado electrónicamente por:  
MANOLO ALEXANDER  
CORDOVA SUAREZ

---

Ing. Manolo Alexander Córdova Suárez, MsC.  
**TUTOR DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

## **DEDICATORIA**

Para mis padres, Mary y Miguel, quienes nunca han dejado de creer en mí. Son mi mayor ejemplo a seguir y la razón por la que siempre quise ser ingeniera. Más que dedicarles esta investigación, sepan que todo lo hago pensando en ustedes, todos mis logros siempre han sido suyos.

A mi familia, por cada palabra de aliento y por estar presentes en cada momento de mi vida. Especialmente a mis abuelitos, por sus consejos y por ser mi mayor inspiración. Ustedes siempre han querido verme llegar a lo más alto y hoy estoy más cerca.

A mi novio Jonathan, quien estuvo a mi lado durante todo este proceso, tu fe en mí y tu apoyo han sido invaluable. Espero que algún día podamos ver juntos los frutos de todo este esfuerzo.

A Perlita, quien ha acompañado durante mi infancia, adolescencia y juventud y con quien compartí tantas noches de desvelo, ha sido la primera oyente de mis exposiciones y mi soporte emocional.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por permitirme alcanzar este significativo logro en mi vida.

A mis padres, les debo todo mi amor y gratitud por su incondicional apoyo y su constante acompañamiento. Su amor ha sido el motor que me ha impulsado a seguir adelante, incluso en los momentos más difíciles.

A mi tutor, Msc. Manolo Córdova, le extiendo un sincero agradecimiento por su paciencia, orientación y dedicación a lo largo del desarrollo de mi proyecto de investigación. Sus conocimientos y experiencia fueron esenciales para la culminación exitosa de este trabajo. Agradezco también al Mgs. Diego Moposita, un docente y profesional excepcional. Su compromiso con la enseñanza y su pasión por el conocimiento me han inspirado profundamente.

A la Universidad Nacional de Chimborazo, en especial a la Carrera de Ingeniería Industrial, expreso mi gratitud por brindar un entorno académico enriquecedor y a todos los docentes que, a lo largo de estos cinco años, han contribuido significativamente a mi desarrollo académico y personal, les agradezco por su dedicación y esfuerzo.

# ÍNDICE GENERAL

DECLARATORIA DE AUTORÍA.....	
DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR .....	
CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL .....	
CERTIFICADO ANTIPLAGIO.....	
DEDICATORIA .....	
AGRADECIMIENTO .....	
ÍNDICE GENERAL .....	
ÍNDICE DE TABLAS. ....	
ÍNDICE DE FIGURAS.....	
RESUMEN.....	
ABSTRACT .....	
CAPÍTULO I. INTRODUCCION.....	17
1. Planteamiento del Problema .....	18
1.1 Justificación .....	19
1.2 Objetivos.....	20
1.2.1 Objetivo General.....	20
1.2.2 Objetivos Específicos.....	20
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO. ....	21
2. Enfoque teórico.....	21
2.1 Antecedentes .....	21
2.2 Fundamentación Teórica .....	21
2.2.1 Deshidratación .....	21
2.2.2 Conservación .....	22
2.2.3 Vida útil.....	22
2.2.4 Parámetros que indican el final de la vida útil.....	22

2.2.5	Tiempo De Secado .....	22
2.2.6	Valor Nutricional De Las Frutas.....	24
2.2.7	Frutas Deshidratadas .....	24
2.2.8	Secadores De Bandeja.....	24
2.2.9	Método Tradicional Para Calcular El Tiempo De Secado De Fresas Utilizando Un Secador De Bandejas .....	25
2.2.10	Redes Neuronales Artificiales .....	25
2.2.11	Modelo de Retro Propagación .....	27
2.2.12	Descenso por gradiente .....	27
2.2.13	Flujo de trabajo típico para diseñar redes neuronales .....	27
2.2.14	Configuración de la RNA para la estimación del tiempo de secado de fresa .....	27
2.3	Marco Geográfico .....	28
2.4	Glosario.....	28
2.4.1	Altitud .....	28
2.4.2	Humedad relativa.....	29
2.4.3	Temperatura de bulbo húmedo .....	29
2.4.4	Temperatura de bulbo seco.....	29
2.4.5	Temperatura de globo .....	29
2.4.6	RNA .....	29
2.4.7	Matlab .....	29
2.4.8	SPSS.....	29
CAPÍTULO III. METODOLOGIA. ....		31
3.	Metodología.....	31
3.1	Tipo de Investigación .....	31
3.2	Diseño de Investigación.....	31
3.3	Técnicas de recolección de Datos .....	31
3.4	Población de estudio y tamaño de muestra.....	32

3.5	Hipótesis .....	32
3.6	Métodos de análisis, y procesamiento de datos. ....	32
3.7	Recolección de la información.....	35
3.8	Determinación de las variables de entrada y variable de salida.....	35
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....		36
4.	Resultados.....	36
4.1	Matriz de variables consideradas para ingresar al software Matlab.....	36
4.2	Diseño de la RNA .....	40
4.3	Entrenamiento de la RNA.....	41
4.4	Método de estimación de tiempo a través de RNA .....	44
4.5	Entrenamiento de la Red Neuronal Artificial utilizando un solo dato de secado ....	46
4.6	Entrenamiento de la RNA utilizando un solo dato de secado.....	47
4.7	Comparación entre los valores arrojados por el software cuando es entrenado con un dato de secado y con once datos de secado .....	50
4.8	Error promedio de los valores determinados por el software Matlab .....	52
4.9	Análisis estadístico .....	53
4.10	Recursos invertidos para calcular el tiempo de secado .....	55
4.11	Tiempo invertido en cada metodología .....	56
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES .....		57
5.	Conclusiones y recomendaciones .....	57
5.1	Conclusiones .....	57
5.2	Recomendaciones.....	59
6.	BIBLIOGRAFÍA .....	60
7.	ANEXOS.....	62
7.1	Recursos invertidos para calcular el tiempo de secado .....	62
7.2	Cálculo de los tiempos que se requiere para determinar el tiempo total de secado de ambas metodologías .....	63

7.3 Elaboración del secado de fresa ( <i>fragaria sp</i> ) de manera tradicional utilizando un secador de bandejas.....	65
7.4 Metodología que utiliza Redes Neuronales Artificiales para determinar el tiempo total de secado.....	72
7.5 Determinación de las características cuantitativas .....	74

## ÍNDICE DE TABLAS.

<b>Tabla 1</b> Operalización de las variables.....	32
<b>Tabla 2</b> Matriz de ingreso a MATLAB .....	35
<b>Tabla 3</b> Matriz de características cuantitativas relevantes para ser colocados en el software Matlab .....	36
<b>Tabla 4</b> Error calculado en porcentaje entre el valor real y el valor estimado .....	44
<b>Tabla 5</b> Porcentaje de error calculado entre el valor obtenido con una variable de secado y con once variables de secado.....	51
<b>Tabla 6</b> Error promedio .....	52
<b>Tabla 7</b> Comparación de los recursos invertidos .....	55
<b>Tabla 8</b> Comparación del tiempo invertido .....	56
<b>Tabla 9</b> Costo de fabricación para elaborar una prueba de secado de fresa .....	62
<b>Tabla 10</b> Utensilios que se requieren para elaborar las pruebas de secado .....	62
<b>Tabla 11</b> Costos directos .....	62
<b>Tabla 12</b> Costos indirectos .....	63
<b>Tabla 13</b> Costos de la metodología con RNA .....	63
<b>Tabla 14</b> Tiempo invertido en la metodología tradicional .....	64
<b>Tabla 15</b> Tiempo invertido en la metodología que utiliza RNA.....	64

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	Pérdida de humedad en el tiempo .....	23
<b>Figura 2</b>	Velocidad de secado.....	23
<b>Figura 3</b>	Secador de bandeja .....	25
<b>Figura 4</b>	Estructura jerárquica de un sistema basado en RNA .....	26
<b>Figura 5</b>	Visualización de la parroquia Valparaíso.....	28
<b>Figura 6</b>	Diagrama de flujo para el proceso de secado de manera tradicional de la fresa .	34
<b>Figura 7</b>	Red Neuronal Artificial diseñada .....	40
<b>Figura 8</b>	Proceso de entrenamiento.....	41
<b>Figura 9</b>	Mejor rendimiento de validación.....	41
<b>Figura 10</b>	Resultado entrenamiento y ajuste de la Red Neuronal Artificial .....	42
<b>Figura 11</b>	Comportamiento de los datos en el entrenamiento .....	42
<b>Figura 12</b>	Validación de los datos .....	43
<b>Figura 13</b>	Test de los datos.....	43
<b>Figura 14</b>	MSE.....	44
<b>Figura 15</b>	Histograma del error con la metodología RNA .....	45
<b>Figura 16</b>	Diseño de la RNA con un dato experimental .....	46
<b>Figura 17</b>	Proceso de entrenamiento utilizando un solo dato de secado.....	47
<b>Figura 18</b>	Mejor rendimiento de validación utilizando un solo dato de secado .....	47
<b>Figura 19</b>	Resultado entrenamiento y ajuste de la Red Neuronal Artificial utilizando un solo dato de secado.....	48
<b>Figura 20</b>	Comportamiento de los datos en el entrenamiento utilizando un solo dato de secado.....	49
<b>Figura 21</b>	Validación de los datos con un solo dato de secado .....	49
<b>Figura 22</b>	Test de los datos con un solo dato de secado .....	50
<b>Figura 23</b>	MSE con un solo dato de secado .....	50
<b>Figura 24</b>	Histograma del error cuando se utiliza 1 variable de secado en el software Matlab .....	52
<b>Figura 25</b>	Estadísticas de grupo.....	53
<b>Figura 26</b>	Prueba T- Student de muestras independientes .....	53
<b>Figura 27</b>	Histograma de los valores reales .....	54
<b>Figura 28</b>	Histograma de los valores estimados .....	55

<b>Figura 29</b>	Traslado desde la ciudad de Riobamba hasta la parroquia Valparaíso .....	65
<b>Figura 30</b>	Propiedad ubicada en la parroquia Valparaíso .....	66
<b>Figura 31</b>	Cosecha de la fresa (fragaria sp).....	66
<b>Figura 32</b>	Selección de la fresa (fragaria sp).....	67
<b>Figura 33</b>	Laboratorio ubicado en el subsuelo del edificio CTE.....	67
<b>Figura 34</b>	Fachada del laboratorio .....	68
<b>Figura 35</b>	Lavado y desinfección de fresa (fragaria sp).....	68
<b>Figura 36</b>	Corte de la fruta .....	69
<b>Figura 37</b>	Pesaje de la bandeja .....	69
<b>Figura 38</b>	Pesaje de la fruta .....	70
<b>Figura 39</b>	Colocar la bandeja en el deshidratador .....	70
<b>Figura 40</b>	Pesaje por tiempo .....	71
<b>Figura 41</b>	Retirar la fruta deshidratada .....	71
<b>Figura 42</b>	Pesaje de la fruta deshidratada.....	72
<b>Figura 43</b>	Programa MATLAB instalado .....	72
<b>Figura 44</b>	Tutoría sobre el funcionamiento de una RNA.....	73
<b>Figura 45</b>	Entrenamiento de la red.....	73
<b>Figura 46</b>	Preparación del medidor de estrés térmico.....	74
<b>Figura 47</b>	Datos arrojados por el medidor de estrés térmico.....	74
<b>Figura 48</b>	Macerar la fresa (fragaria sp).....	75
<b>Figura 49</b>	Observar el refractómetro.....	75
<b>Figura 50</b>	Grados brix de la fresa (fragaria sp).....	76

## RESUMEN

Para hallar el tiempo total de secado de alimentos aún persisten métodos prolongados y tradicionales, donde el uso de deshidratadores implica la aplicación de procedimientos complejos en el laboratorio, también son costosos debido a que se requiere la materia prima directa e indirecta. Esta investigación compara el tiempo que toma la metodología tradicional para calcular el tiempo total de secado de fresas (*fragaria sp*) de la parroquia Valparaíso con la técnica que utiliza Redes Neuronales Artificiales (RNA). Se empezó secando de manera tradicional 300 g/día de fresas en el laboratorio de la Unach de la Facultad de Ingeniería utilizando un secador de bandejas, se calculó un tiempo de secado de 360 min, luego se determinaron cinco características cuantitativas necesarias para formar la RNA las cuales fueron: humedad relativa, temperatura de globo, temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo húmedo y el peso inicial de la fruta, considerando la función sigmoide para la activación del algoritmo de retro propagación (RP) utilizando Matlab. Como resultado se determinaron cuatro capas: a) la primera que cuenta con 16 neuronas receptoras estáticas; b) la segunda que cuenta con 10 neuronas; c) la tercera que cuenta con 1 neurona dinámica y d) la cuarta que es la neurona de salida estática, con errores de cálculo de menos del 3.47 %. Para determinar el mejor modelo se calculó el MSE el cual mide la cantidad de error que hay entre dos conjuntos de datos, comparando el valor experimental con el predicho y se encontró que tanto en el entrenamiento como en la validación y test los valores son cercanos a cero lo que indica que es un modelo óptimo. Este experimento fue desarrollado bajo las siguientes condiciones iniciales: altitud de 2754 msnm correspondiente a la ciudad de Riobamba, con fresas con un dulzor de 12 °Brix y el deshidratador a una temperatura constante de 65 °C. Para efectos de comparación, se ha colocado en Matlab las mismas características cuantitativas que se definieron anteriormente, pero en lugar de colocar los 11 valores que se obtuvieron en la parte experimental, solo se colocó el primero el cual corresponde a la masa de la fruta luego de 30 min en el deshidratador bajo las mismas condiciones con el objetivo de determinar el error en el cálculo si solo se contara con 1 dato de secado. Se determinó que el error promedio cuando se cuenta con las 11 variables es de 0.76 %, mientras que cuando con una variable asciende a 1.58 %, para ambos casos el error es aceptable lo que indica que si se conoce la primera variable de secado se podría determinar el valor luego de 360 min de secado lo que hace a este método aún más eficiente.

**Palabras claves:** Tiempo de secado, RNA, fresa (*fragaria sp*), retro propagación.

## ABSTRACT

To find the total drying time of food, extended and traditional methods persist, where the use of dehydrators implies the application of complex procedures in the laboratory; they are also expensive because direct and indirect raw material is required. This research compares the time taken by the traditional methodology to calculate the total drying time of strawberries (*Fragaria sp.*) from the Valparaíso parish with the technique that uses Artificial Neural Networks (ANN). It began by drying 300 g/day of strawberries in the traditional way in the Unach laboratory of the Faculty of Engineering using a tray dryer; a drying time of 360 min was calculated, then five quantitative characteristics necessary to form the ANN were determined, which were: relative humidity, globe temperature, dry bulb temperature, wet bulb temperature and the initial weight of the fruit, considering the sigmoid function for the activation of the backpropagation algorithm (RP) using Matlab. As a result, four layers were determined: a) the first one has 16 static receptor neurons; b) the second one has 10 neurons; c) the third one has one dynamic neuron, and d) the fourth one is the static output neuron, with calculation errors of less than 3.47 %. To determine the best model, the MSE was calculated, which measures the amount of error between two sets of data, comparing the experimental value with the predicted one, and it was found that both in training and in validation and testing, the values are close to zero, which indicates that it is an optimal model. This experiment was developed under the following initial conditions: altitude of 2754 meters above sea level corresponding to the city of Riobamba, with strawberries with a sweetness of 12 ° Brix and the dehydrator at a constant temperature of 65 ° C. The same quantitative characteristics defined above have been entered into Matlab for comparison purposes. Still, instead of entering the 11 values obtained in the experimental part, only the first one was entered, corresponding to the fruit's mass after 30 min in the dehydrator under the same conditions, to determine the error in the calculation if only one drying data was available. It was determined that the average error when all 11 variables are available is 0.76 %, while when one variable is available, it rises to 1.58 %; for both cases, the error is acceptable, indicating that if the first drying variable is known, the value could be determined after 360 min of drying, which makes this method even more efficient.

**Keywords:** Drying time, RNA, strawberry (*fragaria sp*), backpropagation.



Reviewed by:  
Mgs. Maria Fernanda Ponce  
**ENGLISH PROFESSOR**  
C.C. 0603818188

## CAPÍTULO I. INTRODUCCION.

En la actualidad se ha visto un incremento en el interés de los consumidores por el mayor cuidado en la salud, intentan hacer más deporte y comer productos menos procesados y optan por las frutas deshidratadas ante otros aperitivos (Lanza et al., 2023). En el mercado europeo el consumo de snacks nutritivos en base a fruta deshidratada ha desarrollado tendencias donde se establecen preferencias comerciales marcadas y direccionadas hacia la vida saludable (Romero et al., 2016). Por otro lado, Ecuador en 2021, exportó \$1 millón en frutas secas e importó \$3,57 millones, convirtiéndolo en el exportador número 77 y el en el importador número 67 de frutas secas en el mundo (Observatorio de Complejidad Económica (OEC), 2021). Con los procesos anteriores de secado no es posible determinar la eficiencia y eficacia de los procesos, ya que, son manejados de manera artesanal y no se puede tener una referencia de partida para mejorar los procesos, la tendencia al consumo de frutas deshidratadas ha obligado a los productores de fresa a mejorar sus operaciones incrementando procesos de secado y mejorando equipos para optimizar recursos, constituir una empresa, conseguir Registro Sanitario, generar rentabilidad, convertir el producto en líder del mercado de fruta deshidratada y generar fuentes de empleo. (Acosta et al., 2005) Para lograr mejorar las condiciones de transporte, exportación y conservación se aplica la deshidratación como ayuda fundamental, aunque (Llano, 2020) afirmó lo siguiente:

La deshidratación no solo beneficiará la exportación, sino que también podría ser una alternativa para colaborar con la alimentación de niños en zonas deprimidas o lejanas, al llevar hasta ellos productos fáciles de digerir por su tamaño, textura, consistencia y agradable sabor. Serían el complemento a una dieta incompleta en muchos sitios del país.

Pero este conocimiento requiere estudios de campo y experimentales tediosos y que conllevan costos significativos.

La fresa (*Fragaria* sp) es una planta herbácea, pertenece a la familia de las Rosáceas y género *Fragaria*, proveniente del latín “*fragans*” que significa fragante (Acuña, 2020). En Ecuador se determina un consumo importante por su sabor y su riqueza en vitaminas, minerales y antioxidantes. Actualmente es muy común ver sembríos de fresa en la sierra ecuatoriana, pero, esta fruta no es nativa, las variedades de fresa que tenemos en el país resulta de la combinación de especies chilenas y especies que trajeron consigo los europeos, los datos indican que para América del Sur la dispersión se realizó a partir de Chile (Patiño, 2002). En todo Ecuador fructificaban sin interrupción, ya en el siglo de Caldas (1942) mencionó que vio frutillas en los alrededores de Ambato y que se llevaban de allí a Quito y a otros lugares.

El Programa de Fruticultura del INIAP en 1981 inicia con trabajos de investigación que ayudan a fruticultores con técnicas para implementar mejoras en los cultivos con el fin de aumentar sus ingresos y mejorar la calidad de la fruta (Soria et al., 1992). A pesar de todos los esfuerzos no se ha trabajado con muchos proyectos de deshidratación debido a los

gastos fundamentales en los procesos tecnológicos que son: gastos de energía eléctrica debido al tiempo dedicado al proceso de deshidratación, los gastos de amortización de los equipos debido a que son instrumentos de última tecnología que presentan un alto costo de importación y los gastos correspondientes a los insumos utilizados. (A. García et al., 2013)

Aunque sea posible diseñar un secador industrial de la manera convencional, la tecnología de procesamiento de datos apoyada con los sistemas artificiales puede llegar a presentar un rendimiento notablemente mejor que el del propio cerebro humano (Benítez et al., 2018). La inteligencia artificial puede estimar la variable más importante en el desarrollo del secador que es el tiempo de secado con menos uso de recursos.

En el presente trabajo, se investiga la aplicación de Redes Neuronales Artificiales (RNA) con Algoritmos de Retropropagación para determinar la viabilidad y precisión de su uso en el cálculo del tiempo total de secado. El objetivo principal es garantizar que el porcentaje de error sea mínimo y así evitar el uso del secador como método convencional. Determinar con precisión el tiempo total de secado es fundamental para asegurar la calidad del producto final y prolongar su vida útil. Además, un cálculo preciso contribuye a la eficiencia del proceso, lo cual es especialmente relevante a escala industrial, ya que permite reducir costos y tiempos de producción.

## **1. Planteamiento del Problema**

Ecuador se ha caracterizado por ser un país exportador de materias primas al mercado internacional pero también de traer a nuestro mercado productos ya terminados con costes elevados, es por esta razón que muchos emprendedores han visto la manera de aprovechar las materias primas ecuatorianas y darles el valor agregado que requieren para poder ser comercializada dentro y fuera del país.

El tema de la deshidratación de alimentos no es algo nuevo, pero si es una forma de negocio actual en el Ecuador y que debido a su gran alcance se observa un sin número de investigaciones de todo tipo relacionadas a la misma, se sabe que últimamente los snacks tanto de frutas como verduras han ganado gran espacio en el mercado, pues su valor nutricional, sus propiedades organolépticas y su sabor son las principales características por las que llama la atención del consumidor.

A pesar de los notables avances tecnológicos de los últimos años, aún persisten métodos prolongados y tradicionales en diversas aplicaciones; un ejemplo concreto es el cálculo del tiempo total de secado de alimentos, donde el uso de deshidratadores implica la aplicación de procedimientos complejos al tener que elaborar pruebas de laboratorio para obtener datos que permitan elaborar la curva de secado y aplicar las respectivas fórmulas para hallar tanto el tiempo como la velocidad de secado, también son costosos debido a que se requiere materia prima directa e indirecta, finalmente es un método que genera impacto ambiental negativo al hacer uso de recursos no renovables.

La persistencia en el uso de enfoques obsoletos resalta la urgente necesidad de una transición hacia métodos más eficientes y sostenibles. Es fundamental que estos nuevos enfoques estén alineados con los estándares actuales de tecnología y conservación de recursos, de manera que se reduzcan los costos, la complejidad y el impacto negativo en el medio ambiente.

## **1.1 Justificación**

La industria alimentaria en un país en vías de desarrollo se ha convertido en una oportunidad para innovar y buscar métodos la manera de aprovechar la materia prima ecuatoriana y adicionándole un valor agregado que permita impactar en la mente de los consumidores locales y extranjeros. Los frutos deshidratados son de los negocios más recientes en el país sin embargo se sigue utilizando métodos antiguos para determinar la humedad crítica, la temperatura ideal, el tiempo de secado, etc.

El aplicar el método tradicional para determinar el tiempo de secado requiere de tiempo, gastos económicos y conlleva un nivel de error alto, por lo que se realizó una comparación de los datos obtenidos en la parte experimental los cuales se obtuvieron en 30 días hábiles utilizando un secador de bandejas, con los datos obtenidos mediante el uso de Redes Neuronales Artificiales. La implementación de inteligencia artificial en este contexto es una oportunidad para demostrar cómo las tecnologías avanzadas pueden revolucionar y mejorar procesos tradicionales, promoviendo la innovación en el campo de la producción de alimentos.

La presente investigación se enfocó en determinar el tiempo de secado de las fresas (*Fragaria sp*) producidas en la parroquia Valparaíso, ubicada en el cantón Guano, en la provincia de Chimborazo. Esta región se caracteriza por una alta producción de fresas en cada cosecha. Sin embargo, debido a que no todas las fresas alcanzan un tamaño considerable; las fresas más pequeñas, también conocidas como producto de rechazo, no resultan atractivas para los consumidores por lo que existen pérdidas económicas para los productores de esta zona.

El objetivo de este estudio es determinar el tiempo de cálculo del secado de fresas a través del método tradicional y compararlo con el método que utiliza Redes Neuronales Artificiales, se ha escogido compararlo con esta práctica ya que elimina la necesidad de realizar numerosas pruebas de laboratorio, lo que ahorra recursos, además de una precisión mejorada debido a que la inteligencia artificial tiene el potencial de mejorar la precisión de las predicciones en comparación con métodos tradicionales, puede manejar una amplia variedad de datos y patrones que pueden ser difíciles de analizar manualmente y por supuesto la sostenibilidad al reducir el consumo de recursos naturales.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo General**

Determinar el tiempo de cálculo del secado de fresas (*Fragaria sp*) del Cantón Guano a través del método tradicional y compararlo con el método que utiliza Redes Neuronales Artificiales.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Elaborar el proceso de secado tradicional utilizando un secador de bandejas para determinar los recursos invertidos que requiere este método
- Identificar y analizar las características cualitativas y cuantitativas relevantes de las fresas (*Fragaria sp*) utilizando el software Matlab para diseñar la matriz que permita estimar el tiempo de secado utilizando Redes Neuronales Artificiales.
- Proponer la metodología que utiliza redes neuronales artificiales como un método eficiente de tiempo.

## **CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.**

### **2. Enfoque teórico**

#### **2.1 Antecedentes**

Para el desarrollo de la presente investigación se ha revisado archivos con la temática del deshidratado de frutas y aunque se encuentran varias investigaciones que realizan el secado con propósitos diferentes, hay una sola que utiliza RNA para acelerar el proceso que toma hallar la humedad crítica para el secado de manzanas, sin embargo, no se encontró bibliografía que indique que se ha hallado de una forma más sencilla el tiempo total de secado de fresas.

En la tesis de grado publicada por la Escuela Superior Politécnica De Chimborazo en 2016 titulada “Diseño de un secador de bandejas para la deshidratación de plátano en la parroquia Veracruz del cantón Pastaza” se realiza el proceso tradicional para determinar la temperatura, humedad, velocidad de secado y tiempo de secado del plátano y así poder diseñar un horno secador ideal, este proceso tomó varios meses ya que, se realizaron prácticas con varias temperaturas 40, 50, 60 y 70°C y se determinó que ~~e~~ la temperatura a la que debe realizar el secado es de 50°C con una humedad inicial de 1,202 kg agua/kg solido seco y una humedad final de 0,062 kg agua/kg solido seco. Una vez realizadas las curvas de secado se obtiene la humedad crítica de 0,371 kg agua/kg sólido seco y la humedad equilibrio de 0,04 kg agua/kg sólido seco; y una velocidad constante de 0,341 kg/m<sup>2</sup>h. El tiempo total de secado fue de 2,68 h. (Ruiz, 2016)

En la tesis de grado publicada por la Universidad Técnica de Ambato en 2022 titulada “Estimación de la humedad crítica para el secado de manzanas (*Pyrus malus*) utilizando redes neuronales artificiales.” indica que con el algoritmo de Retro Propagación (RNA-RP) para estimar la humedad crítica de la manzana (*Pyrus malus*) es factible, ya que, arroja errores de menos 2,5% del valor real y se convierte en una alternativa a los métodos experimentales tradicionales disminuyendo el 99,8% de tiempo, la simulación realizada tomó 1 minuto frente a los 570 minutos que requiere el método convencional. Además, mediante una prueba de Tukey con un 95% de confianza, el valor de confiabilidad es del 99,99% de las respuestas obtenidas de la RNA y el valor real en el laboratorio. Las afirmaciones de que las medias son iguales permiten afirmar que la estimación de la humedad crítica con redes neuronales es eficiente. (Sánchez, 2022)

### **2.2 Fundamentación Teórica**

#### **2.2.1 Deshidratación**

Es uno de los procesos más antiguos para conservar alimentos y a través de los años el hombre ha ido mejorando paulatinamente. La deshidratación es el método más empleado para conservar alimentos. Se llama deshidratación al proceso artificial y desecación al proceso natural (IICA COLCIENCIAS, 1980).

### **2.2.2 Conservación**

El proceso de conservación de los alimentos todas aquellas hoy medidas que permiten mantener características como sabor, color, aroma, textura y valor nutritivo frente a acciones químicas, frente a acciones químicas físicas y microbiológicas no deseadas ya que son las causantes de dichas alteraciones o contaminaciones. (López et al. 2016)

### **2.2.3 Vida útil**

La vida útil de un alimento se define como el tiempo finito después de su producción en condiciones controladas de almacenamiento, en las que tendrá una pérdida de sus propiedades sensoriales y fisicoquímicas, y sufrirá un cambio en su perfil microbiológico (Carrillo et al. 2013).

### **2.2.4 Parámetros que indican el final de la vida útil**

A pesar de los avances en la ciencia y la tecnología de alimentos, los productos alimenticios tienen una vida útil finita. Por lo tanto, existen indicadores de que la vida útil de un producto ha llegado a su fin. Entre estos pueden hallarse los siguientes: elevado número de microorganismos, oxidación de grasas y aceites, migración de humedad, pérdida de vitaminas y nutrientes, cambios de textura debidos a actividades enzimáticas, degradación de proteínas, pérdida de sabor y color, disminución o aumento de la viscosidad. (Carrillo et al. 2013)

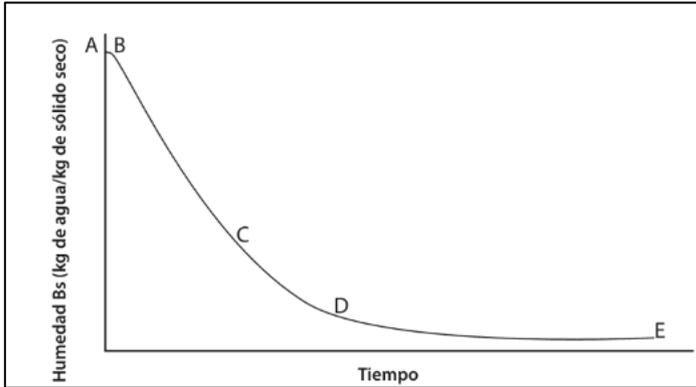
### **2.2.5 Tiempo De Secado**

El tiempo es uno de los principales factores que influyen en el secado, el tiempo depende directamente de la presión o altitud y la temperatura del sistema. Las propiedades sensoriales y nutritivas de los alimentos pueden verse afectadas por los largos tiempos de secado, además los alimentos resultan más afectados cuando se usan tiempos más largos y bajas temperaturas que cuando se aplica altas temperaturas y cortos tiempos. (Rodiles et al., 2020)

En el proceso de secado se utilizan dos tipos de curvas que son obtenidas en pruebas a nivel de laboratorio o también llamado pruebas experimentales y planta piloto. Por medio de éstas se realiza el escalado del proceso a nivel industrial, estableciendo las mejores condiciones de temperatura, velocidad y flujo de aire para la fruta a secar. (Contento et al., 2009)

**Figura 1**

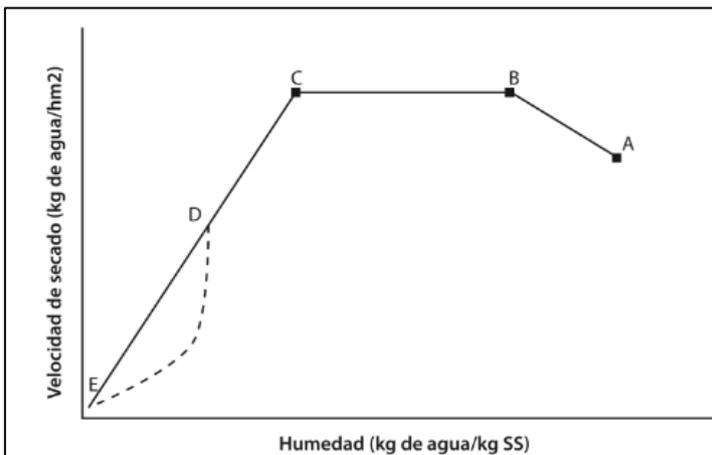
Pérdida de humedad en el tiempo



**Nota:** Curva de secado en la que se observa a la humedad decreciendo conforme pasa el tiempo. Tomado de Manual de prácticas de Ingeniería de Alimentos por Contenido et al., 2009

**Figura 2**

Velocidad de secado



**Nota:** El periodo A-B es la fase en la que el producto va aumentando su temperatura, luego llega el periodo en que la velocidad de secado se vuelve constante y finalmente, tanto la velocidad de secado como la humedad toman valores decrecientes. Tomado de Manual de prácticas de Ingeniería de Alimentos por Contenido et al., 2009

### 2.2.5.1 Tiempo de secado en la etapa de velocidad constante

$$t_c = \frac{W_o - W_c}{R_c}$$

Donde:

$t_c$  = Tiempo hasta el contenido crítico de humedad (min).

$W_o$  = Humedad inicial (kg de agua/kg de sólido seco).

$W_c$  = Humedad crítica (kg de agua/kg de sólido seco).

$R_c$  = Velocidad de secado en el periodo de velocidad constante (kg de agua/m<sup>2</sup>).

### 2.2.5.2 Tiempo de secado en la etapa de velocidad decreciente

$$t = \frac{W_o - W_c}{R_c} + \frac{W_c}{R_c} \ln\left(\frac{W_c}{W}\right)$$

Donde:

t = Tiempo total de secado (min).

W = Humedad final (kg de agua/kg de sólido seco).

### 2.2.6 Valor Nutricional De Las Frutas

El valor de las frutas y de sus derivados para la alimentación no se puede subestimar. Por ejemplo, las bases de las frutas ayudan a neutralizar los ácidos producidos en la alimentación diaria por granos y grasa y que pueden causar graves problemas de salud. Estas bases se forman por el alto contenido de minerales como el potasio, magnesio, hierro, cobre y manganeso. Igualmente, las frutas son una gran fuente de vitaminas y fibras. Las últimas están muy concentradas en la fruta deshidratada y son muy importantes para el buen funcionamiento de la digestión; algunos médicos aseguran que la fibra ayuda a evitar el cáncer de colon. El alto contenido de azúcares en la fruta deshidratada contribuye al alto nivel energético y es fácil de absorber por el cuerpo, lo que es importante para personas que se deben esforzar. (Landwehr, 2001)

### 2.2.7 Frutas Deshidratadas

En el Decreto 2484 Código Alimentario Español (1967) se define a las frutas deshidratadas como el resultado obtenido a partir de frutas carnosas frescas a las que se ha minimizado la humedad mediante procesos apropiados y autorizados. El grado de humedad residual deberá impedir toda alteración posterior (p. 71). Debido a que son sometidas a un proceso de secado es lógico que se vean más pequeñas, pero esto no significa que no ha perdido sus propiedades más bien se concentran los nutrientes y azúcares por lo que se consumen como golosinas, snacks y fuente de energía, además de que se pueden conservar por un periodo más amplio de tiempo lo que permite un mejor aprovechamiento de la fruta.

### 2.2.8 Secadores De Bandeja

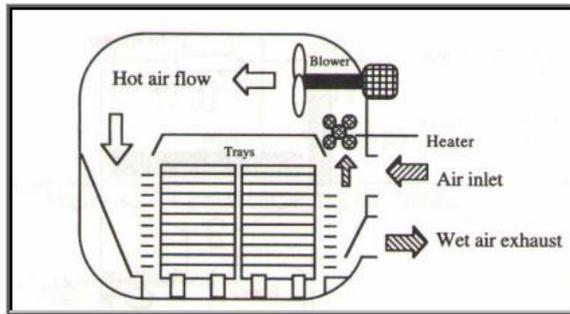
Se trata de un deshidratador ideal para secar fruta ya que “Se hace circular aire caliente entre las bandejas por medio del ventilador acoplado del motor haciéndole pasar previamente por el calentador constituido por un haz de tubos por cuyo interior circula normalmente vapor de agua” (Fito et al., 2001). Por medio del conducto de salida en cambio se elimina continuamente aire húmedo.

Otros autores han afirmado lo siguiente:

Este tipo de secador se caracteriza por tener una serie de bandejas en donde es colocado el alimento. Las bandejas se colocan dentro de un compartimento del secador en donde es expuesto al aire caliente. El secador cuenta con un ventilador y una serie de resistencias eléctricas a la entrada que permiten generar aire caliente el cual es llevado a través de la sección de bandejas. (Cánovas et al., 1996)

**Figura 3**

Secador de bandeja



**Nota:** Se muestra un ejemplo típico de un secador de bandeja desde el ingreso del flujo de aire caliente hasta la salida del aire húmedo. Tomado de Dehydration of Foods por Cánovas et al., 1996

### 2.2.9 Método Tradicional Para Calcular El Tiempo De Secado De Fresas Utilizando Un Secador De Bandejas

El método tradicional para hallar el tiempo de secado requiere de una práctica de laboratorio en la que se realizan varias pruebas de secado con la fruta seleccionada.

Con la disponibilidad de un flujo de aire caliente suficiente es posible llegar a valores de humedad cercanos a la mitad del valor inicial, esto mejora las condiciones del producto frente a los microorganismos y aumenta su vida útil (Ceballos-Ortiz, 2012). Variantes de este tipo de secado modifican la forma en la que el aire es dirigido hacia el alimento o incluyen más etapas con temperaturas y velocidades diferentes.

En las pruebas de laboratorio se pretende usar una corriente de aire a 65 °C para extraer la humedad de la fresa por aproximadamente 6 horas e ir tomando datos tanto de peso como de tiempo. Para ello se requiere principalmente de la fresa y el horno secador y de utensilios como cuchillo, balanza, tablas de picar y bandejas, luego se corta en rodajas la fruta y se coloca en las bandejas para llevarlas al horno secador, es importante cuantificar su peso antes de ingresar al horno y luego de cada cierto tiempo para poder llevar estos datos a la tabla de resultados y luego calcular el tiempo total de secado.

### 2.2.10 Redes Neuronales Artificiales

Uno de los objetivos que se estableció para la elaboración de este proyecto de investigación es realizar una comparación de los resultados obtenidos de manera práctica, es decir, en el laboratorio colocando las fresas dentro del secador de bandejas con los resultados que se obtienen a través de redes neuronales artificiales (RNA), Flores et al. (2008) en su libro titulado “Las Redes Neuronales Artificiales” indican que estas tratan de emular el comportamiento del cerebro humano por medio del aprendizaje a través de la experiencia y la extracción de conocimiento genérico a partir de un conjunto de datos ingresados (p.11); por otro lado, Hilera et al. (1995) las definen como “aquellas redes en las que existen

elementos procesadores de información de cuyas interacciones locales depende el comportamiento del conjunto del sistema”.

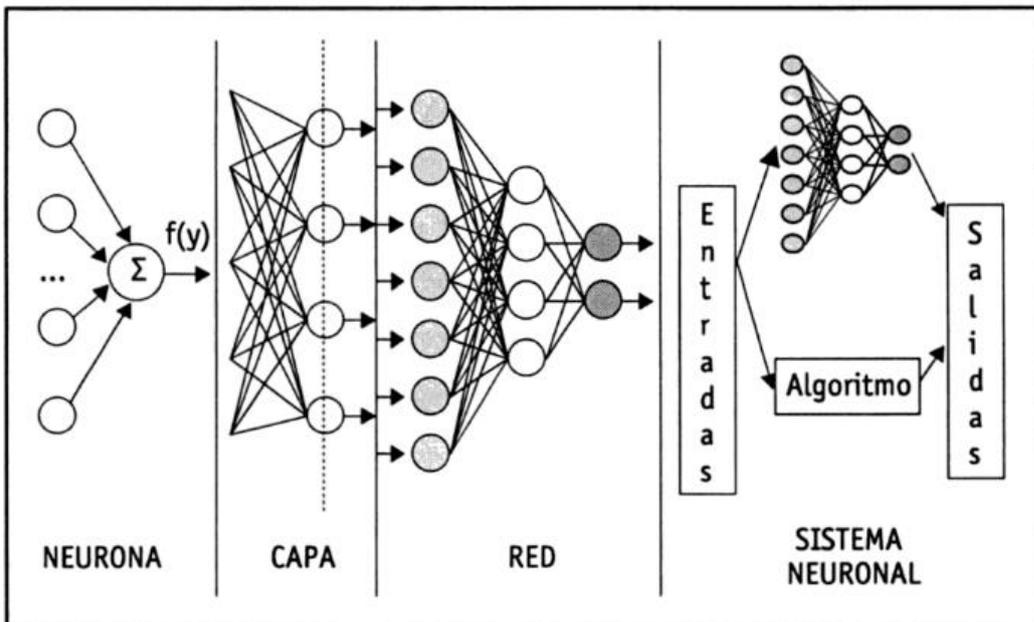
Las redes neuronales artificiales son un método de la inteligencia artificial que enseña a las computadoras a procesar datos de una manera que está inspirada en la forma en que lo hace el cerebro humano. Se trata de un tipo de proceso de machine learning llamado aprendizaje profundo, que utiliza los nodos o las neuronas interconectados en una estructura de capas que se parece al cerebro humano. Crea un sistema adaptable que las computadoras utilizan para aprender de sus errores y mejorar continuamente. De esta forma, las redes neuronales artificiales intentan resolver problemas complicados, como la realización de resúmenes de documentos o el reconocimiento de rostros, con mayor precisión. (AWS, 2023)

En la figura a continuación, se observa la conformación de una red neuronal, sabiendo que una neurona en realidad es una función  $f(y)$  la cual es la sumatoria de las entradas ( $X_1, X_2 \dots X_n$ ) multiplicada por la importancia o peso ( $W_1, W_2 \dots W_n$ ) de cada entrada y sumado una desviación o sesgo que siempre va a existir para obtener un valor más cercano a una decisión humana (b).

Debido a que es una red neuronal, cada neurona debe estar conectada a la otra, existen varias capas: capa de entrada, capa oculta y capa de salida.

#### Figura 4

Estructura jerárquica de un sistema basado en RNA



**Nota:** Se observa cómo se va conformando un sistema neuronal a partir del ingreso de datos en cada neurona. Tomado de Redes neuronales y sistemas borrosos (p.11), por Martín del Brío et al., 2006.

### **2.2.11 Modelo de Retro Propagación**

La retropropagación de errores calcula el gradiente de la función de pérdida con respecto a los pesos ( $W_1, W_2 \dots W_n$ ). Este gradiente se utiliza para ajustar las conexiones entre las neuronas, el ajuste de pesos mediante descenso de gradiente, aunque resulta un proceso bastante repetitivo es importante para reducir errores y mejorar el poder predictivo de las redes neuronales. (García, 2024)

### **2.2.12 Descenso por gradiente**

El descenso de gradiente es un método utilizado para estimar numéricamente dónde una función genera sus valores más bajos. Eso significa que reduce la diferencia entre el resultado obtenido y el que se busca obtener. Además, todo lo que necesita para ejecutarse es la salida numérica de una función y puede entregar estimaciones sin importar cuán elaborada sea la función. Su limitación es que solo encuentra mínimos locales en lugar del mínimo global. (Rodríguez, 2021)

### **2.2.13 Flujo de trabajo típico para diseñar redes neuronales**

Cada aplicación de red neuronal es única, MathWorks (2013) indica que el desarrollo de la red suele implicar los siguientes pasos:

1. Acceder a los datos y prepararlos.
2. Crear la red neuronal.
3. Configurar las entradas y salidas de la red.
4. Ajustar los parámetros de la red (las ponderaciones y tendencias) para optimizar el rendimiento.
5. Entrenar la red.
6. Validar los resultados de la red.
7. Integrar la red en un sistema de producción.

### **2.2.14 Configuración de la RNA para la estimación del tiempo de secado de fresa**

1. Recopilación y preparación de datos.  
Se colocan datos relevantes sobre la fresa como el peso inicial y temperatura, luego se prepara los datos para el modelado es decir se normaliza los datos, se maneja los valores faltantes y se divide los datos en conjuntos de validación y prueba.
2. Diseño de la red neuronal.  
Se selecciona la arquitectura de la red neuronal y se define el número de capas, la cantidad de neuronas por capa, las funciones de activación y la capa de salida será lógicamente la estimación del tiempo de secado.
3. Entrenamiento del modelo.  
Se ajusta el modelo utilizando el conjunto de entrenamiento, se observa la pérdida y la precisión en el conjunto de validación para controlar el rendimiento del modelo y prevenir el sobreajuste.

4. Evaluación y ajuste del modelo.

Se utiliza el conjunto de prueba para evaluar el rendimiento final del modelo y obtener métricas como el error cuadrático medio (MSE), el coeficiente de determinación ( $R^2$ ), etc. Si el rendimiento no es satisfactorio se debe ajustar la arquitectura de la red o realizar técnicas de regularización para mejorar el rendimiento.

5. Uso del modelo entrenado.

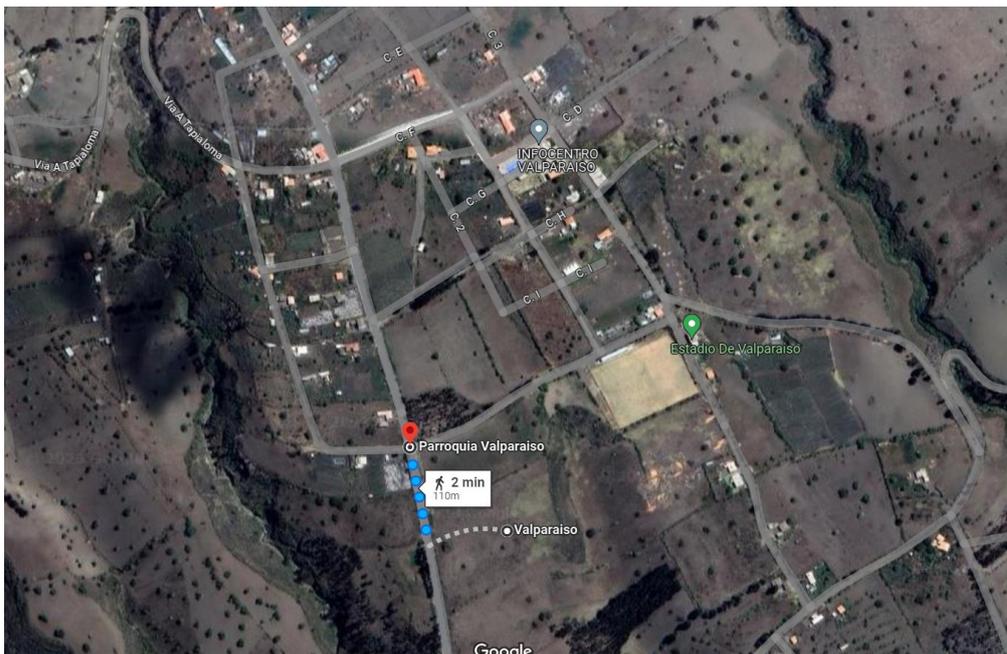
Cuando ya se esté satisfecho con el rendimiento del modelo, ya es posible usarlo para predecir el tiempo de secado de fresas.

### 2.3 Marco Geográfico

La zona geográfica de donde se obtendrá las fresas (*Fragaria sp*) está ubicado el Cantón Guano específicamente en la parroquia Valparaíso.

#### Figura 5

Visualización de la parroquia Valparaíso



Fuente: (GoogleMaps, 2023)

### 2.4 Glosario

#### 2.4.1 Altitud

Hablamos de altitud para referirnos a la distancia vertical que existe entre un punto cualquiera de la superficie o de la atmósfera, y el nivel medio del mar. Se calcula con un instrumento llamado altímetro y se expresa en metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m) (Meteopedia, 2024).

#### **2.4.2 Humedad relativa**

Cociente entre la fracción molar de vapor de agua en un espacio dado y la fracción molar del vapor de agua en su condición de saturación (Martines, 2007).

#### **2.4.3 Temperatura de bulbo húmedo**

Temperatura del aire indicada por un termómetro cubierto por un algodón humedecido, el cual es influenciado por la razón de vaporización de agua desde el algodón (British Standard, 2002).

Es la temperatura de saturación adiabática, es decir la temperatura cuando el aire está saturado. Para obtener esta temperatura se utiliza un termómetro ordinario en el cual el bulbo se encuentra cubierto por un material higroscópico húmedo, con el fin de medir la energía que se desprende por la evaporación del agua (proceso adiabático). (Cengel, 2012)

#### **2.4.4 Temperatura de bulbo seco**

Es la temperatura de la mezcla (aire seco y vapor de agua) medida con un termómetro a condiciones atmosféricas propias del lugar, se conoce como temperatura ambiental (Gatley, 2013). En las cartas psicrométricas la temperatura de bulbo seco se ubica de manera vertical desde la parte inferior hasta la parte superior, manteniendo siempre un valor constante.

#### **2.4.5 Temperatura de globo**

Es la temperatura radiante indicada por un sensor colocado en el centro de un globo de cobre, pintado de negro (Instituto de Salud Pública de Chile, 2013)

#### **2.4.6 RNA**

Redes Neuronales Artificiales.

#### **2.4.7 Matlab**

Es un software que permite realizar cálculos complejos y visualizar datos de manera práctica lo que lo hace muy popular entre ingenieros, matemáticos y científicos alrededor del mundo. (Avenu, 2023)

#### **2.4.8 SPSS**

SPSS es un formato que ofrece IBM para un análisis completo. Es el acrónimo de Producto de Estadística y Solución de Servicio. Es un software popular entre los usuarios de Windows, es utilizado para realizar la captura y análisis de datos para crear tablas y gráficas con data compleja. El SPSS es conocido por su capacidad de gestionar grandes volúmenes

de datos y es capaz de llevar a cabo análisis de texto entre otros formatos más. (QuestionPro, 2024)

## **CAPÍTULO III. METODOLOGIA.**

### **3. Metodología**

#### **3.1 Tipo de Investigación**

El presente proyecto de investigación es de tipo experimental, adopta un enfoque cuantitativo, respaldado por un diseño teórico sólido. La focalización principal recae en el comportamiento de la variable dependiente que es el tiempo de secado y el comportamiento de las variables independientes, las cuales se relacionan con el número de interacciones y observaciones proyectadas por la red neuronal artificial. Por lo que, se llevará a cabo una comparación exhaustiva entre los datos obtenidos mediante laboratorio a través de un método de secado tradicional utilizando un secador de bandejas y los resultados obtenidos mediante la red neuronal artificial diseñada en el software MATLAB. Esta evaluación permitirá realizar una revisión crítica del estado actual del arte en relación con el tiempo de cálculo requerido para obtener el tiempo de secado de fresas (*Fragaria sp*) mediante la implementación del modelo de Retro Propagación de Redes Neuronales Artificiales (RNARP).

#### **3.2 Diseño de Investigación**

Para el desarrollo de la investigación se seleccionó tanto el diseño experimental debido a que se va a manipular variables para observar resultados, como el diseño prospectivo, al analizar tendencias y generar escenarios futuros para la toma de decisiones.

#### **3.3 Técnicas de recolección de Datos**

- Revisión de literatura

La información tomada resultó de la recopilación de libros físicos y digitales, de investigaciones, de trabajos de titulación, de documentos y páginas web relacionados con el secado de frutas, específicamente la fresa. La información sirvió de guía para elaborar la matriz en el software Matlab y para poder llevar a cabo el proceso de secado de forma tradicional.

- Observación

Se acudió a la parroquia Valparaíso con la finalidad de obtener información sobre las fresas y sus características de manera directa.

- Ingreso de datos

Diseño de la RNA a partir de los datos obtenidos en la parte experimental de la investigación colocados en una matriz en el software MATLAB.

### 3.4 Población de estudio y tamaño de muestra

Debido a que no existen trabajos similares relacionados al secado de fresa (*Fragaria sp*) la población se fijó por juicio de expertos determinando un valor recomendado de treinta curvas de secado. La muestra será la misma que la población.

### 3.5 Hipótesis

El método que emplea redes neuronales artificiales para determinar el tiempo de secado de las fresas *Fragaria (sp)* es más eficiente en términos de tiempo en comparación con el método tradicional que utiliza un secador de bandejas.

### 3.6 Métodos de análisis, y procesamiento de datos.

Se requiere contar con ambas partes, la parte experimental realizada en el laboratorio y la parte elaborada con el software para poder comparar sus resultados, determinar si la hipótesis se cumple y si resulta la metodología que usa RNA eficiente y confiable, estos datos serán sometidos a un análisis a través del software SPSS y el estadístico Prueba T de dos muestras independientes, se halla la relación entre las medias de los grupos de datos tomados de la parte experimental de la investigación para luego ser comparado con los datos estimados o mediante RNA.

Para estimar el valor de salida A (tiempo de secado) se esbozó un modelo de red neuronal artificial RNA con un algoritmo de Retro Propagación RP. Los valores de entrada se tomaron de la parte experimental de esta investigación en la que se deshidrató fresa (*fragaria sp*) en un secador de bandejas.

**Tabla 1**

Operalización de las variables

<b>Variable independiente</b>	<b>Conceptualización</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Técnicas e Instrumentos</b>
<b>Temperatura</b>	Grado de calor o frío que hay en un lugar	Temperatura del laboratorio	Grados Celsius (°C)	Medidor de estrés térmico
<b>Humedad relativa</b>	Relación entre la cantidad de vapor de agua en el aire con la cantidad máxima que el aire podría contener en ese momento.	Humedad relativa en el laboratorio	Porcentaje de humedad	Medidor de estrés térmico
<b>Temperatura de</b>	Mide la temperatura	Temperatura Ambiente	Grados Celsius (°C)	Medidor de estrés térmico

<b>Bulbo Húmedo</b>	teniendo en cuenta la humedad del entorno.			
<b>Temperatura de Bulbo Seco</b>	Mide la temperatura del aire sin considerar factores ambientales como la radiación, la humedad o el movimiento del aire	Temperatura Ambiente	Grados Celsius (°C)	Medidor de estrés térmico
<b>Masa</b>	Es la cantidad de materia que hay en un objeto o un cuerpo	Masa de la fruta	Gramos (g)	Balanza digital
<b>Variable dependiente</b>	<b>Conceptualización</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Técnicas e Instrumentos</b>
<b>Tiempo de secado</b>	Tiempo en el que tarda un cuerpo en pasar de un estado húmedo o líquido a un estado seco	Condición seleccionada	Temperatura del Secador	Fórmulas, experimento, matriz de resultados.

**Elaborado por:** Autor

### 3.7 Materiales

Para llevar a cabo las prácticas de laboratorio, se seleccionó una variedad específica de fresas (*Fragaria sp*) cultivadas en el cantón Guano, parroquia Valparaíso. Se adquirieron diversos utensilios necesarios, incluyendo recipientes, cuchillos y una tabla de picar. Además, se empleó agua para lavar las frutas y toallas de papel absorbente para secarlas. Es crucial destacar que los equipos más importantes utilizados en el proceso fueron un secador de bandejas modelo ST-02 de 220V y una balanza digital de la marca ISOLAB.

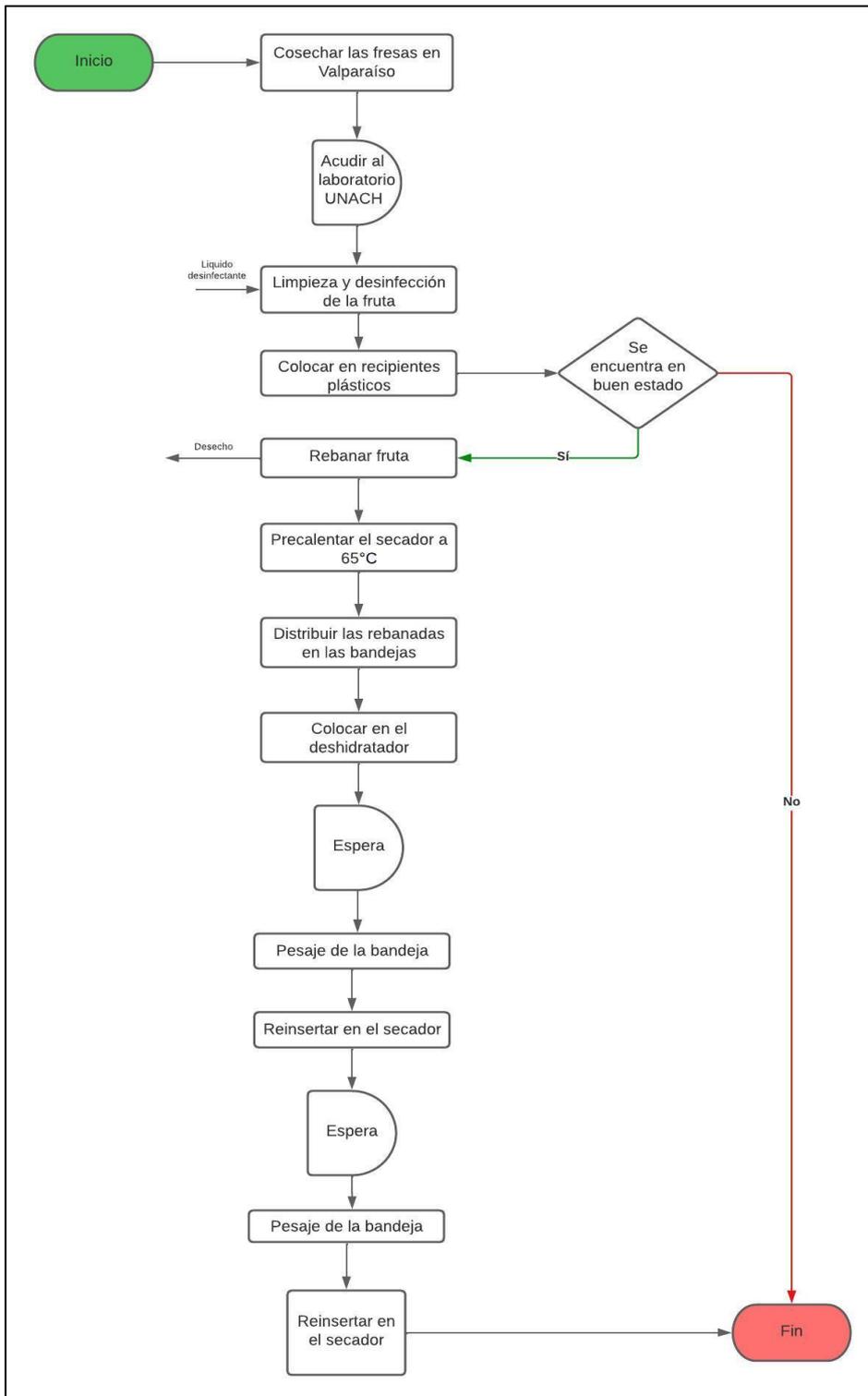
Para el proceso de diseñar y ejecutar la simulación, se empleó la plataforma Matlab en la versión para estudiantes R2024a con sus herramientas de visualización para el desarrollo, verificación y puesta en marcha de redes neuronales. Asimismo, se utilizó una laptop de la marca Dell con un procesador Intel core i7.

Para comparar estadísticamente los resultados obtenidos se utilizó el programa SPSS Statistics 27.

Finalmente, para determinar las diferentes características se utilizó un medidor de estrés térmico de la marca Quest Technologies y un refractómetro de la marca Vee Gee con un medidor de 0 a 32 %.

**Figura 6**

Diagrama de flujo para el proceso de secado de manera tradicional de la fresa



Elaborado por: Autor

### 3.73.8 Recolección de la información

La información se la obtuvo al realizar el secado de fresa (*Fragaria Sp*). La información se dispuso en una matriz donde en las filas se colocaron las variables codificadas con letras mayúsculas incluyendo la variable de salida (tiempo total) y en las columnas las treinta muestras realizadas en el laboratorio.

**Tabla 2**

Matriz de ingreso a MATLAB

c	VARIABLE	CÓDIGO	*			
			1	2	3	30
Dato experimental calculado	Tiempo total	A				
Dato fisicoquímico experimental	Humedad relativa (%)	<u>B</u>				
	Temperatura de bulbo húmedo (°C)	C				
	Temperatura de bulbo seco (°C)	<u>D</u>				
	Temperatura de globo (°C)	<u>E</u>				
	Peso inicial (gramos)	<u>F</u>				
Dato experimental	Tiempo 1	<u>G</u>				
	Tiempo 2	<u>H</u>				
	Tiempo 3	<u>I</u>				
	Tiempo 4	<u>J</u>				
	Tiempo 5	<u>K</u>				
	Tiempo 6	<u>L</u>				
	Tiempo 7	<u>M</u>				
	Tiempo 8	<u>N</u>				
	Tiempo 9	<u>O</u>				
	Tiempo 10	<u>P</u>				
	Tiempo 11	<u>Q</u>				

**Nota:** Codificación de variables utilizadas para la red neuronal artificial. \* El número de columnas representa las 30 curvas de secado procesadas.

**Elaborado por:** Autor

### 3.83.9 Determinación de las variables de entrada y variable de salida

Para la matriz de ingreso de datos en el software MATLAB se requiere identificar los datos de entrada: B, C, D, C, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O, P, Q y el dato de salida: A, para las treinta pruebas experimentales del proceso de deshidratación de fresa (*fragaria sp*).

## CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4. Resultados

#### 4.1 Matriz de variables consideradas para ingresar al software Matlab

A continuación, se observa una matriz en la que se coloca los datos obtenidos durante las 30 practicas experimentales realizadas en el laboratorio de la Unach ubicado en el edificio inteligente o CTE. Con un total de diez de características físico experimental y once experimental.

**Tabla 3**

Matriz de características cuantitativas relevantes para ser colocados en el software Matlab

Código	# de Pruebas Variables	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4	Prueba 5	Prueba 6	Prueba 7	Prueba 8	Prueba 9	Prueba 10	Prueba 11	Prueba 12	Prueba 13	Prueba 14	Prueba 15	Prueba 16	Prueba 17	Prueba 18	Prueba 19	Prueba 20	Prueba 21	Prueba 22	Prueba 23	Prueba 24	Prueba 25	Prueba 26	Prueba 27	Prueba 28	Prueba 29	Prueba 30
B	Humedad relativa (%)	48	50	55	55	48	60	55	60	60	56	45	50	52	53	51	51	52	54	53	59	57	56	58	69	73	76	72	74	68	62
C	Temperatura de bulbo húmido	16.7	16.3	16.3	16.0	17.4	16.2	16.7	17.5	17.3	16.5	16.3	16.4	17.3	16.6	17.5	17.5	16.0	16.2	17.4	17.2	16.97	14.1	16.3	15.71	15.1	16.3	15.9	14.4	15.7	14.1



<b>H</b>	<b>60 min</b>	81 .0 5	92	80 .9 6	89 .1 4	86 .0 7	80 .3 9	79 .5 5	91 .0 1	85 .7 1	80 .2 8	86 .7 1	82 .8 5	79 .6 1	80 .0 4	92 .8 9	83 .4 8	84 .0 1	93 .1 4	87 .8 7	88 .7 9	87 .3 6	88 .4 4	93 .7 9	86 .3 3	83 .1 1	86 .4 9	88 .0 8	91 .1 4	91 .6 6	94 .0 9
<b>I</b>	<b>90 min</b>	52 .0 9	64 .1 9	53 .6 4	60 .4 6	58 .8 6	51 .7 8	50 .7 4	63 .4 1	57 .9 7	53 .1 3	59 .5 5	54 .9 7	50 .6 3	51 51	64 .1 7	55 .5 2	55 .9 3	65 .5 1	60 .7 3	61 .0 94	59 .3 7	59 .8 4	65 .0 6	57 .4 1	55	58 .0 6	61 .5 6	62 .7 5	62 .9 1	67 .0 8
<b>J</b>	<b>120 min</b>	35 .0 4	45 .0 9	34 .0 2	40 .8 1	39 .2 4	34 .9 1	33 .1 5	44 .1 1	38 .7 3	33 .7 4	40 .0 6	35 .2 5	32 .9 9	33 .2 9	44 .8 6	36 .1 3	36 .6 1	45 .8 2	41 .8 2	42 .3 6	39 .9 9	40 .1 2	45 .9 1	37 .5 6	35 .7 1	38 .9 6	42 .2 6	43 .0 2	43 .3 8	47 .2 6
<b>K</b>	<b>150 min</b>	29 .3 7	39 .8 9	28 .6 6	35 .5 1	33 .8 8	29 .0 2	28 .1 2	38 .8 1	33 .5 5	28 .1 7	34 .6 6	29 .8 7	27 .8 5	28 .0 8	39 .7 1	30 .6 2	31 .2 1	40 .6 9	36 .6 1	36 .9 3	34 .7 1	34 .8 3	40 .8 6	32 .3 4	30 .3 1	33 .7 6	36 .6 8	37 .8 2	38 .1 1	42 .2 5
<b>L</b>	<b>180 min</b>	25 .8 6	36 .7 7	25 .1 4	32 .0 6	30 .3 7	25 .8 1	24 .6 34	35 .3 5	29 .9 6	24 .7 2	31 .2 7	26 .3 3	24 .4 2	24 .6 4	36 .2 9	27 .1 3	27 .7 2	37 .4 4	33 .1 2	33 .3 9	31 .1 9	31 .4 1	37 .6 2	28 .8 1	26 .8 8	30 .0 5	33 .1 9	34 .3 1	34 .6 1	38 .9 2
<b>M</b>	<b>210 min</b>	23 .4 6	34 .5 4	22 .7 6	29 .7 3	28 .0 5	23 .4 3	22 .2 2	32 .9 4	27 .5 8	22 .3 3	28 .9 1	23 .5 1	22 .1 1	22 .2 6	33 .9 3	24 .7 7	25 .3 6	35 .0 7	30 .7 9	31 .0 7	28 .8 7	29 .0 9	35 .5 5	26 .4 7	24 .5 4	27 .9 1	30 .8 9	31 .9 7	32 .2 4	36 .3 8
<b>N</b>	<b>240 min</b>	22 .3 1	33 .2 7	21 .6 1	28 .5 4	26 .8 4	22 .1 7	21 .0 2	31 .7 7	26 .4 2	21 .1 5	27 .7 9	22 .2 6	21 .0 7	21 .1 8	32 .7 5	23 .6 5	24 .2 1	33 .9 7	29 .6 5	29 .9 2	27 .7 2	27 .9 5	34 .5 2	25 .3 6	23 .4 2	26 .7 7	29 .8 2	30 .8 1	31 .1 1	35 .2 1
<b>O</b>	<b>270 min</b>	21 .6 6	32 .6 5	20 .9 7	27 .8 7	26 .1 7	21 .5 1	20 .3 7	31 .1 6	25 .7 7	20 .4 8	27 .1 8	21 .5 6	20 .4 4	20 .0 5	32 .8 9	22 .6 9	23 .6 6	33 .1 7	28 .8 8	29 .1 9	26 .9 7	27 .2 1	33 .7 7	24 .5 9	22 .8 2	26 .0 3	29 .0 6	30 .0 6	30 .3 3	34 .5 2
<b>P</b>	<b>300 min</b>	21 .2 8	32 .3 1	20 .6 1	27 .4 8	25 .7 8	21 .1 4	20 .0 1	30 .7 7	25 .3 9	20 .1 2	26 .8 1	21 .2 4	20 .0 7	20 .0 1	31 .7 2	22 .5 9	23 .1 9	32 .7 9	28 .5 1	28 .8 7	26 .6 4	26 .8 1	33 .3 9	24 .2 4	22 .4 4	25 .6 6	28 .7 1	29 .7 7	30 .0 1	34 .2 1

Q	330 min	21 .0 4	32 .0 9	20 .4 4	27 .2 2	25 .5 1	20 .8 7	19 .7 5	30 .5 2	25 .1 7	19 .8 7	26 .5 7	21 .0 6	19 .7 3	19 .8 6	31 .4 4	22 .2 4	22 .9 1	32 .5 2	28 .2 7	28 .6 7	26 .4 6	26 .6 5	33 .2 4	24 .0 7	22 .2 1	25 .4 7	28 .5 1	29 .5 7	29 .8 4	34 .0 2
A	360 min	20 .8 7	31 .9 6	20 .2 6	27 .1 5	25 .2 8	20 .7 4	19 .4 7	30 .3 4	24 .9 2	19 .7 2	26 .3 9	20 .9 9	19 .6 2	19 .7 3	31 .2 1	22 .0 9	22 .7 4	32 .4 1	28 .2 1	28 .5 6	26 .3 3	26 .5 3	33 .1 1	23 .9 7	21 .9 8	25 .3 4	28 .3 2	29 .3 6	29 .7 2	33 .8 8

**Nota:** Los códigos G, H, I, J, K, L, M, N, O, P y Q representan los valores obtenidos en gramos luego de someter a la fruta al proceso de deshidratación durante treinta minutos.

**Elaborado por:** Autor.

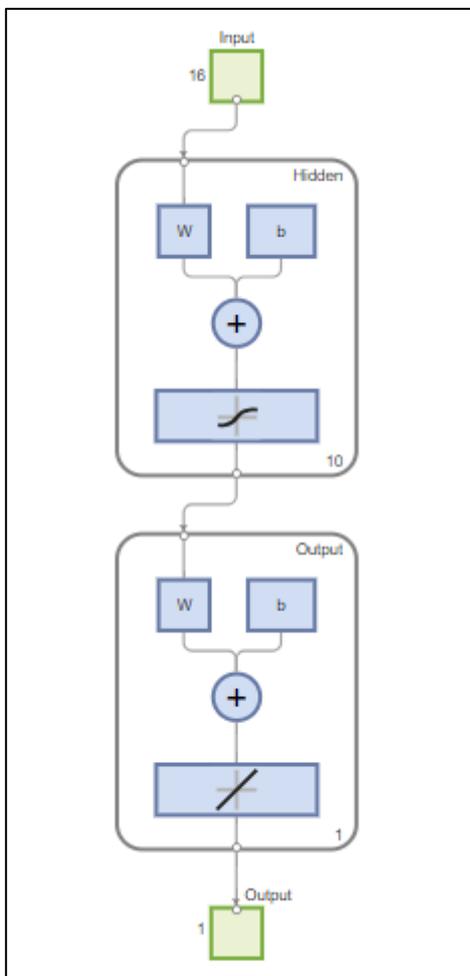
## 4.2 Diseño de la RNA

Para estimar el valor de salida A (tiempo total) se diseñó un modelo de red neuronal artificial RNA con un algoritmo de retro propagación RP. Los valores de entrada se tomaron de las treinta pruebas de secado y del entorno que influye.

En la Figura 7 se observa La Red Neuronal Artificial con Retro Propagación RNA-RP diseñada en MATLAB® la cual está conformada por 16 neuronas receptoras estáticas en la primera capa, 10 neuronas en la capa oculta, 1 neurona dinámica en la capa en la que se hace una sumatoria y en la capa final 1 neurona de salida estática.

**Figura 7**

Red Neuronal Artificial diseñada



**Elaborado por:** Autor.

### 4.3 Entrenamiento de la RNA

Luego de ingresar los datos obtenido de la parte experimental en el software MATLAB, se realiza los entrenamientos y se visualizan las principales características.

**Figura 8**

Proceso de entrenamiento

Training Results

Training finished: Reached minimum gradient ✓

Training Progress

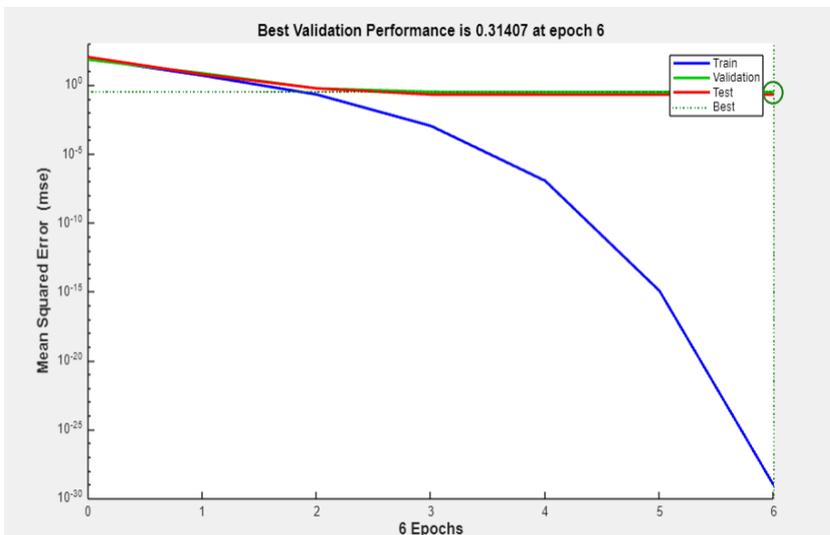
Unit	Initial Value	Stopped Value	Target Value
Epoch	0	6	1000
Elapsed Time	-	00:00:00	-
Performance	85.8	8.41e-30	0
Gradient	262	4.67e-14	1e-07
Mu	0.001	1e-09	1e+10
Validation Checks	0	0	6

**Elaborado por:** Autor.

En la Figura 9 se observa el mejor rendimiento de validación, resultado del entrenamiento de la RNA para estimar el tiempo total en el proceso de secado de fresa (*Fragaria sp.*).

**Figura 9**

Mejor rendimiento de validación

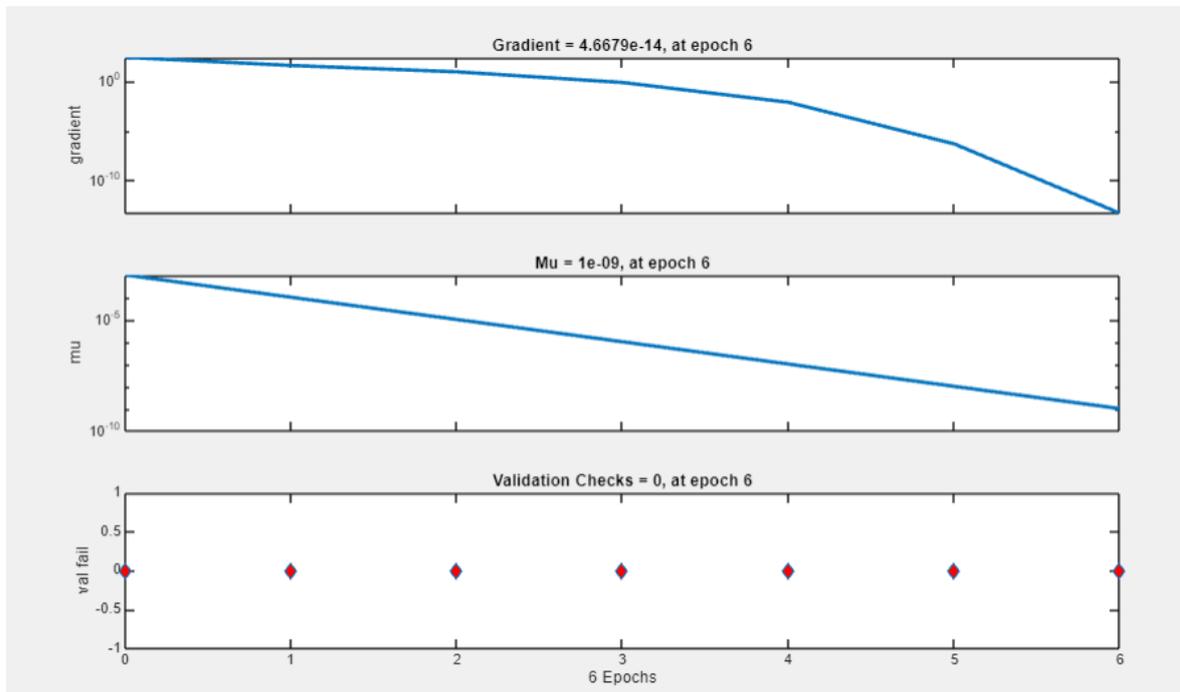


**Elaborado por:** Autor.

En la Figura 10 se observa el entrenamiento de la RNA en proceso de secado de fresa (*fragaria sp.*) que genera el MATLAB. La curva de entrenamiento y el comportamiento casi lineal para los datos de análisis que la programación de la RNA-RP ejecuta para estimar el tiempo total en el proceso de secado de fresa (*fragaria sp.*).

**Figura 10**

Resultado entrenamiento y ajuste de la Red Neuronal Artificial

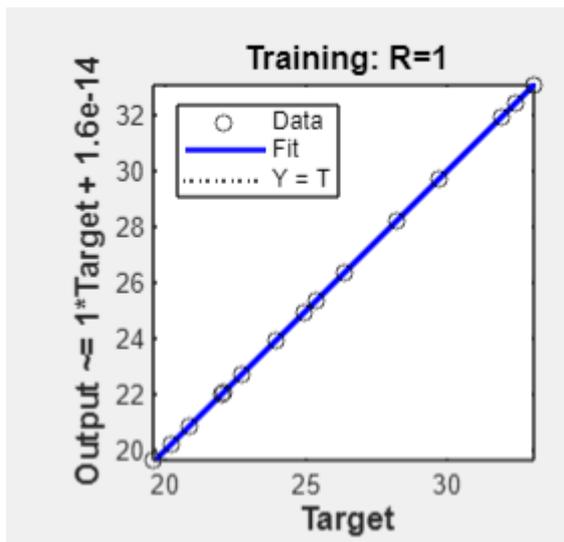


**Elaborado por:** Autor.

En las figuras que se muestran a continuación se observa el comportamiento de los datos luego de ser entrenados.

**Figura 11**

Comportamiento de los datos en el entrenamiento

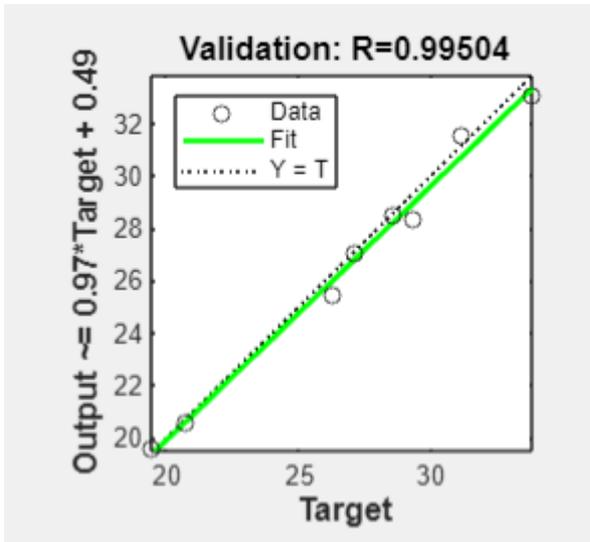


**Nota:** Los datos se encuentran alineados a ajuste o fit, por lo que es un indicador de que es una de las mejores alternativas.

**Elaborado por:** Autor.

**Figura 12**

Validación de los datos

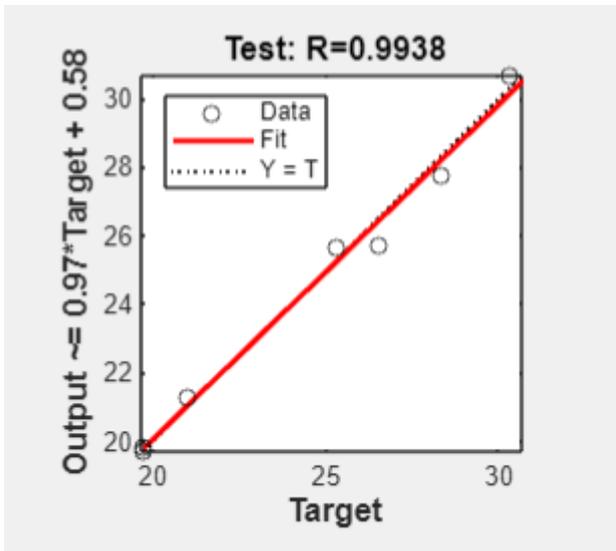


**Nota:** Los datos se encuentran cerca de la línea de ajuste o fit, por lo que es un indicador de que es una de las mejores alternativas.

**Elaborado por:** Autor.

**Figura 13**

Test de los datos



**Nota:** Los datos se encuentran cerca de la línea de ajuste o fit, por lo que es un indicador de que es una de las mejores alternativas.

**Elaborado por:** Autor.

Tomando en cuenta que de las treinta pruebas de secado se han destinado el 51% al entrenamiento, es decir 15 datos, el 25% corresponde a los datos de validación es decir 8 datos y finalmente el 24% para el test que representan 7 datos.

Se observa en la Figura 14 la distribución de los conjuntos de datos y también el MSE (error cuadrático medio), el cual mide la cantidad de error que hay entre dos conjuntos de datos, comparando el valor experimental con el predicho. Se observa que el error es bajo, ya que, el MSE en el entrenamiento es 0 y en la validación y test están cerca del 0 y que la relación entre los valores es cercana debido a que, R en el entrenamiento es 1 y en la validación y test está muy cerca de 1.

**Figura 14**

MSE

	Observations	MSE	R
Training	15	0.0000	1.0000
Validation	8	0.3141	0.9950
Test	7	0.2005	0.9938

**Elaborado por:** Autor.

#### 4.4 Método de estimación de tiempo a través de RNA

En la siguiente tabla, en la segunda columna se observa el valor real que se obtuvo en cada experimento realizando el proceso de deshidratación de la fresa (*fragaria sp*) de manera tradicional, mientras que en la tercera columna se encuentran los valores estimados a través de RNA en el software MATLAB y en la última columna el porcentaje de error que ha sido calculado con la ayuda de la siguiente fórmula:

$$\%Error = \frac{\text{Valor real} - \text{Valor estimado}}{\text{Valor estimado}} * 100\%$$

En la Tabla 4 el número de columnas representa las 30 curvas de secado y se determina que el porcentaje de error máximo es de 3.47 %.

**Tabla 4**

Error calculado en porcentaje entre el valor real y el valor estimado

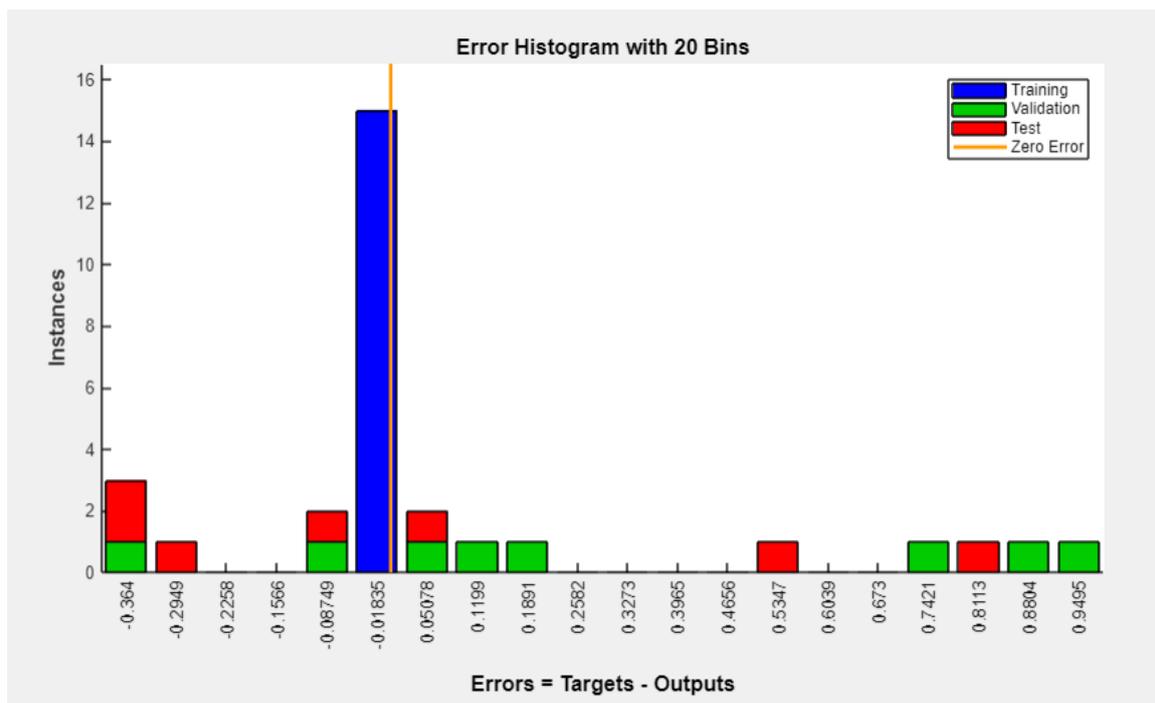
#	Valor real (g)	Valor estimado (g)	Error (%)
1	20.87	20.87	0.00%
2	31.96	31.96	0.00%
3	20.26	20.26	0.00%
4	27.15	27.04	0.41%
5	25.28	25.68	-1.55%
6	20.74	20.55	0.95%
7	19.47	19.59	-0.60%
8	30.34	30.70	-1.18%
9	24.92	24.92	0.00%

10	19.72	19.82	-0.49%
11	26.39	26.39	0.00%
12	20.99	21.31	-1.52%
13	19.62	19.62	0.00%
14	19.73	19.68	0.23%
15	31.21	31.58	-1.19%
16	22.09	22.09	0.00%
17	22.74	22.74	0.00%
18	32.41	32.41	0.00%
19	28.21	28.21	0.00%
20	28.56	28.50	0.20%
21	26.33	25.47	3.39%
22	26.53	25.70	3.23%
23	33.11	33.11	0.00%
24	23.97	23.97	0.00%
25	21.98	21.98	0.00%
26	25.34	25.34	0.00%
27	28.32	27.77	2.00%
28	29.36	28.38	3.47%
29	29.72	29.72	0.00%
30	33.88	33.11	2.32%

Elaborado por: Autor.

**Figura 15**

Histograma del error con la metodología RNA



Elaborado por: Autor.

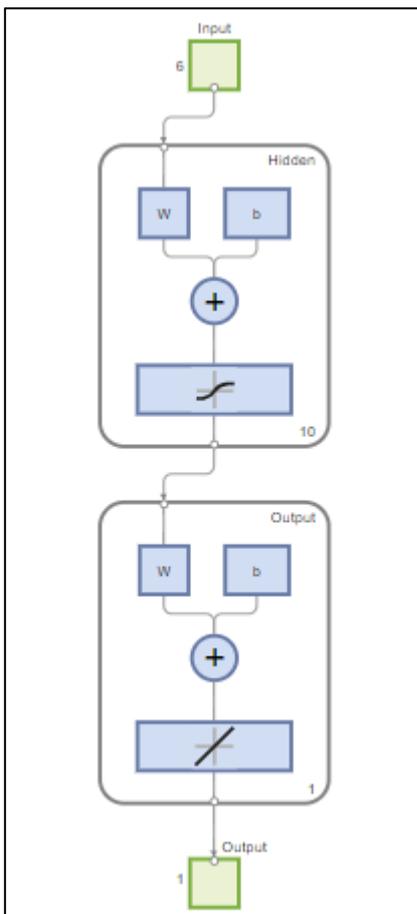
#### 4.5 Entrenamiento de la Red Neuronal Artificial utilizando un solo dato de secado

Para efectos de comparación también se ha colocado en el software Matlab las mismas variables que se definieron anteriormente como son: Humedad relativa (%), Temperatura de bulbo húmedo (°C), Temperatura de bulbo seco (°C), Temperatura de globo (°C) y Peso inicial (gramos) pero en lugar de colocar los 11 valores que se obtuvieron en la parte experimental, solo se colocó el peso en gramos de la fruta luego de haber sido sometido a 30 minutos en el deshidratador bajo las mismas condiciones de altitud, dulzor de la fresa y temperatura del secador que las anteriores, con el objetivo de determinar el error en el cálculo si solo se contara con 1 dato de secado y cuál sería el porcentaje de error con respecto a los resultados obtenidos cuando se cuenta con los 11 datos correspondientes a los pesos de la fruta luego de cada media hora de secado durante 6 horas.

En la Figura 16 se observa La Red Neuronal Artificial con Retro Propagación RNA-RP diseñada en MATLAB® la cual está conformada por 6 neuronas receptoras estáticas, 10 neuronas en la capa oculta, 1 neurona dinámica en la capa en la que se hace una sumatoria y en la capa final 1 neurona de salida estática.

**Figura 16**

Diseño de la RNA con un dato experimental



Elaborado por: Autor

#### 4.6 Entrenamiento de la RNA utilizando un solo dato de secado

Durante el proceso de entrenamiento se obtuvo los siguientes resultados:

**Figura 17**

Proceso de entrenamiento utilizando un solo dato de secado

Training Results

Training finished: Reached minimum gradient ✓

Training Progress

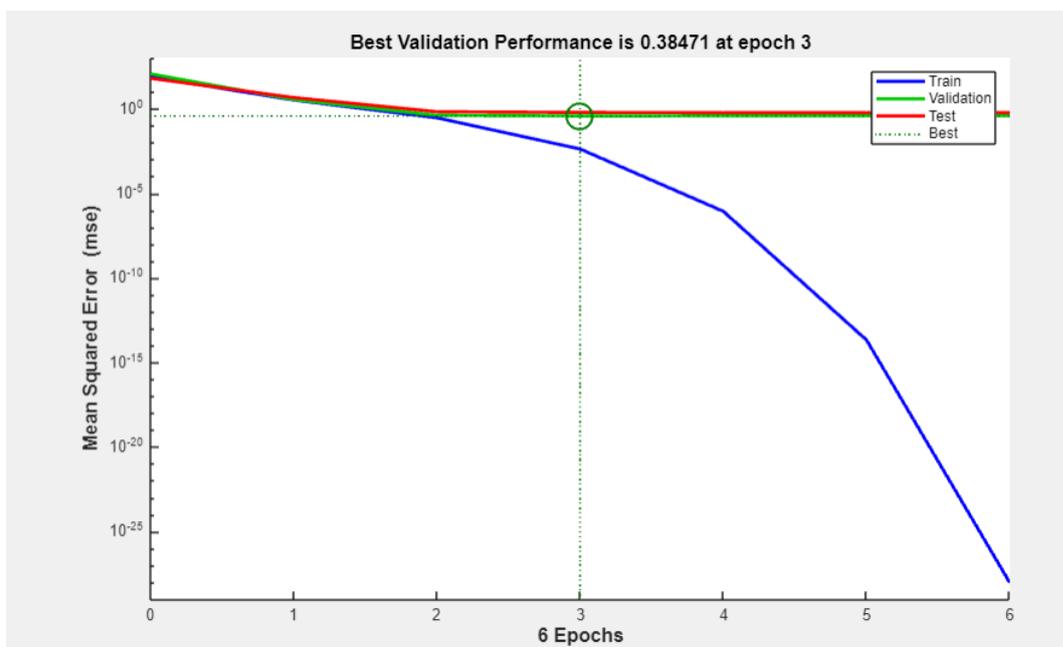
Unit	Initial Value	Stopped Value	Target Value
Epoch	0	6	1000
Elapsed Time	-	00:00:00	-
Performance	77.6	9.31e-29	0
Gradient	262	2.67e-13	1e-07
Mu	0.001	1e-09	1e+10
Validation Checks	0	3	6

**Elaborado por:** Autor.

En la Figura 18 se observa el mejor rendimiento de validación, resultado del entrenamiento de la RNA para estimar el tiempo total en el proceso de secado de fresa (Fragaria sp). Mientras más cerca se encuentra la validación y el test, menos error existe.

**Figura 18**

Mejor rendimiento de validación utilizando un solo dato de secado

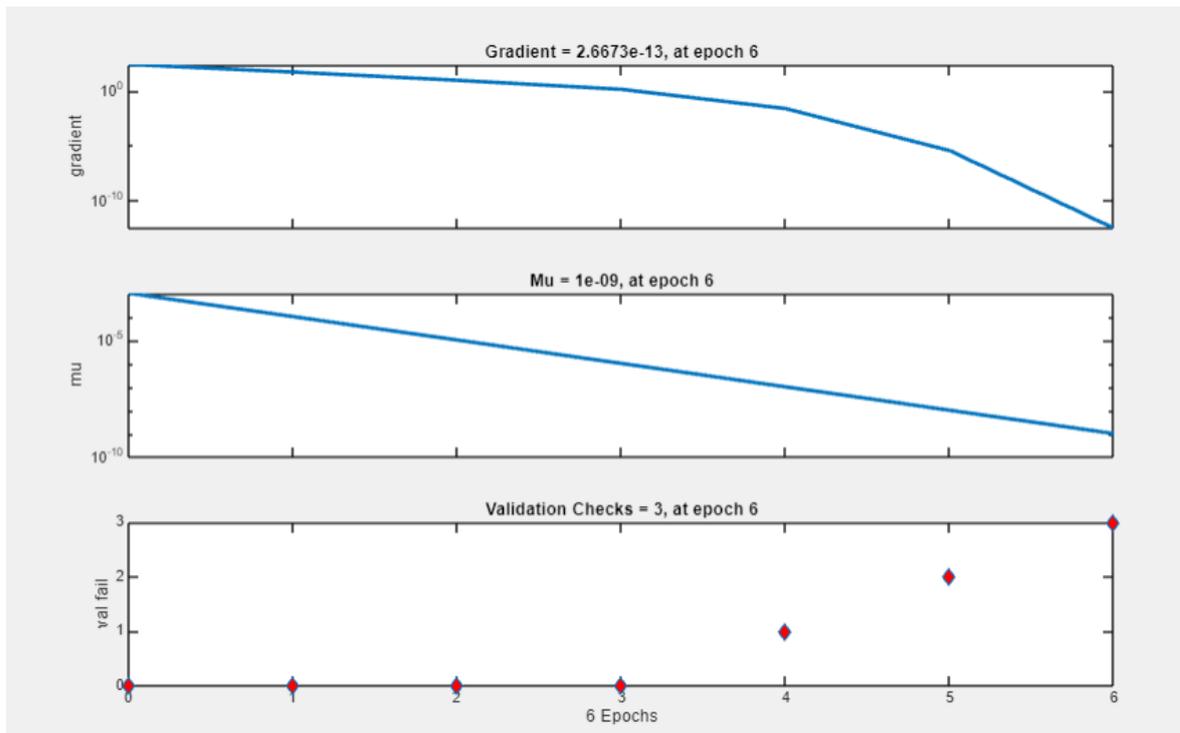


**Elaborado por:** Autor.

En la Figura 19 se observa el entrenamiento de la RNA en proceso de secado de fresa (fragaria sp) que se genera en MATLAB. Se visualiza la curva de entrenamiento y el comportamiento casi lineal para los datos de análisis que la programación de la RNA-RP ejecuta para estimar el tiempo total en el proceso de secado de fresa (fragaria sp).

**Figura 19**

Resultado entrenamiento y ajuste de la Red Neuronal Artificial utilizando un solo dato de secado.

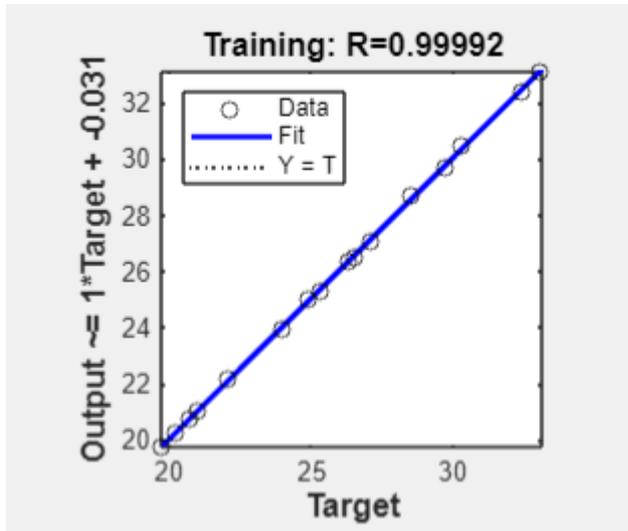


**Elaborado por:** Autor.

En las figuras que se muestra a continuación se observa el comportamiento de los datos luego de ser entrenados.

**Figura 20**

Comportamiento de los datos en el entrenamiento utilizando un solo dato de secado

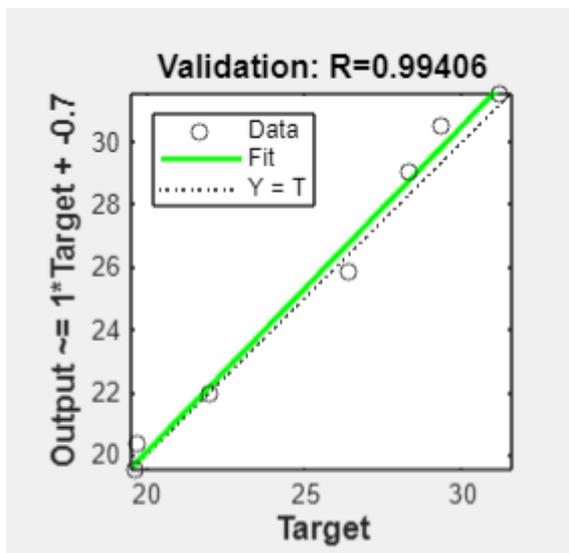


**Nota:** Los datos se encuentran alineados a ajuste o fit, por lo que es un indicador de que es una de las mejores alternativas.

**Elaborado por:** Autor.

**Figura 21**

Validación de los datos con un solo dato de secado

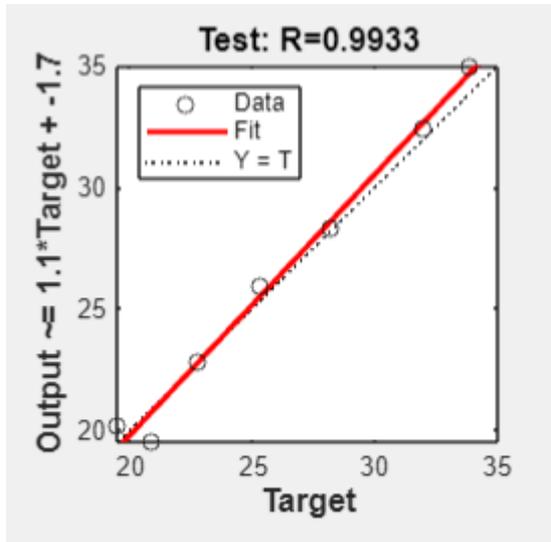


**Nota:** Los datos se encuentran cerca de la línea de ajuste o fit, por lo que es un indicador de que es una de las mejores alternativas.

**Elaborado por:** Autor.

**Figura 22**

Test de los datos con un solo dato de secado



**Nota:** Los datos se encuentran cerca de la línea de ajuste o fit, por lo que es un indicador de que es una de las mejores alternativas.

**Elaborado por:** Autor.

Tomando en cuenta que de las treinta pruebas de secado se ha destinado el 54% al entrenamiento, es decir 16 datos, el 24% corresponde a los datos de validación es decir 7 datos y finalmente el 22% para el test que representa también 7 datos. Se observa en la figura a continuación la distribución de los datos y también el MSE (error cuadrático medio), el cual mide la cantidad de error que hay entre dos conjuntos de datos, comparando el valor obtenido con el predicho.

En la figura 23 se observa que el error es bajo, ya que, el MSE están muy cerca del 0 y que la relación entre los valores es cercana debido a que, R está muy cerca de 1.

**Figura 23**

MSE con un solo dato de secado

	Observations	MSE	R
Training	16	0.0042	0.9999
Validation	7	0.3847	0.9941
Test	7	0.6186	0.9933

**Elaborado por:** Autor.

#### 4.7 Comparación entre los valores arrojados por el software cuando es entrenado con un dato de secado y con once datos de secado

A continuación, se muestra la relación que existe entre los valores que arroja el software Matlab cuando es entrenado con 1 solo dato de secado correspondiente al peso en gramos de la fruta luego de haber sido deshidratada por 30 minutos con los valores cuando

es entrenado con los 11 datos correspondientes a los pesos de la fruta luego de cada media hora de secado durante 6 horas. Para ambos casos se mantienen las variables de: Humedad relativa (%), Temperatura de bulbo húmedo (°C), Temperatura de bulbo seco (°C), Temperatura de globo (°C) y Peso inicial (gramos). Además, se observa que existe un error máximo de 7.07 % si se utiliza únicamente una variable de secado.

**Tabla 5**

Porcentaje de error calculado entre el valor obtenido con una variable de secado y con once variables de secado

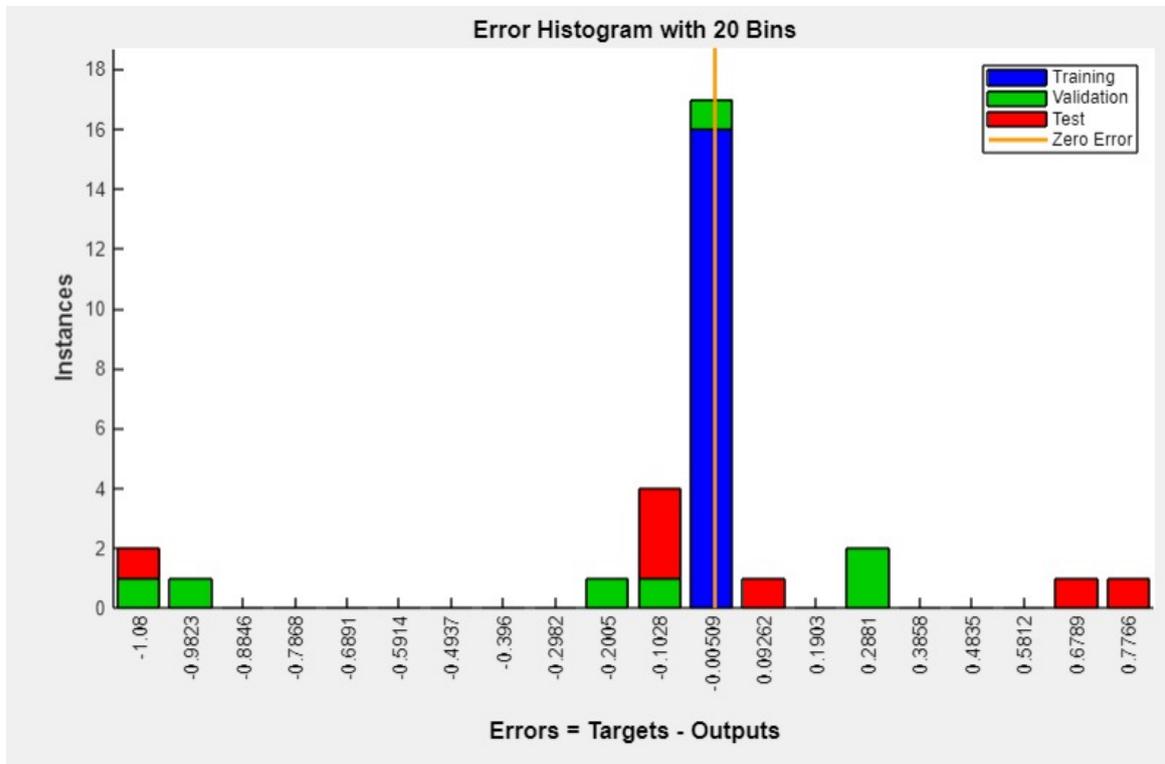
<b>Prueba</b>	<b>Valor experimental</b>	<b>Valor arrojado por el software con 11 variables de secado (g)</b>	<b>Valor arrojado por el software con 1 variable de secado (g)</b>	<b>Error (%)</b>
1	20.87	20.87	19.49	7.07%
2	31.96	31.96	32.40	-1.35%
3	20.26	20.26	20.28	-0.11%
4	27.15	27.04	27.11	-0.25%
5	25.28	25.68	25.96	-1.09%
6	20.74	20.55	20.76	-1.03%
7	19.47	19.59	20.14	-2.75%
8	30.34	30.70	30.49	0.68%
9	24.92	24.92	25.02	-0.40%
10	19.72	19.82	20.37	-2.70%
11	26.39	26.39	25.84	2.12%
12	20.99	21.31	21.01	1.45%
13	19.62	19.62	19.52	0.52%
14	19.73	19.68	19.75	-0.35%
15	31.21	31.59	31.56	0.06%
16	22.09	22.09	22.16	-0.32%
17	22.74	22.74	22.81	-0.30%
18	32.41	32.41	32.44	-0.08%
19	28.21	28.21	28.33	-0.44%
20	28.56	28.50	28.69	-0.67%
21	26.33	25.47	26.39	-3.49%
22	26.53	25.70	26.50	-3.03%
23	33.11	33.11	33.15	-0.13%
24	23.97	23.97	23.95	0.08%
25	21.98	21.98	21.98	0.01%
26	25.34	25.34	25.32	0.07%
27	28.32	27.77	29.05	-4.43%
28	29.36	28.38	30.50	-6.97%
29	29.72	29.72	29.70	0.05%

30	33.88	33.11	35.02	-5.45%
----	-------	-------	-------	--------

Elaborado por: Autor.

**Figura 24**

Histograma del error cuando se utiliza 1 variable de secado en el software Matlab



Elaborado por: Autor.

#### 4.8 Error promedio de los valores determinados por el software Matlab

En la Tabla 6 se observa el error promedio cuando se ingresaron tanto las once variables de secado como cuando solo se ingresó una y se puede determinar que al ingresar todos los valores el error es de 0.76 %, mientras que, con un solo dato de secado, el error aumenta a un 1.58%.

**Tabla 6**

Error promedio

Valores de secado ingresados	% Error
1 valor	1.58 %
11 valores	0.76 %

Elaborado por: Autor.

#### 4.9 Análisis estadístico

Se aplicó el estadístico prueba T en el software SPSS para poder comprar los valores independientes obtenidos en las pruebas experimentales (valor real) y el valor determinado a través de RNA (valor estimado).

En la Figura 24 se observa las medias del valor real y estimado, además de la desviación estándar considerando los 30 datos ingresados.

**Figura 25**

Estadísticas de grupo

Estadísticas de grupo					
	Variables	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
Datos	Real	30	25,7067	4,54447	,82970
	Estimado	30	25,6155	4,47514	,81705

Elaborado por: Autor.

En la figura a continuación se observa que en la Prueba de Levene la cual nos ayuda a identificar la igualdad de las varianzas, se obtiene un sig de 0.838 el cual al ser mayor que 0,05 nos dice que no se rechaza la hipótesis nula ( $\sigma_{G1}^2 = \sigma_{G2}^2$ ), lo que indica que las varianzas son iguales y por lo tanto se selecciona la prueba t de la fila de arriba. El sig bilateral en la prueba t es de 0.938, al ser mayor a 0,05 no se rechaza la hipótesis nula ( $\mu_{G1} = \mu_{G2}$ ) por lo que nos indica que las medias son iguales, es decir, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas.

**Figura 26**

Prueba T- Student de muestras independientes

Prueba de muestras independientes										
		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias						
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
Datos	Se asumen varianzas iguales	,042	,838	,078	58	,938	,09122	1,16446	-2,23970	2,42214
	No se asumen varianzas iguales			,078	57,986	,938	,09122	1,16446	-2,23972	2,42215

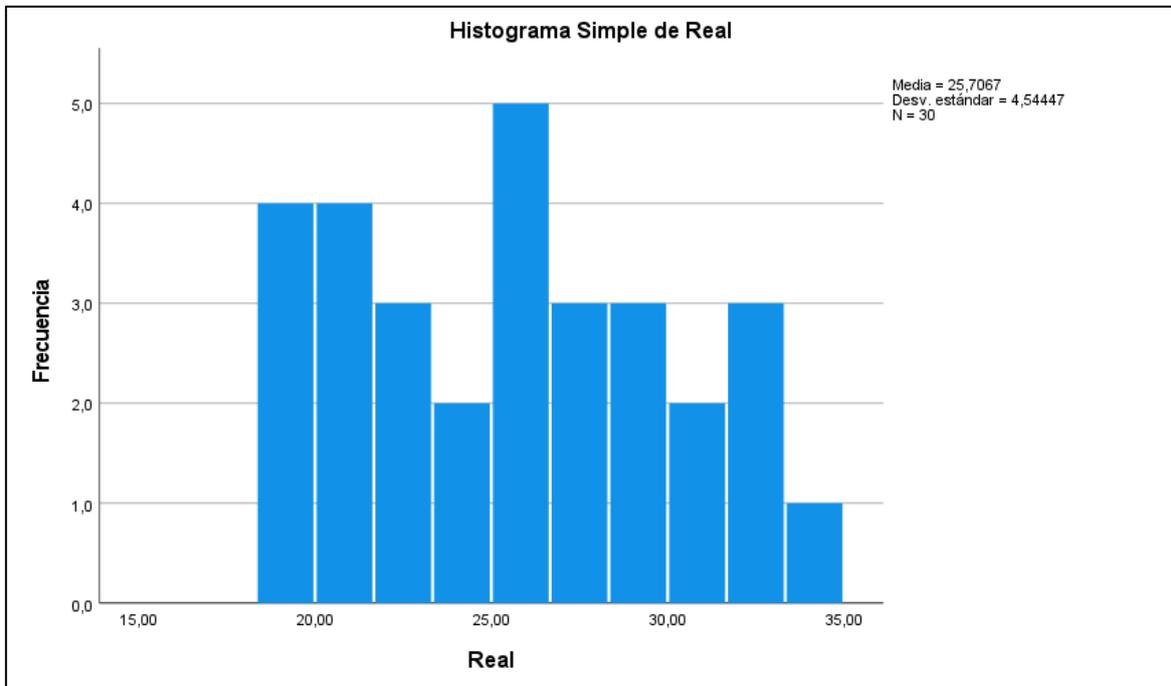
Elaborado por: Autor.

Para un mejor entendimiento se coloca los histogramas de los valores reales los cuales han sido obtenidos de las pruebas experimentales y de los valores estimados los cuales fueron arrojados por las RNA.

En la Figura 27 se muestra una media de 25.71 g de las treinta pruebas realizadas en el laboratorio, lo que indica el peso total de 300 g de fresa luego de ser deshidratadas por 6 horas.

**Figura 27**

Histograma de los valores reales

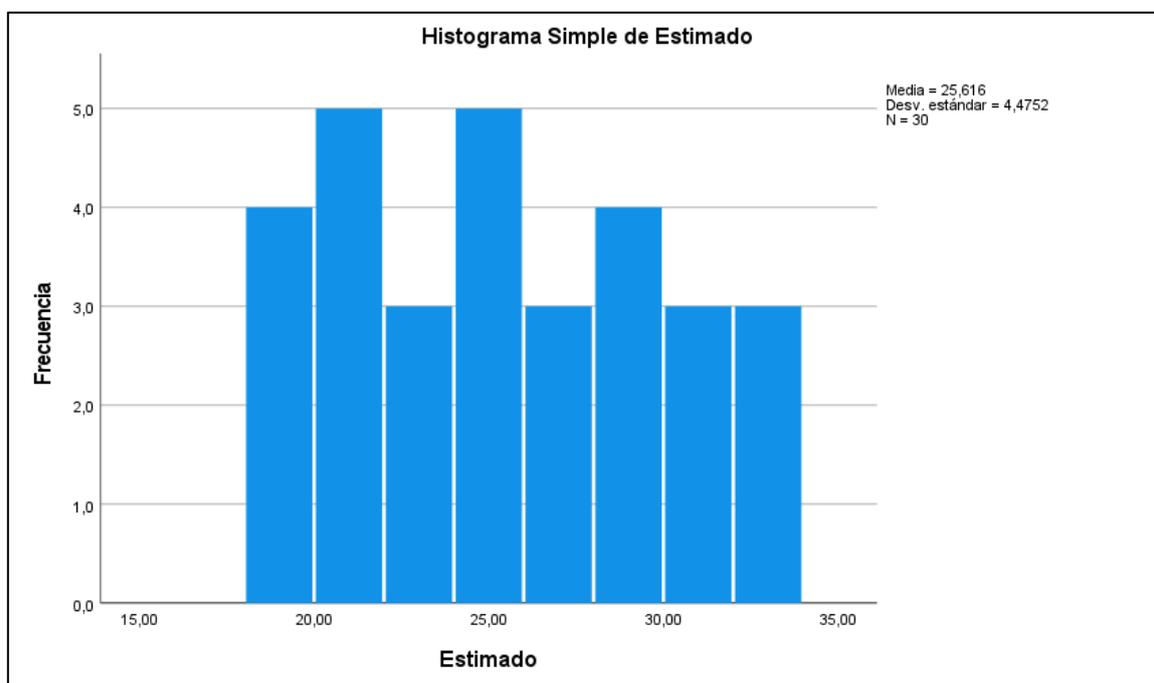


**Elaborado por:** Autor.

En la Figura 28 se muestra una media de 25.62 g de las treinta pruebas realizadas en el laboratorio, lo que indica el peso total de 300 g de fresa luego de ser deshidratadas por 6 horas.

**Figura 28**

Histograma de los valores estimados



Elaborado por: Autor.

#### 4.10 Recursos invertidos para calcular el tiempo de secado

Para poder comparar ambas metodologías en lo referente a costos invertidos se ha realizado cálculos y los resultados se observan en la tabla a continuación, para observar de una manera detallada ver en Anexo 1 y Anexo 2.

En la Tabla 7, los valores establecidos representan los costos en dólares americanos que se requiere para poder llevar a cabo estas ambas metodologías.

**Tabla 7**

Comparación de los recursos invertidos

Costos de la metodología tradicional	Costos de la metodología que utiliza RNA
\$1444.6	\$105.0

Elaborado por: Autor.

#### **4.11 Tiempo invertido en cada metodología**

A continuación, se muestra los tiempos requeridos para determinar el tiempo total de secado de la fresa utilizando ambas metodologías. Para observar de una manera detallada ver en Anexo 3.

**Tabla 8** Comparación del tiempo invertido

<b>Tiempo en la metodología tradicional</b>	<b>Tiempo de la metodología que utiliza RNA</b>
273.75h	2.65h

**Elaborado por:** Autor.

## CAPÍTULO V. CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES

### 5. Conclusiones y recomendaciones

#### 5.1 Conclusiones

En el proceso de investigación, se llevó a cabo una exhaustiva identificación y análisis de las características cuantitativas pertinentes de las fresas (*Fragaria sp*), con el objetivo de incorporarlas en el software MATLAB para la creación de una matriz que posibilite la estimación del tiempo de secado mediante el uso de Redes Neuronales Artificiales. Estas características, detalladamente estudiadas, son esenciales para el desarrollo de un modelo preciso y eficiente. Las características cuantitativas consideradas son: a) humedad relativa; b) temperatura de bulbo húmedo; c) temperatura de bulbo seco, d) temperatura de globo; e) peso inicial de la fruta que se coloca en la bandeja y los pesos que fueron tomados cada treinta minutos f) tiempo 1, g) tiempo 2; h) tiempo 3; i) tiempo 4; j) tiempo 5; k) tiempo 6; l) tiempo 7; m) tiempo 8; o) tiempo 9; p) tiempo 10, q) tiempo 11 y r) tiempo final.

La red neuronal artificial diseñada para estimar el tiempo total de secado de la fresa (*fragaria sp*) en el software MATLAB que utiliza el algoritmo de Retro Propagación como mejor alternativa obtuvo como resultado cuatro capas: a) la primera capa cuenta con 16 neuronas receptoras estáticas; b) en la segunda capa también llamada capa oculta existen 10 neuronas; c) en la tercera capa se encuentra 1 neurona dinámica y d) en la capa cuatro existe 1 sola neurona de salida estática, con errores de cálculo de menos 3.47 %. Para determinar el mejor modelo se calculó el MSE o también llamado error cuadrático medio el cual mide la cantidad de error que hay entre dos conjuntos de datos, comparando el valor obtenido con el predicho y se obtuvieron valores de cero en entrenamiento, 0.31 en validación y 0.2 en test, al ser valores cercanos a cero nos indican que es un modelo óptimo. Este experimento es desarrollado bajo ciertas condiciones específicas, a una altitud de 2754 msnm, ya que se realizó en la ciudad de Riobamba con fresas de la parroquia Valparaíso las cuales cuentan con un dulzor de 12 °Brix promedio y a una temperatura del deshidratador de 65°C. Con la ayuda del Software SPSS y el estadístico prueba T- Student de muestras independientes, se determinó que las medias son iguales, es decir, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los valores obtenidos en las pruebas experimentales (valor real) y el valor determinado a través de RNA (valor estimado) esto quiere decir que el método que utiliza Redes Neuronales Artificiales es un método eficiente que logra resultados iguales en una menor cantidad de tiempo.

Para efectos de comparación también se ha colocado en el software Matlab las mismas variables que se definieron anteriormente como son: Humedad relativa (%), Temperatura de bulbo húmedo (°C), Temperatura de bulbo seco (°C), Temperatura de globo (°C) y Peso inicial (gramos) pero en lugar de colocar los 11 valores que se obtuvieron en la parte experimental, solo se colocó el peso en gramos de la fruta luego de haber sido sometido a 30 minutos en el deshidratador bajo las mismas condiciones de altitud, dulzor de la fresa y temperatura del secador que las anteriores, con el objetivo de determinar el error en el cálculo si solo se contara con 1 dato de secado y cuál sería el porcentaje de error con respecto a los resultados obtenidos cuando se cuenta con los 11 datos correspondientes a los pesos de la

fruta luego de cada media hora de secado durante 6 horas. Se determinó que cuando se ingresa al software las once variables el error promedio es de 0.76 %, mientras que cuando se utiliza una variable el error promedio asciende a 1.58 %, para ambos casos el error es aceptable lo que indica que si conocemos únicamente la primera variable de secado podríamos determinar el valor luego de las seis horas de secado sin necesidad de contar con las demás variables lo que hace a este método aun más eficiente.

La realización de treinta pruebas de secado mediante la metodología tradicional que utiliza un secador de bandejas permitió determinar que el tiempo total de secado de la fresa (*fragaria sp*) tiene un costo de \$1,444.60, en este procedimiento se evaluaron detalladamente los costos directos que incluyen los costos de fabricación que abarcan el consumo de energía, la materia prima, el líquido desinfectante, el papel absorbente, también se colocó el costo de los utensilios y el salario del operario y para los costos indirectos se analizó los alquileres de equipos, transporte y alimentación de quien realiza la tarea. Todos estos costos se hallaron únicamente para secar el flujo másico de fresas (*fragaria sp*) diario, es decir, aproximadamente 300 g y luego se consideró el número de pruebas a realizarse para obtener el costo total.

## 5.2 Recomendaciones

Realizar pruebas con toda la capacidad del horno, es decir utilizando todas las bandejas con fruta para poder determinar el tiempo total de secado en este caso y hallar la variación de tiempo que se requiere para secar diez bandejas y comparar con los resultados obtenidos en esta investigación. Futuros estudios podrían enfocarse en el análisis económico a mayor escala.

Considerar la recolección de un conjunto de datos más amplio y diverso que incluya fresas de diferentes variedades, cultivos, altitudes y condiciones climáticas lo que permitirá alimentar y mejorar la capacidad predictiva del modelo. También se podría evaluar la inclusión de otras variables relevantes que puedan afectar el tiempo de secado como el tamaño y la forma de las fresas, las condiciones de cultivo, etc.

Desarrollar una interfaz de usuario amigable que permita a los usuarios introducir datos y recibir estimaciones precisas del tiempo de secado de manera sencilla, para facilitar la adopción del sistema de estimación del tiempo de secado basado en Redes Neuronales Artificiales en entornos industriales.

Se recomienda utilizar redes neuronales artificiales para determinar el tiempo total de secado de la fresa (*fragaria sp*) debido a que, esta metodología toma 2.65h con un costo de \$105,00 mientras que, la metodología tradicional requiere de 273.75h y un costo de \$1.444,60. La metodología que utiliza RNA es más eficiente, pues en temas de tiempo es 100 veces más rápido y 15 veces más económica en comparación a la metodología de secado tradicional que utiliza un secador de bandejas.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, V., & Acosta, J. (2005). Implementación de un sistema de calidad para la mejora continua de los procesos de deshidratación de frutas de la empresa Deshifrut.
- Acuña, J. (2020). Manual de recomendaciones técnicas para su cultivo en el departamento de Cundinamarca (p. 23).
- Avenu. (2023, May 9). Programación e ingeniería: ¿qué es y para qué sirve MATLAB?
- AWS. (2023). ¿Qué es una red neuronal? [https://la.mathworks.com/discovery/neural-network.html#:~:text=MATLAB%20y%20Deep%20Learning%20Toolbox,series%20temporales\)%20y%20el%20clustering](https://la.mathworks.com/discovery/neural-network.html#:~:text=MATLAB%20y%20Deep%20Learning%20Toolbox,series%20temporales)%20y%20el%20clustering).
- Benítez, R., Cencerrado, A., Escudero, G., & Kanaan, S. (2018). Inteligencia artificial avanzada.
- British Standard. (2002). Términos, definiciones y fórmulas.
- Cánovas, & Barbosa G. (1996). Dehydration of Foods.
- Carrillo, M. L., & Reyes, A. (2013). Vida útil de los alimentos. Revista Iberoamericana de Las Ciencias Biológicas y Agropecuarias.
- Ceballos-Ortiz, E. M., & Jiménez-Munguía, M. T. (2012). Cambios en las propiedades de frutas y verduras durante la deshidratación con aire caliente y su susceptibilidad al deterioro microbiano. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 98–110. <https://tsia.udlap.mx/cambios-en-las-propiedades-de-frutas-y-verduras-durante-la-deshidratacion-con-aire-caliente-y-su-susceptibilidad-al-deterioro-microbiano/>
- Cengel, Y. (2012). *Termodinámica* (Séptima).
- Contento, R., abril, D., Vargas, E., Varela, D., Arango, L., Useche, B., Garzón Fredy, Eslava, A., Rodríguez, E., Piñeros, Y., & Manjarrés, K. (2009). *Manual de prácticas de Ingeniería de Alimentos* (Y. Piñeros & E. Rodríguez, Eds.).
- de Caldas, F. (1942). *Semanario del Nuevo Reino de Granada: Vol. III*.
- Decreto 2484 Código Alimentario Español. (1967).
- Fito, P., Andrés, A. M., Barat, J. M., & Albors, A. M. (2001). *Introducción al secado de alimentos por aire caliente*. Editorial U.P.V. [https://gdocu.upv.es/alfresco/service/api/node/content/workspace/SpacesStore/e8b523c5-4970-4ae6-b2a3-86f576e81359/TOC\\_4092\\_02\\_01.pdf?guest=true](https://gdocu.upv.es/alfresco/service/api/node/content/workspace/SpacesStore/e8b523c5-4970-4ae6-b2a3-86f576e81359/TOC_4092_02_01.pdf?guest=true)
- Flores, R., & Fernández, J. M. (2008). *Las Redes Neuronales Artificiales* (Netbiblo).
- García, A., Muñiz, S., Hernández, A., González, L., & Fernández, D. (2013). Evaluación económica de la aplicación de los procesos tecnológicos de deshidratación Osmótica y por Flujo de Aire Caliente de la piña (Ananas Comosus) variedad Cayena lisa. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 22(2), 16–20. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93225718003>
- García, M. (2024, February 19). Retropropagación . <https://msmk.university/inteligencia-artificial/backpropagation#:~:text=El%20aprendizaje%20supervisado%20o%20retropropagaci%C3%B3n,junto%20con%20una%20salida%20deseada>.
- Gatley, D. (2013). *Understanding Psychrometrics*.
- Google. (2023, July 30). Parroquia Valparaíso, Cantón Guano. <https://www.google.com/maps/place/Parroquia+Valparaiso/@-1.5758003,->

- 78.6029412,17z/data=!3m1!4b1!4m6!3m5!1s0x91d3a6cfa46d1a19:0xea85c5aadfc70857!8m2!3d-1.5758003!4d-78.6003663!16s%2Fg%2F11dfk1fc6p?authuser=0&entry=ttu
- Hilera, J., & Martínez, V. (1995). *Redes neuronales artificiales: fundamentos, modelos y aplicaciones*.
- IICA COLCIENCIAS. (1980). *Curso sobre preparación y evaluación de proyectos agropecuarios y agroindustriales.: Vol. Tomo III*.
- Instituto de Salud Pública de Chile. (2013). *Protocolo para la Medición de Estrés Térmico*.
- Landwehr, T. (2001). *La deshidratación de frutas Métodos y Posibilidades* (T. Norato, Ed.). CORPOICA.
- Lanza, L., & Becerra, Y. (2023). *Estudio del mercado consumidor de la fruta deshidratada y frutos secos en el municipio de Florencia-Caquetá*.
- Llano, M. (2020). *Para una buena alimentación: deshidratación de frutas tropicales*. *Revista Universitas Científica*.
- López, C., & Rodríguez, J. L. (2016). *Control de la conservación de los alimentos para el consumo y distribución comercial* (S. A. Ediciones Paraninfo, Ed.).
- Martín del Brío, B., & Sanz, A. (2006). *Redes neuronales y sistemas borrosos* (3rd ed.).
- Martines, E. (2007). *DEFINICIONES DE HUMEDAD Y SU EQUIVALENCIA*. ENME. <https://www.cenam.mx/dme/pdf/tm02.pdf>
- Observatorio de Complejidad Económica (OEC). (2021, December). *Frutas secas en Ecuador*. <https://oec.world/es/profile/bilateral-product/dried-fruits/reporter/ecu#:~:text=Importaciones%3A%20En%202021%2C%20Ecuador%20import%C3%B3,527%20m%C3%A1s%20importado%20en%20Ecuador>.
- Patiño, V. (2002). *Historia y dispersión de los frutales nativos del neotrópico*.
- QuestionPro. (2024). *Qué es SPSS y cómo utilizarlo*. <https://www.questionpro.com/es/que-es-spss.html>
- Rodiles, J., & Zamora, R. (2020, September 9). *Secado en la industria de alimentos*. <https://tecnoagro.com.mx/no.-143/secado-en-la-industria-de-alimentos>
- Rodríguez, R. (2021). *El descenso del gradiente*. <https://lamaquinaoraculo.com/deep-learning/el-descenso-del-gradiente/>
- Romero, I., Díaz, V., & Aguirre, A. (2016). *Fortalecimiento de la cadena de valor de los snacks nutritivos con base en fruta deshidratada en El Salvador*.
- Ruiz, L. (2016). *Diseño de un secador de bandejas para la deshidratación de plátano en la parroquia Veracruz del cantón Pastaza [Escuela Superior Politécnica De Chimborazo]*. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/5677/1/96T00337.pdf>
- Sánchez, N. (2022). *Estimación de la humedad crítica para el secado de manzanas (Pyrus malus) utilizando redes neuronales artificiales*. [UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO]. <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/36082/1/AL%20865.pdf>
- Soria, N., & León, J. (1992). *El cultivo del Manzano en la zona alta del Ecuador*. INIAP.

## 7. ANEXOS

### 7.1 Recursos invertidos para calcular el tiempo de secado

**Anexo 1:** Cálculos para determinar los costos de las pruebas de secado por la metodología tradicional

**Tabla 9**

Costo de fabricación para elaborar una prueba de secado de fresa

	<b>Cantidad</b>	<b>Costos</b>	
Fresas	300 g/día	\$	0,50
Agua	10 L	\$	1,00
Líquido desinfectante	10 ml	\$	0,30
Papel absorbente	5 toallitas	\$	0,25
Energía eléctrica		\$	0,77
Total		\$	<b>2,82</b>

**Nota:** El costo de fabricación para una práctica de secado de 300g de fresa es de \$2.82

**Elaborado por:** Autor

**Tabla 10**

Utensilios que se requieren para elaborar las pruebas de secado

<b>Utensilios</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Costo Total</b>
Cuchillo	1	\$ 3,00	\$ 3,00
Tabla picar	1	\$ 5,00	\$ 5,00
Recipiente	3	\$ 4,00	\$ 12,00
Total			\$ <b>20,00</b>

**Nota:** Se coloca el costo de los utensilios necesarios para realizar pruebas de secado.

**Elaborado por:** Autor

En la tabla a continuación se coloca los costos directos que se deben cubrir para secar 300 g/día de fresa.

**Tabla 11**

Costos directos

<b>Costos directos</b>	<b>Costo</b>
Costo de fabricación	\$ 2,82
Utensilios	\$ 0,67
Salario operario	\$ 15,33
Total	\$ <b>18,82</b>

**Nota:** Para hallar el costo de utensilios y el salario del operario se divide para treinta, el número de pruebas realizadas en total.

**Elaborado por:** Autor

**Tabla 12**

Costos indirectos

Costos indirectos	Cantidad	Costo
Alquiler Secador de bandejas	1	\$ 13,33
Alquiler Balanza digital	1	\$ 1,00
Transporte		\$ 9,00
Alimentación		\$ 6,00
Total		\$ 29,33

**Nota:** Se considera el costo por día de alquiler de los equipos y alimentación y transporte del operario diariamente

**Elaborado por:** Autor.

Para hallar el costo total (CT) que se requiere para determinar el tiempo de secado de la fresa (fragaria sp) a través de la metodología tradicional, se debe sumar los costos directos (CD) e indirectos (DI) y multiplicarlo por el número de prácticas realizadas.

$$CT = (18.82 + 29.33) * 30$$

$$CT = \$1444.6$$

**Anexo 2:** Cálculos para determinar los costos de las pruebas de secado por la metodología que utiliza RNA

En la Tabla 13 se hace referencia a el software Matlab y el costo de la tutoría corresponde a 2h de clase con un experto en el manejo de RNA.

**Tabla 13** Costos de la metodología con RNA

Metodología RNA	Costo
Instalación del software	\$35
tutoría RNA	\$70
Total	\$105

**Elaborado por:** Autor.

## 7.2 Cálculo de los tiempos que se requiere para determinar el tiempo total de secado de ambas metodologías

**Anexo 3:** Tiempo invertido en ambas metodologías

En la Tabla 14 se toman los tiempos completos para el Traslado a la parroquia Valparaíso y la Cosecha solo en la mitad de las practicas debido a que se realiza esas actividades cada dos días, mientras que, para el traslado al laboratorio de la Unach disminuye a la mitad por tema de distancias.

**Tabla 14**

Tiempo invertido en la metodología tradicional

<b>Actividad</b>	<b>Practica 1</b>	<b>Practica 2</b>
	<b>Tiempo en min</b>	<b>Tiempo en min</b>
Traslado a la parroquia	30	0
Cosecha	60	0
Traslado al laboratorio UNACH	30	15
Colocar fruta en el deshidratador	90	90
Secado	360	360
Limpieza del laboratorio	30	30
Total	600	495
<b>Promedio diario</b>		<b>548</b>

**Elaborado por:** Autor.

Una vez que se determinó el tiempo promedio que toma cada práctica, se multiplica por el número de prácticas. Finalmente se convierte el tiempo total que toma la metodología tradicional en horas

$$\text{Tiempo total} = \text{promedio diario} * \text{número de prácticas}$$

$$\text{Tiempo total} = 548 \text{ min} * 30$$

$$\text{Tiempo total} = 273.75 \text{ h}$$

Para determinar el tiempo total de secado de la fresa (*fragaria sp*) utilizando RNA se requiere los siguientes tiempos:

**Tabla 15**

Tiempo invertido en la metodología que utiliza RNA

<b>Actividad</b>	<b>Tiempo en min</b>
Instalar el software MATLAB	30
Tutoría	120
Ingresar las entradas/salidas	2
Importar datos	2
Entrenamiento	0,2
Test	5
<b>Total</b>	<b>159,2</b>

**Elaborado por:** Autor.

Una vez que se halla el tiempo total obtenido con la metodología que utiliza RNA, se transforma a horas.

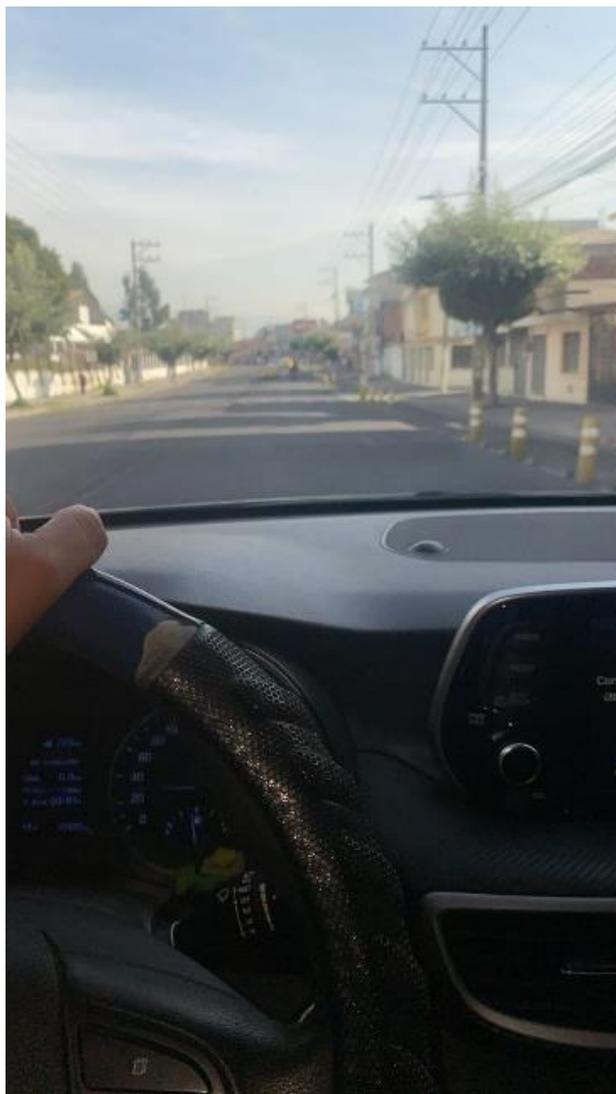
$$\text{Tiempo total} = 2.65 \text{ h}$$

### 7.3 Elaboración del secado de fresa (*fragaria sp*) de manera tradicional utilizando un secador de bandejas

**Anexo 4:** Traslado a la parroquia Valparaíso.

**Figura 29**

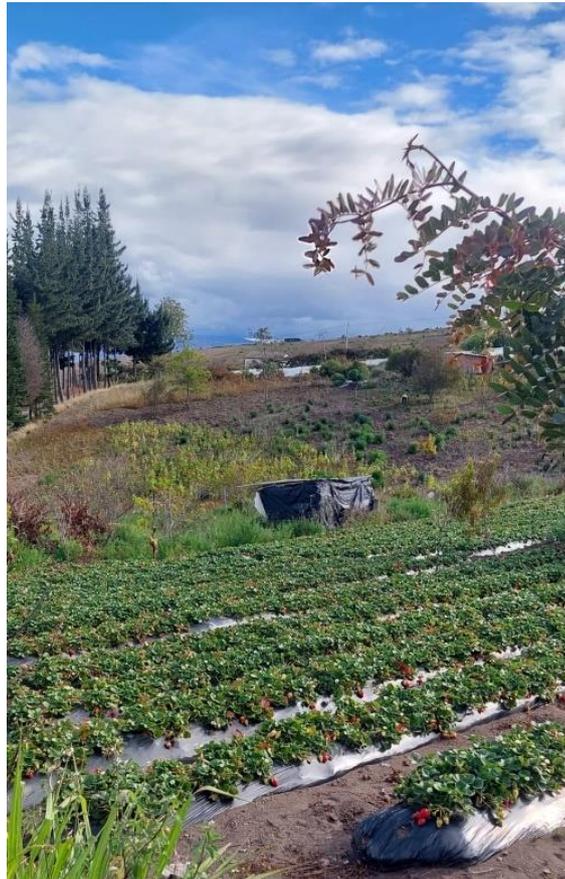
Traslado desde la ciudad de Riobamba hasta la parroquia Valparaíso



**Elaborado por:** Autor.

### Figura 30

Propiedad ubicada en la parroquia Valparaíso



Elaborado por: Autor.

### Anexo 5: Cosecha

### Figura 31

Cosecha de la fresa (fragaria sp)



**Nota:** Se realiza la cosecha cada dos días en la parroquia Valparaíso en la propiedad del señor Wilson Orozco ubicada a 10 min del GADPR de Valparaíso.

**Elaborado por:** Autor.

**Figura 32**

Selección de la fresa (fragaria sp)



**Nota:** Se selecciona únicamente las fresas maduras en buen estado.

**Elaborado por:** Autor.

**Anexo 6:** Traslado al laboratorio de la Unach

**Figura 33**

Laboratorio ubicado en el subsuelo del edificio CTE



**Elaborado por:** Autor.

**Figura 34**

Fachada del laboratorio



**Elaborado por:** Autor.

**Anexo 7:** Colocar la fruta en el deshidratador.

**Figura 35**

Lavado y desinfección de fresa (fragaria sp)



**Nota:** Se debe lavar con abundante agua y colocar el líquido para desinfectar frutas, dejar reposar por 5 minutos.

**Elaborado por:** Autor.

**Figura 36**  
Corte de la fruta



**Nota:** Las rebanadas deben realizarse de un grosor de 2 mm a 4 mm.

**Elaborado por:** Autor.

**Figura 37**  
Pesaje de la bandeja



**Nota:** Se toma el peso de la bandeja para luego colocar las rebanadas de fresa (*fragaria sp*) y determinar el peso neto de la fruta.

**Elaborado por:** Autor.

**Figura 38**  
Pesaje de la fruta



**Nota:** Se coloca la bandeja con las fresas en la balanza y se pesa para obtener el valor en gramos. Se debe restar el peso de la bandeja.

**Elaborado por:** Autor.

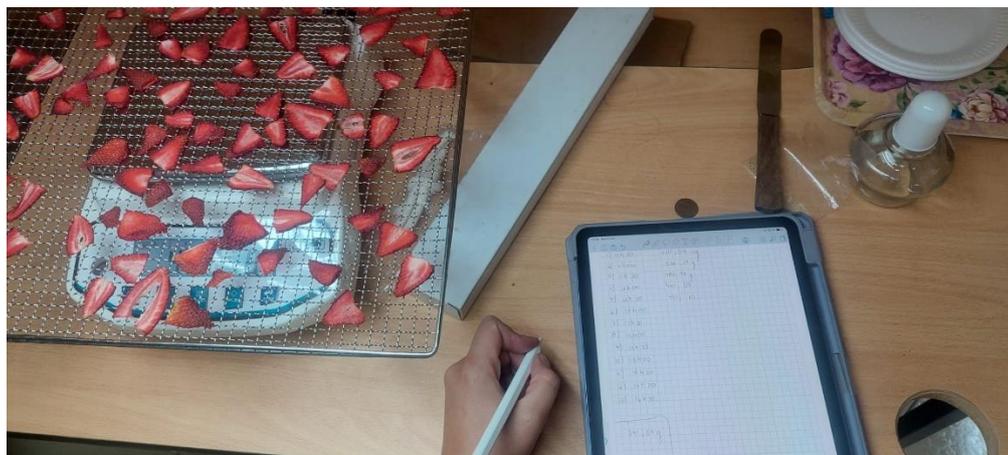
**Figura 39**  
Colocar la bandeja en el deshidratador



**Nota:** Antes de colocar la bandeja se debe precalentar por al menos 15 min, determinar la temperatura a 65 °C y asegurarse que este bien cerrado.

**Elaborado por:** Autor.

**Figura 40**  
Pesaje por tiempo



**Nota:** Cada treinta minutos retirar la bandeja del deshidratador para colocar en la balanza y hallar el peso en gramos de la fruta y anotar.

**Elaborado por:** Autor.

**Figura 41**  
Retirar la fruta deshidratada



**Nota:** Una vez deshidratada la fresa (*fragaria sp*) retirar la fruta de la bandeja.

**Elaborado por:** Autor.

**Figura 42**  
Pesaje de la fruta deshidratada



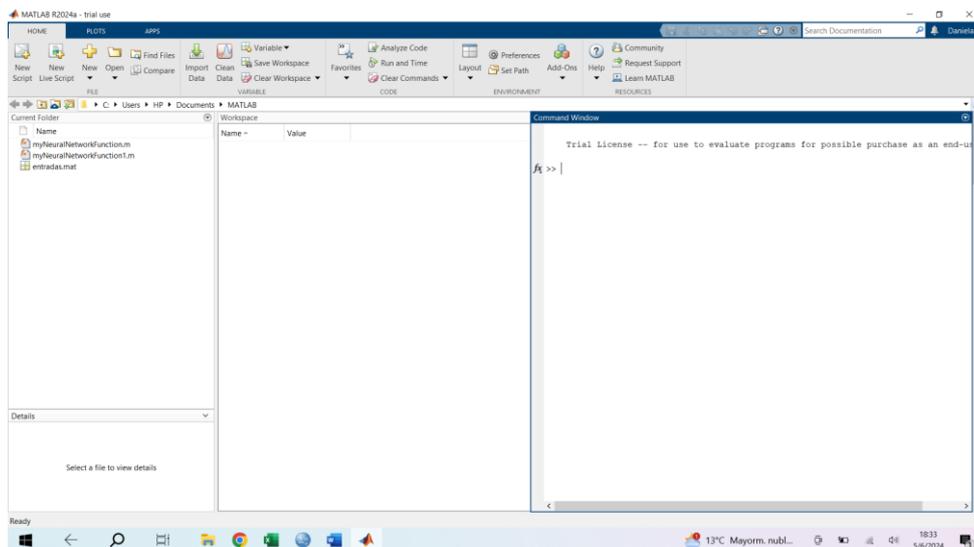
**Nota:** Se guarda en una bolsa plástica la fruta deshidratada y se coloca en una balanza para obtener los gramos al final del proceso de deshidratado.

**Elaborado por:** Autor.

#### 7.4 Metodología que utiliza Redes Neuronales Artificiales para determinar el tiempo total de secado.

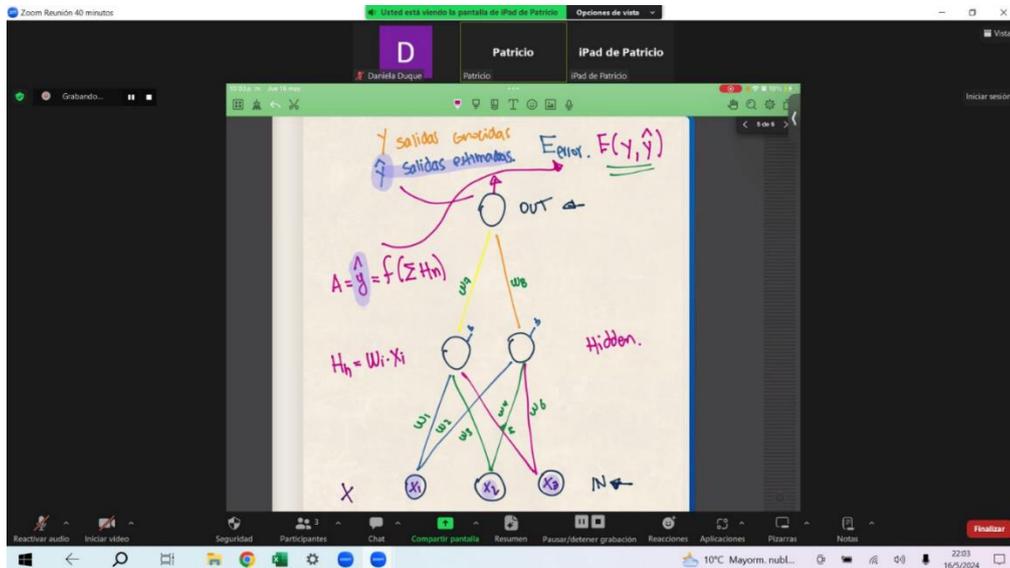
**Anexo 8:** Diseño de la Red Neuronal Artificial.

**Figura 43**  
Programa MATLAB instalado

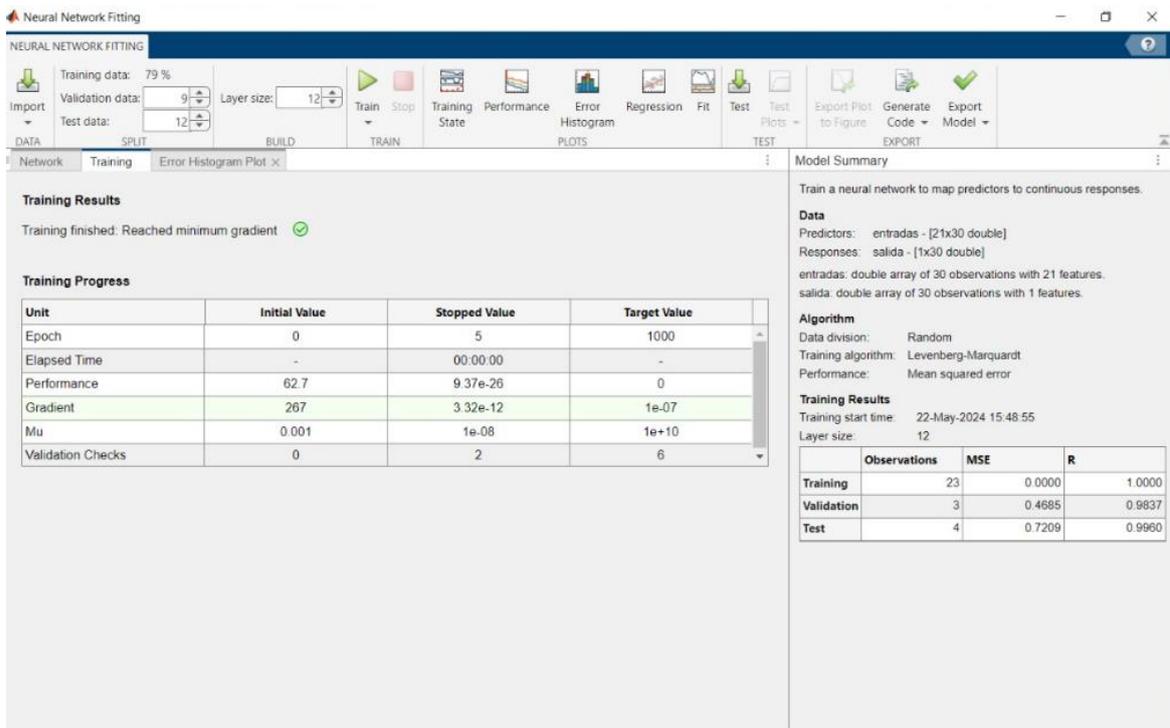


**Elaborado por:** Autor.

**Figura 44**  
Tutoría sobre el funcionamiento de una RNA



**Elaborado por: Autor.**  
**Figura 45** Entrenamiento de la red



**Elaborado por: Autor**

## 7.5 Determinación de las características cuantitativas

### Anexo 9: Uso del medidor de estrés térmico

#### Figura 46

Preparación del medidor de estrés térmico

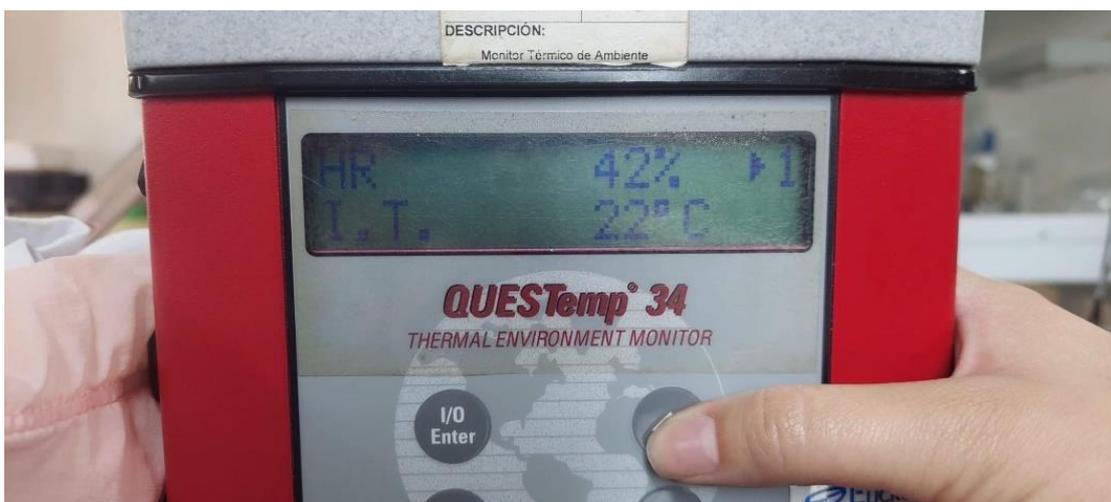


**Nota:** Se coloca agua destilada en el recipiente del medidor de estrés térmico para determinar la temperatura de bulbo húmedo.

**Elaborado por:** Autor.

#### Figura 47

Datos arrojados por el medidor de estrés térmico



**Nota:** Este equipo requiere medir por treinta minutos para arrojar un resultado. Con este aparato se determina la humedad relativa, la temperatura de bulbo húmedo, de bulbo seco y de globo.

**Elaborado por:** Autor.

**Anexo 10:** Obtención del dulzor de la fresa

**Figura 48**  
Macerar la fresa (fragaria sp)



**Nota:** Solo se requiere una pequeña muestra, la fruta debe estar madura y en óptimas condiciones.

**Elaborado por:** Autor.

**Figura 49**  
Observar el refractómetro

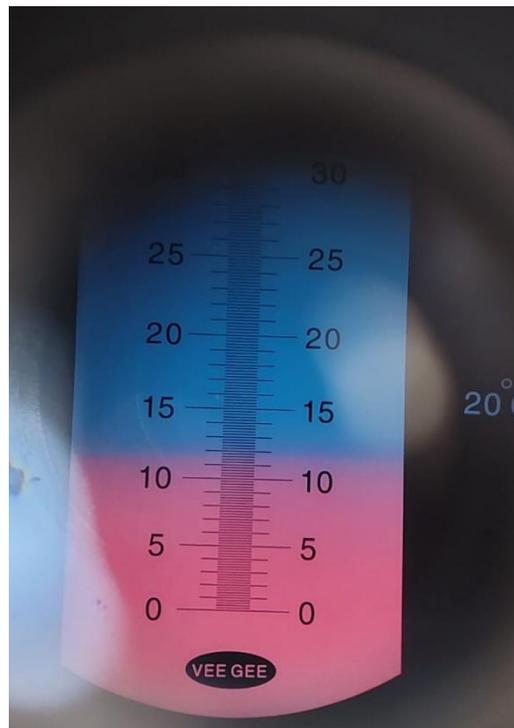


**Nota:** Se coloca una muestra de fresa (fragaria sp) en el lente del refractómetro y se observa.

**Elaborado por:** Autor.

**Figura 50**

Grados brix de la fresa (fragaria sp)



**Nota:** Se observa que se torna de color rosado el resultado, es decir, la fresa (fragaria sp) que se produce en la Parroquia Valparaíso tiene un dulzor de 12 °Brix.

**Elaborado por:** Autor.