

# “UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA”

(Creada por Ley Nro. 29531)



## **EFFECTO DE LA TEMPERATURA Y TIEMPO DE SECADO EN LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE Y EL COLOR DEL TOMATE DE ÁRBOL (*Cyphomandra betacea*) DESHIDRATADO.**

**TESISTA**

**PRESENTADO POR:**

Díaz López, Kevinnain Rrossmer

**ASESOR:** M. Sc. Chuquizuta Trigoso, Tony Steven

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

Una firma manuscrita en tinta azul, que parece ser la del asesor o el tesista, escrita con un estilo cursivo y fluido.

**CHOTA -PERÚ**

**AÑO 2021**

## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

ACTA N° 003-2021/EPIA - FCA/UNACH

Siendo las 09 horas, del día 12 de mayo de 2021, en video conferencia del aplicativo Google Meet <https://meet.google.com/rfn-ezjq-tmm>, los miembros del Jurado de Tesis titulada: "Efecto de la temperatura y tiempo de secado en la capacidad antioxidante y el color del tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*) deshidratado", integrado por:

1. Ph. D. Frank Fluker Velásquez Barreto- Presidente
2. Mg. Juan Carlos Solano Gaviño-Secretario
3. M. Sc. Milthon Morales Miranda-Vocal

Sustentada por el Bach. Kevinnain Rrossmer Diaz López, con la finalidad de obtener el título profesional en Ingeniería Agroindustrial.

Terminada la sustentación, con las preguntas formuladas por los integrantes del Jurado y las respuestas otorgadas por el graduando, luego de deliberar, acuerda APROBAR la tesis, calificandola con la nota de: 13 (TRECE), se eleva la presente Acta al Coordinador de la Facultad de Ciencias Agrarias, a fin de que se le declare EXPEDITO para conferirle el título profesional de Ingeniero Agroindustrial.

Firmado en: Chota, 12 de mayo del 2021.



*Ph.D. Frank Fluker Velasquez Barreto*  
**PRESIDENTE**



*Mg. Juan Carlos Solano Gaviño*  
**SECRETARIO**



*M. Sc. Milthon Morales Miranda*  
**VOCAL**

## **AGRADECIMIENTO**

Esta tesis fue desarrollada gracias al M. Sc. Chuquizuta Trigoso Tony Steven por la exigencia para el desarrollo de la tesis y la facilidad para construir el equipo de análisis de imagen y el deshidratador. Gracias a la Universidad Nacional Autónoma de Chota y a su campo de investigación, a su vez gracias a la Facultad de Ciencias Agrarias a través de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial (EPIA), por la facilidad del uso de los laboratorios, Agradecer al Ing. Jimy Oblitas Cruz por brindarme la oportunidad para desarrollar las pruebas de DPPH en la Universidad Nacional de Cajamarca.

## **DEDICATORIA**

Este informe de tesis lo dedico a mis padres, que siempre están conmigo, apoyándome en todo momento y enseñándome a ser siempre perseverante en la consecución de mis objetivos, y a mis hermanas, que son la alegría del hogar.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

ABSTRACT.....	9
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....	10
CAPÍTULO II: MARCO TEORICO .....	12
2.1. Antecedentes.....	12
2.2. Bases teóricas.....	16
2.2.1. Tomate de árbol.....	16
2.2.1.1. Taxonomía.....	16
2.2.1.2. Características físicas y químicas .....	16
2.2.1.3. Componentes bioactivos del tomate de árbol .....	17
2.2.1.4. Medición de compuestos bioactivos.....	18
2.2.2. Deshidratación.....	19
2.2.3. Evaluación de parámetros mediante el uso de imágenes.....	19
2.2.4. Humedad.....	21
2.2.5. Optimización .....	21
2.3. Marco conceptual.....	22
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO.....	24
3.1. Ubicación.....	24
3.2. Población y muestra.....	24
3.2.1. Población .....	24
3.2.2. Muestra .....	24
3.3. Equipos, materiales, reactivos e insumos .....	25
3.3.1. Equipos de investigación.....	25
3.3.2. Materiales de investigación .....	25
3.3.3. Reactivos e insumos de investigación .....	25

3.4. Metodología de la investigación .....	26
3.4.1. Desarrollo experimental .....	26
3.4.2. Diseño experimental .....	27
3.4.3. Determinación fisicoquímica del tomate de árbol fresco. ....	29
3.4.4. Preparación de la muestra (deshidratación por aire forzado) .....	30
3.4.5. Determinación de la capacidad antioxidante .....	32
3.4.6. Determinación del color .....	34
3.4.7. Determinación de la pérdida de humedad .....	35
3.5. Análisis estadístico .....	36
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	37
4.1. Análisis fisicoquímico del fruto de tomate de árbol fresco .....	37
4.2. Capacidad antioxidante del tomate de árbol deshidratado .....	38
4.3. Color L* a*b* del tomate de árbol (Cyphomandra betacea) deshidratado.....	41
4.4. Pérdida de humedad durante el deshidratado del tomate de árbol.....	44
4.5. Resultados de la optimización de múltiples respuestas .....	47
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	49
5.1. Conclusiones.....	49
5.2. Recomendaciones .....	51
CAPÍTULO VI: REFERENCIAS BIBILOGRAFÍCAS .....	52
CAPÍTULO VII: ANEXOS .....	57

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Taxonomía del tomate de árbol.....	16
<b>Tabla 2.</b> Composición fisicoquímica del tomate de árbol.....	17
<b>Tabla 3.</b> Compuestos bioactivos y capacidad. ....	18
<b>Tabla 4.</b> Matriz del diseño factorial $3^2$ en tres notaciones útiles.....	27
<b>Tabla 5.</b> Datos para la curva estándar de solución Trolox. ....	33
<b>Tabla 6.</b> Detalles del sistema de adquisición de imágenes. ....	34
<b>Tabla 7.</b> Análisis físico químico del tomate de árbol fresco.....	37
<b>Tabla 8.</b> Capacidad antioxidante del tomate de árbol deshidratado.....	39
<b>Tabla 9.</b> Color superficial en coordenadas $L^*$ , $a^*$ y $b^*$ del tomate de árbol deshidratado. ....	42
<b>Tabla 10.</b> % de pérdida de humedad del tomate de árbol deshidratado.....	45
<b>Tabla 11.</b> Valor óptimo de la metodología de múltiples respuestas. ....	47

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Parámetros de color CIE L*a*b*.....	20
<b>Figura 2.</b> Esquema experimental.....	26
<b>Figura 3.</b> Plano del secador de bandejas por convección forzada.....	31
<b>Figura 4.</b> Equipo de análisis de imagen para frutos.....	35
<b>Figura 5.</b> Superficie de respuesta estimada para la capacidad antioxidante a diferentes temperaturas y tiempos.....	40
<b>Figura 6.</b> Diagrama de Pareto, Capacidad antioxidante.....	40
<b>Figura 7.</b> Evolución del color de la superficie del tomate de árbol deshidratado.....	42
<b>Figura 8.</b> Diagrama de Pareto, color L*.....	43
<b>Figura 9.</b> Superficie de respuesta L*, a* y b* (Tiempo y Temperatura).....	44
<b>Figura 10.</b> Diagrama de Pareto para la pérdida de humedad.....	45
<b>Figura 11.</b> Superficie de respuesta de humedad (Tiempo y temperatura).....	46
<b>Figura 12.</b> Superficie de respuesta de la deseabilidad y optimización de múltiples respuestas .....	48

## RESUMEN

El objetivo de este estudio fue investigar el efecto de la temperatura y el tiempo de secado sobre la capacidad antioxidante, el color y la pérdida de humedad del tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*) deshidratado. Los tomates de árbol provenientes de la comunidad de Pingobamba Alto, Chota-Cajamarca, fueron seleccionados y clasificados en cuanto a color, tamaño y libre de daños mecánicos y/o biológicos. A continuación, se desinfectó con hipoclorito de sodio a 150 ppm. Se utilizó el diseño experimental de  $3^k$  con tres puntos centrales no replicado, para deshidratar al tomate de árbol se utilizó un secador con flujo de aire caliente; las variables independientes fueron: tiempo (200, 300, 400 min) y temperatura (40, 50, 60 °C), y las variables de respuesta fueron: Capacidad antioxidante, color y pérdida de humedad, mediante los métodos de DPPH, visión por computadora (equipo de análisis de imagen) y gravimétrico respectivamente. Frutos de tomate de árbol secados a 50 °C y 300 min presentaron la mayor capacidad antioxidante (198,78  $\mu\text{g Eq}^*$  Trolox /g), asimismo el efecto cuadrático de la temperatura fue significativo (valor  $p = 0,0088$ ). Frutos secados a una temperatura de 60 °C y un tiempo de 400 min presentaron mejores valores de color  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ , con 71,52; 13,35 y 63,41 respectivamente. El efecto lineal y cuadrático de la temperatura fueron significativos para  $L^*$  ( $p < 0,05$ ) y no significativos para  $a^*$  y  $b^*$ . Frutos de tomate de árbol secados a 60 °C y 400 min presentaron una mayor pérdida de humedad del 29,84%. Se mostro un efecto lineal significativo del tiempo y la temperatura de secado la pérdida de humedad del tomate árbol ( $p < 0,05$ ); la deseabilidad máxima se alcanzó en un tiempo de 305 minutos y una temperatura de 57 °C, dando como resultado la combinación de factores una deseabilidad global óptima de 0,83.

**Palabras Claves:** Capacidad antioxidante, color, humedad, tomate de árbol.

## ABSTRACT

The objective of this research was to study the effect of temperature and drying time in the antioxidant capacity, color and moisture loss of tree tomato (*Cyphomandra betacea*) dehydrated. Tree tomatoes from the community of Pingobamba Alto, Chota-Cajamarca, were selected and classified in terms of color, size and free of damage mechanical and / or biological. It was then disinfected with sodium hypochlorite at 150 ppm. I know used the experimental design of  $3^K$  with three central point's not replicated, to dehydrate the tree tomato a hot air flow dryer was used; the independent variables were: time (200, 300, 400 min) and temperature (40, 50, 60 °C), and the response variables were: antioxidant capacity, color and moisture loss, by means of DPPH methods, computer vision (image analysis equipment) and gravimetric respectively. Tree tomato fruits dried at 50 °C and 300 min presented the highest antioxidant capacity (198,78  $\mu\text{g Eq}^* \text{Trolox} / \text{g}$ ), also the quadratic effect of the temperature was significant ( $p$  value = 0,0088). Fruits dried at a temperature of 60 °C and a time of 400 min presented better color values  $L^*$ ,  $a^*$  and  $b^*$ , with 71,52; 13,35 and 63,41 respectively. The linear and quadratic effect of temperature were significant for  $L^*$  ( $p < 0,05$ ) and not significant for  $a^*$  and  $b^*$ . The loss of moisture from the tree tomato to the treatment carried out at 60°C and 400 min showed a value of 29,84%. An effect was observed significant linear temperature and drying time on tomato moisture loss tree ( $p < 0,05$ ); maximum desirability was achieved in a time of 305 minutes and a temperature of 57 °C, resulting in the combination of factors an overall desirability optimal 0,83.

**Keywords:** Antioxidant capacity, color, moisture, tree tomato.

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

El tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*) se considerada una fruta exótica con un sabor y aroma delicioso; nativa de los valles interandinos del Perú, Chile, norte de Argentina, Ecuador, Bolivia, Brasil y Colombia donde se produce en grandes áreas, con el fin de exportar y explotar sus fruto en grandes cantidades, en Perú se cultiva desde 0 a 3 000 msnm, principalmente en los valles interandinos a lo largo de la sierra y ceja de selva que se caracteriza por presentar climas templados (Amaya y Julca, 2006). En Perú, las plantas de tomate de árbol se cultivan en zonas altas y parte de la selva desde Cajamarca hasta Puno; la mayor producción de tomates de árbol se produce en las regiones de: La Libertad, Apurímac y Cajamarca con 5 864 t, 2 506 t y 1 131 t, respectivamente (MIDAGRI, 2016).

El tomate de árbol tiene altos niveles de aceptación por los consumidores tanto en estado fresco como procesado, en Perú se consume el 1,98 kg per cápita, como fruto fresco (Lucas et al., 2011). El fruto pesa en promedio entre 60 a 170 g, la parte comestible es de sabor agridulce y corresponde entre el 65-85% en peso y la cáscara es de sabor amargo, el fruto de las plantas de tomate de árbol tiene un contenido de humedad de 84 a 88% y 9,0 - 11,0 °Brix (Cerón et al., 2010). La parte comestible del fruto de tomate de árbol contiene fibra que es beneficiosa para la digestión, además de su alto valor nutricional: magnesio, potasio, fósforo, hierro y vitaminas A, C y B<sub>6</sub>, además, posee altos niveles de proteínas y carotenos, los cuales fortalecen el sistema inmunológico por su alta capacidad antioxidante, ácidos fenólicos, antocianinas y flavonoides, atribuyendo los beneficios de tomar esta fruta en la disposición y control de malestares endémicos (Moreno et al., 2014; Luis, 2017).

Las frutas y verduras según su peso contienen más del 80% de agua, y la humedad es un factor que determina su descomposición por microorganismos, que son fáciles de adaptan en medios húmedos. En los países subdesarrollados, se considera que el 30 al 40% de las hortalizas y

frutas cultivadas se pierden, estas pérdidas se deben a un mal manejo durante el transporte y almacenamiento; esto conduce a pérdidas económicas (Ceballos y Jiménez, 2012).

En la actualidad se observa una preferencia al consumo de productos saludables y los fáciles de preparar, destacando los productos deshidratados que tienen una mayor vida útil. La técnica que más se adapta para estos procesos, con menores expensas y la más aprovechada en la adquisición de estos productos, es el secador por expansión de semblante caliente, que presenta dificultades para su rehidratación, esto es debido al daño por altas temperaturas (Fuente et al., 2003). La deshidratación alarga la vida útil de los productos por contener menor cantidad de agua en su interior, durante el deshidratado de frutas y hortalizas se producen cambios en su estructura original, afectando la calidad del producto terminado, su propósito principal es bajar el peso, volumen y el agua del producto, bajo ciertas condiciones como temperatura, humedad y tiempo.

El secado es una intervención unitaria cuyo fin es excluir agua del interior de los alimentos, esto se consigue en mayor proporción utilizando aire caliente y se elimina en forma de vapor de agua, a fin de disminuir o detener reacciones químicas y el crecimiento de microorganismos perjudiciales (Monares, 2015). La variable más importante en la deshidratación temperatura, que afecta en el tiempo y las reacciones de descomposición y afecta a sus cualidades organolépticas y el valor nutricional (Gonzalez et al., 2008).

Por tanto, el objetivo de la investigación fue evaluar el efecto de la temperatura y el tiempo de secado sobre la capacidad antioxidante, el color y la pérdida de humedad del tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*) deshidratado.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes.

Monsalve y Machado (2007) evaluaron el secado del tomate (*Lycopersicon esculentum*) de la alteración manzano en dos componentes de secado: secador por bandejas (SB) y estufa de aire caliente (EA). Se controlaron las temperaturas de bulbo seco del aire (TBS) (52,70 y 76 °C) y temperatura de bulbo húmedo (TBH) (42,65 y 70 °C) para el secador por bandejas y para la estufa de aire caliente (EA.), se trabajaron con temperaturas de 49, 52 y 55 °C. Para la comparación de los dos métodos, se evaluaron las propiedades físico-químicas y microbiológicas de la producción obtenida, así como la vida útil. Utilizando un secador de bandeja, el contenido de humedad del producto fue del 10,52% en base seca (bs) con una temperatura de bulbo húmedo de 70 °C y una temperatura de 76 °C de bulbo seco, y para la estufa de aire caliente con grado de calor 52 °C obtuvo una humedad de 14,62% (bs), entre los 2 procesos empleados, el mejor equipo de secado fue el SB ( $p < 0,05$ ), esto se debe a los resultados obtenidos según la propiedad de acidez titulada 3,00 mg de Ac. cítrico (SB) y 2,02 mg de Ac. cítricos (EA), contenido de humedad de 14,6% (EA) y 10,5% (SB), 4,5 (EA) y °Brix 4,7 (SB), y cenizas totales 0,33% (EA) y 0,35% (SB).

Palacios (2018) evaluó el dominio del calor y la tasa de circulación de aire sobre el tiempo de secado y las propiedades sensoriales y físicas del tomate deshidratado (*Lycopersicon esculentum*) en un secador de bandeja. El proceso de secado se realizó a rebanadas de tomates de espesor de  $5 \pm 0,2$  mm, en equipos de secado con bandejas y flujo de aire caliente forzado a temperaturas de 55, 65 y 75 °C con una velocidad del aire de 0,6; 0,9 y 1,2 m/s, evaluando las características sensoriales, el tiempo de deshidratación y el porcentaje de encogimiento. Los resultados reportados por el autor muestran que el tomate tiene una humedad del 94,5%, sólidos totales de 4,5 °Brix, una acidez titulable de 0,93% expresada en ácido cítrico y un pH de 3,94

unidades, en promedio a una velocidad de 1,2 m/s y a una temperatura de 75 °C es el tratamiento que acorta el tiempo de secado al máximo de 6 h, y el % de rebaja en el volumen de las rodajas de tomate estuvo entre 18 - 28%. Las evaluaciones sensoriales que se han realizado por los panelistas no entrenados concluyeron que había diferencias significativas en las propiedades de textura, apariencia y olor en comparación con las propiedades de color de las muestras deshidratadas con una confiabilidad del 95%.

Delia y Rodríguez (2015) evaluaron el color de la pulpa de tomates dulces deshidratados para la producción de confitura. Las muestras (0,5 kg) pretratadas con una capa de sacarosa se mezcló con concentraciones de metabisulfito de sodio 0; 0,2; 0,5 y 0,8%, y luego de dejarlas reposar por 24 h, se lavaron las muestras y se deshidrató en horno eléctrico con ventilación forzada a 55 °C hasta que la actividad del agua alcance 0,47 (humedad inferior al 20%). Los resultados reportados por los autores explican que los tratamientos evaluados mostraron colores estables en el tiempo; Sin embargo, los tratamientos al 0,5 y 0,8% alcanzaron los parámetros de color CIE L\*, a\*, b\* más altos (colores rojos más intensos y atractivos) siendo las concentraciones más adecuadas de metabisulfito, conservando el color en los deshidratados.

Catalina et al. (2014) evaluaron los parámetros físico-químicos, microbiológicos y sensoriales, que inciden en la calidad de muestras comerciales de tomate seco (*Lycopersicon esculentum*), analizando siete muestras de diferentes marcas, aplicando la metodología del análisis del perfil de textura (TPA). Las muestras se deshidrataron a 105 °C, durante dos horas, comprobando el peso antes y después del secado, determinando el parámetro de luminosidad positiva (L\*), que no difirió significativamente para ninguna muestra, en el análisis de los parámetros de color, de tono y de cromaticidad. Las muestras se ubican en el punto intermedio del primer cuadrante (de 0 a 90°), asumiendo una tonalidad naranja, la cromaticidad (C\*ab) indica la saturación del color (producto deshidratado), respondiendo a los parámetros de buena aceptación sensorial.

Acuario et al. (2014) deshidrataron tres variedades de berenjena utilizando tres métodos de secado: secado por aire caliente (SAC), microondas (MW) y liofilización, para los tres métodos aplicaron una temperatura de 60 °C. Los autores evaluaron la humedad, la actividad del agua, las propiedades mecánicas y su color de cada método de secado, llegando a la conclusión que el mejor método para la pérdida de humedad con mejores propiedades mecánicas y un buen color se mantienen al deshidratar las muestras con SAC, a diferencia del MW y liofilización que disminuye su calidad fisicoquímica principalmente degradando su color.

Tovar (2018) evaluó el efecto de la temperatura de secado sobre los polifenoles totales, la capacidad antioxidante y los carotenoides totales en el níspero (*Mespilus germanica L.*). El secado se realizó en un deshidratador por bandejas con flujo de aire caliente a temperaturas de 40, 50 y 60 °C con una velocidad del aire de 2,5 m/s, dando como resultado una reducción significativa de los compuestos fenólicos del níspero fresco de 759,81 mg de ácido gálico equivalente / 100 g<sup>-1</sup> ms y los nísperos deshidratados a 40, 50 y 60 °C presentaron 423,60; 460,52 y 404,95 mg EAG 100 g<sup>-1</sup> ms por cada temperatura. El níspero también mostró una capacidad antioxidante de 12 087,34 μmol de TEAC IDEM 100 g<sup>-1</sup> de materia seca (ms) y el nísperos deshidratados a 40° C, 50° C y 60° C dio 5032,4; 5059,58 y 4969,61 μmol TEAC.100 g<sup>-1</sup> ms, para cada temperatura respectivamente y el contenido de carotenoides fue de 33,67; 35,27 y 32,86 mg de β-caroteno 100 g<sup>-1</sup> ms para los 3 tratamientos respectivamente, observándose mayor retención de los compuestos fenólicos, carotenoides totales y capacidad antioxidante a temperaturas de secado de 50 °C.

Ocampo (2017) examinó la influencia de las condiciones de operación y la aplicación de ultrasonidos en el tiempo de secado en el aroma del tomate de árbol con un secador de convección con temperaturas de 50, 55, 60 °C y tiempos de ultrasonidos de 2, 5 y 8 min, aplicó el método de superficie de respuesta para determinar y modelar las condiciones óptimas de operación de secado, lo que llevo a la conclusión de que el ultrasonido es un factor que influye

positivamente en el acortamiento del tiempo de secado optimizado, conservando mejor el aroma característico de la fruta y llegando a la conclusión de que una temperatura de 58 y 60 °C es ideal para minimizar el tiempo de operación y la conservación de los compuestos volátiles, aplicando ultrasonido por una duración de 2 y 3 min cada media hora, en estas condiciones el tiempo de operación se reduce en un 15%. Además, el perfil aromático de los productos deshidratados es muy similar al de la fruta fresca.

## 2.2. Bases teóricas.

### 2.2.1. *Tomate de árbol.*

#### 2.2.1.1. *Taxonomía.*

El tomate de árbol se conoce a nivel internacional como "tamarillo" en Estados Unidos y Nueva Zelanda, "tomate Baum" en Alemania, "tomate de cera" o "chimango" en Portugal, "tomate de árbol" en Inglaterra, "Straiktomaad" o "terong suave" en Holanda, "tomate de l'Arbre" en Francia, "tomate de árbol" o "tomate pimiento" en España (Avilés, 2012). La Tabla 1 muestra la taxonomía que tiene esta fruta.

**Tabla 1**

*Taxonomía del tomate de árbol.*

REINO	Vegetal
DIVISIÓN	Fanerógamas
SUBDIVISIÓN	Angiospermas
CLASE	Dicotiledóneas
SUBCLASE	Metaclamides
ORDEN	Tubiflorales
FAMILIA	Solanaceae
GÉNERO	<i>Solanum</i>
ESPECIE	<i>Betaceum</i>
NOMBRE COMÚN	Tomate de árbol

**Fuente:** Aviles (2012).

#### 2.2.1.2. *Características físicas y químicas.*

##### **a. Características físicas.**

El tomate de árbol es un fruto que tiene una forma ovoide, cónico y punteado en el fondo y está cubierto por una piel gruesa, lisa, brillante y cerosa, según la variedad en tonos ladrillo, rojos, naranjas y amarillos; en la parte comestible, los colores varían entre naranja, rojo y amarillo; esta parte es firme, suave y jugosa; en la parte interior hay entre 200 y 400 semillas, planas y circulares; el sabor del tomate de árbol consiste en una mezcla agridulce, según la variedad. En el Perú existen tres variedades: amarillo, violeta o rojo y pintón criollo o pintón naranja, por lo

que el pintón naranja se considera una fruta más resistente que el tomate rojo (Tabares y Velásquez, 2003).

### **b. Característica fisicoquímica.**

La composición físico-química del tomate de árbol se muestra en la Tabla 2, donde se observa que la fruta presenta un contenido de humedad de 85 %, pectina 1,4% y sólidos solubles 14,54 °Brix: encontrando valores similares y una variación que se deben a distintos factores tales como: clima, suelo, variedad del fruto, modificación en el cultivo, entre otras (Tabares y Velásquez, 2003).

**Tabla 2**

*Composición fisicoquímica del tomate de árbol.*

<b>COMPONENTE</b>	<b>CONTENIDO</b>
Proteína total (%)	1,86
Humedad (%)	85,46
Grasa total (%)	0,63
Carbohidratos (%)	10,03
Ceniza total (%)	0,82
Fibra total (%)	1,2
Sólidos totales (°Brix)	14,54
Azúcares reductores (%)	5,29
Acidez (mg%)	1,15
Pectina (%)	1,4
pH	3,7
Vitamina C (mg%)	14

**Fuente:** Tabares y Velásquez (2003).

#### **2.2.1.3. Componentes bioactivos del tomate de árbol.**

Los compuestos bioactivos del tomate de árbol se muestran en la Tabla 3, donde se visualiza que la vitamina C que está bajo de 28,83 mg ácido ascórbico/100 g de muestra; Los compuestos fenólicos son inferiores a 100 mg AGE / 100 g muestra y superiores a 62,71 mg AGE / 100 g muestra, la capacidad antioxidante con el método DPPH es superior a la de algunas frutas como la piña (3,4  $\mu\text{mol Trolox / g}$ ), copuazu (2,0  $\mu\text{mol Trolox / g}$ ), maracuyá (2,7  $\mu\text{mol Trolox / g}$ ),

tumbo serrano (2,31  $\mu\text{mol Trolox / g}$ ) y menos que frutas como aguaymanto (4,25  $\mu\text{mol Trolox/g}$ ), papaya de montaña (8,55  $\mu\text{mol Trolox/g}$ ) y los carotenos por debajo de los 4,27 (mg de  $\beta$ -caroteno / 100 g de muestra) (Rojas et al., 2017).

#### 2.2.1.4. *Medición de compuestos bioactivos.*

Los antioxidantes naturales contenidos en un alimento son aquellos que cuantifican su capacidad antioxidante, y esta varía según el grupo de compuestos examinados y su disolución en la fase acuosa o lipídica y está muy influenciada por el sistema utilizado como sustrato, por las condiciones de oxidación (Catálisis), las propiedades redox de sus grupos hidroxifenol y la relación estructural entre las diferentes partes de la estructura química (Ponce y Rodríguez, 2014).

**Tabla 3**

*Capacidad antioxidante y compuestos bioactivos.*

Concepto	Contenido		
Vitamina C (mg ácido ascórbico/100 g muestra)	28,83 $\pm$ 0,10		
Compuestos fenólicos (mg AGE/100 g muestra)	100,55 $\pm$ 1,25		
Carotenoides totales (mg de $\beta$ -caroteno/100 g muestra)	4,27 $\pm$ 0,8		
Capacidad antioxidante ( $\mu\text{mol Trolox/g}$ muestra)	DPPH	Hidrofílica	3,3172 $\pm$ 0,90
	ABTS	Hidrofílica	3,9811 $\pm$ 2,69
		Lipofílica	0,67394 $\pm$ 0,58

**Fuente:** Benites et al. (2017)

### ***2.2.2. Deshidratación.***

La deshidratación de alimentos se ha utilizado desde la época que los humanos abandonaron la vida nómada (Periodo Neolítico). El uso de calor fue utilizado por muchos hombres del viejo y nuevo mundo para secar alimentos. El deshidratado es la reducción de la actividad de agua y se adapta mejor a cada tipo de producto alimenticio, ofrece estabilidad microbiológica, debido que el agua se extrae del interior de los alimentos, estos productos se deshidratan normalmente tales como: carnes, pescados, frutas, verduras, hierbas, entre otros (Cordero y Urbina, 2011).

En la deshidratación los alimentos pierden su contenido de humedad hasta llegar al 31 % como máximo (CODEX STAN 67, s.f.), la cual da como resultado un aumento en la concentración de nutrientes, proteínas, grasas y carbohidratos, que se encuentran presentes en mayor contenido por unidad de peso en los alimentos. La operación de deshidratación de alimentos permite disminuir su peso y volumen, reduciendo el costo del transporte, propagación de bacterias, levaduras y mohos (Vásquez, 2004).

#### ***2.3.2.1. Secado con aire caliente.***

El aire se calienta en la cámara, con la convección del calor de las resistencia y el aire forzado (deshidratador por flujo de aire caliente), la transformación de agua del interior del alimento se da en vapor de agua, gracias a la convección de calor entre el aire y el producto, permitiendo la transformación del agua libre contenida en este, y se elimina en forma de vapor de agua y así así se extrae por evaporación, y a la vez, hay una reducción de la humedad relativa del alimento (Cordero y Urbina, 2011).

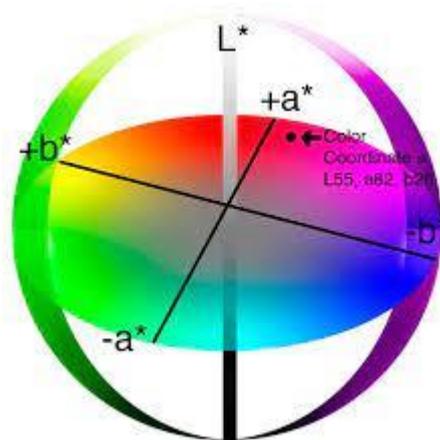
### ***2.2.3. Evaluación de parámetros mediante el uso de imágenes.***

El color está representado por un espacio que se usa para expresar el color de cualquier objeto y los números se usan como anotaciones. La Comisión Internacional de iluminación (CIE), es considerada la autoridad del color y la luz, ha determinado que el color se puede expresar y

comunicar con diferentes espacios de color, tales como: CIE XYZ, CIE L\*C\*h, y CIE L\*a\*b\* (Konica Minolta, 2014).

El espacio de color L\* a\* b\*, también referido como CIE L\*a\*b\*, es actualmente la notación de color más uniforme utilizada para evaluar el color de cualquier objeto y es el método más popular. El espacio de color CIE L\* a\* b\* es el más utilizado porque se correlaciona mejor con la percepción visual humana cuando se correlaciona con valores numéricos. Se usa para identificar inconsistencias, expresar con exactitud los resultados y evaluar los atributos de color en términos numéricos (Delia y Rodríguez, 2015).

Para el análisis de imagen, la identificación del color es mediante escala CIE L\*a\*b\* (CIELAB) que se identifica por ser el más uniforme y más organizado que tiene una forma de cubo. En la Figura 1 se muestra el parámetro L\* máximo igual a 100, que presenta una reflectancia perfecta (blanco), y el espacio de color mínimo es 0 (negro). Los parámetros de notación a\* y b\* no tienen un rango específico. Cuando el valor de a\* es positivo representa el color rojo y cuando el valor es negativo representa el color verde. Cuando el valor de b\* es positivo representa el color amarillo y cuando el valor es negativo representa el color azul (Delia y Rodríguez, 2015).



**Figura 1.** Parámetros de color CIE L\*a\*b\*.

#### **2.2.4. Pérdida de humedad.**

Los alimentos, fresco o procesados, contiene agua. El contenido de agua tiene una variación de 60 y 95% en cualquier alimento natural. El agua en un alimento está presente en dos formas: "agua libre" y "agua ligada". El agua libre o conocida también como agua absorbida, es la que está en mayor proporción y se elimina con mayor facilidad, el agua libre en diferentes métodos se utiliza para calcular el contenido de agua de un alimento. El agua ligada se encuentra presente formando parte de las diferentes moléculas de los alimentos, esta agua se encuentra ligada a las proteínas o cristalizada (hidrato). Parte de esta se mantiene unida al alimento incluso después que el alimento haya sido carbonizado (Castillo, 2018).

Se utilizan análisis difíciles para determinar la humedad con el fin de obtener resultados precisos, La determinación de la humedad en un alimento es el análisis más importante que se realiza. El contenido total de sólidos se conoce y permanece hasta después de que se haya eliminado el agua de los alimentos. Este valor analítico es muy importante para la economía de las empresas dedicadas al proceso de alimentos, gracias al agua que es un complemento o "llenador barato", así:

El agua que contiene un alimento indica la calidad en la conservación de los alimentos, afectando así la calidad y estabilidad de frutas y productos deshidratados, huevos en polvo y todos los productos que puedan deshidratarse.

#### **2.2.5. Optimización.**

Se define como optimización al proceso que permite seleccionar, la mejor variable de proceso a partir de múltiples alternativas, seleccionando y satisfaciendo de manera óptima los objetivos propuestos. Sin embargo, el proceso óptimo debe satisfacer el flujo de actividades de insumos y variables de salida que brinden mejor calidad, menor tiempo y menores costos (Mestas y Quispe, 2016).

### **2.3.5.1. Superficie de respuesta.**

La superficie de respuesta se utiliza para analizar y modelar la incertidumbre donde la variable de respuesta es cambiada por otra siendo un conjunto de técnicas estadísticas y matemáticas. El objetivo es mejorar la variable estudio, esto se logra solo estableciendo las mejores condiciones del proceso (Mestas y Quispe, 2016). Las mejores condiciones a través del análisis de superficie de respuesta permiten a las empresas de alimentos minimizar costos, incrementar ganancias, disminuir costosos ingredientes y conservantes, aumentar el valor agregado del alimento con una inocuidad adecuada durante la creación de un producto nuevo producto o mejorar uno que ya existe. La principal ventaja de la superficie de respuesta, es disminuir los experimentos al mínimo y obtener resultados estadísticos válidos y rápidos que brindan más información que las evaluaciones clásicas en las que solo se examina una variable (Mestas y Quispe, 2016).

**Factores.** - Son condiciones de un proceso que influye en la variable dependiente y son de diferentes formas: cuantitativas o cualitativas (Mestas y Quispe, 2016).

**Respuesta.** - Es una cantidad medible cuyo valor se ve afectado por los cambios en los niveles de los factores. El principal interés es optimizar este valor (Mestas y Quispe, 2016).

### **2.3. Marco conceptual.**

**Capacidad antioxidante.** – Es una sustancia que es capaz de prevenir la degradación oxidativa de una sustancia (por ejemplo, la peroxidación lipídica), así es como actúa un antioxidante gracias a su capacidad de reaccionar con los radicales libres y la cadena de reacción de un antioxidante se rompe.

**Cie  $L^*a^*b^*$ .** - Es un espacio de color que se utiliza para describir todos los colores que podemos percibir. Tiene tres parámetros,  $L^*$  luminosidad ( $L^* = 0$  negro y  $L^* = 100$  blanco), si

su posición está en la coordenada  $a^*$  es rojo / verde (+ $a$  indica rojo, - $a$  indica verde) y si su posición está en la coordenada  $b^*$  amarillo y azul (+ $b$  significa amarillo, - $b$  significa azul).

**Secado.** – Es la acción donde el calor permite eliminar el agua en forma de vapor de los alimentos. Evita la proliferación de bacterias que crecen en ambientes húmedos.

**Antioxidante.** - Un antioxidante es un compuesto que interviene impidiendo las reacciones de oxidación de cualquier sustancia, considerando a estas sustancias cualidades curativas y preventivas, evitando enfermedades que reaccionan dentro del organismo como cáncer, catarata senil, insuficiencia renal aguda, aterosclerosis entre otras enfermedades. El consumo de alimentos ricos en antioxidantes, previenen el deterioro funcional orgánico tales como: carotenoides, flavonoides y antocianinas (Ramos, 2011).

**DPPH (1,1-difenil-2-picril-hidrazilo).** – Es una molécula estable de radicales libres que contiene en su composición la deslocalización de un electrón desapareado sobre toda la molécula, intensificando el típico color púrpura de un radical, que absorbe en metanol a 517 nm. La reacción del DPPH con un antioxidante dona un átomo de hidrógeno, cambiando el color de púrpura a amarillo o transparente (Salas, 2017).

**Espectrofotometría ultravioleta visible (UV).** - El análisis espectro métrico UV es una forma que se usa para cuantificar e identificar en función de una longitud de onda, la concentración o reacciones químicas en una muestra.

## CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

### 3.1. Ubicación.

El estudio de investigación de esta tesis se desarrolló en las instalaciones de la Universidad Nacional Autónoma de Chota, en el laboratorio de tecnologías limpias de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, ubicada en la comunidad de Colpa Huacaris, distrito y provincia de Chota, región de Cajamarca y en la Universidad Nacional de Cajamarca, en el laboratorio de química de la Escuela Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias, ubicada en el distrito, provincia y región de Cajamarca.

### 3.2. Población y muestra.

#### 3.2.1. Población.

El número de unidades experimentales está dado por los frutos de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*) de la variedad criollo pintón o anaranjado pintón, procedentes de la comunidad de Pingobamba Alto, distrito de Chota, provincia Chota, región de Cajamarca - Perú.

#### 3.2.2. Muestra.

Se utilizaron 30 kg de tomate de árbol, de la comunidad de Pingobamba Alto, seleccionando los frutos maduros y del mismo tamaño, posteriormente se llevaron al laboratorio. La selección de la materia prima se realizó por diferentes criterios tales como: tamaño libre de daños mecánicos - peso homogéneo y coloración homogénea (fruto maduro). Para el desarrollo del diseño experimental, se utilizaron 12 unidades experimentales (Tabla 4) con 500 g de tomate de árbol por unidad experimental (estimando el número de frutos en base al peso establecido). La diferencia de muestra de frutos se utilizó para otras determinaciones analíticas.

### **3.3. Equipos, materiales, reactivos e insumos.**

#### **3.3.1. Equipos de investigación.**

- ✓ Espectrofotómetro UV-Visible (Dinámica Halo DB-20).
- ✓ Refractómetro (ATC).
- ✓ Congeladora (Coldex CH-10).
- ✓ Refrigeradora (Indurama).
- ✓ Cámara fotográfica (Sony).
- ✓ Balanza digital de sensibilidad 0,01 g (Sartorius).
- ✓ Termómetro digital de -20 °C hasta +300 (kex Germany).
- ✓ Centrífuga con temporizador digital (Medic).
- ✓ Deshidratador por aire forzado semi industrial de 5 kg, Temperatura de 30 °C a 80 °C.
- ✓ Equipo de análisis de imagen: Cámara fotográfica (Sony) y laptop (Lenovo).
- ✓ pH-metro (Hanna)

#### **3.3.2. Materiales de investigación.**

- ✓ Fiolas de 100 mL y de 500 mL.
- ✓ Paquete de papel toalla.
- ✓ Probetas de volumen de 10 mL y 100 mL.
- ✓ Vasos de precipitación de 50, 250, y 500 mL.
- ✓ Matraz Erlenmeyer de 100 mL, 500 mL.
- ✓ Pipetas de 1 mL, 5 mL y 10 mL.
- ✓ Micropipetas de 0,1 a 0,99 mL.
- ✓ Tubos de ensayo.
- ✓ Mechero de alcohol o ron.
- ✓ Rejilla de asbesto.
- ✓ Trípode.
- ✓ Gradillas.
- ✓ Espátula de acero inoxidable mango de madera.
- ✓ Rollo de papel aluminio.

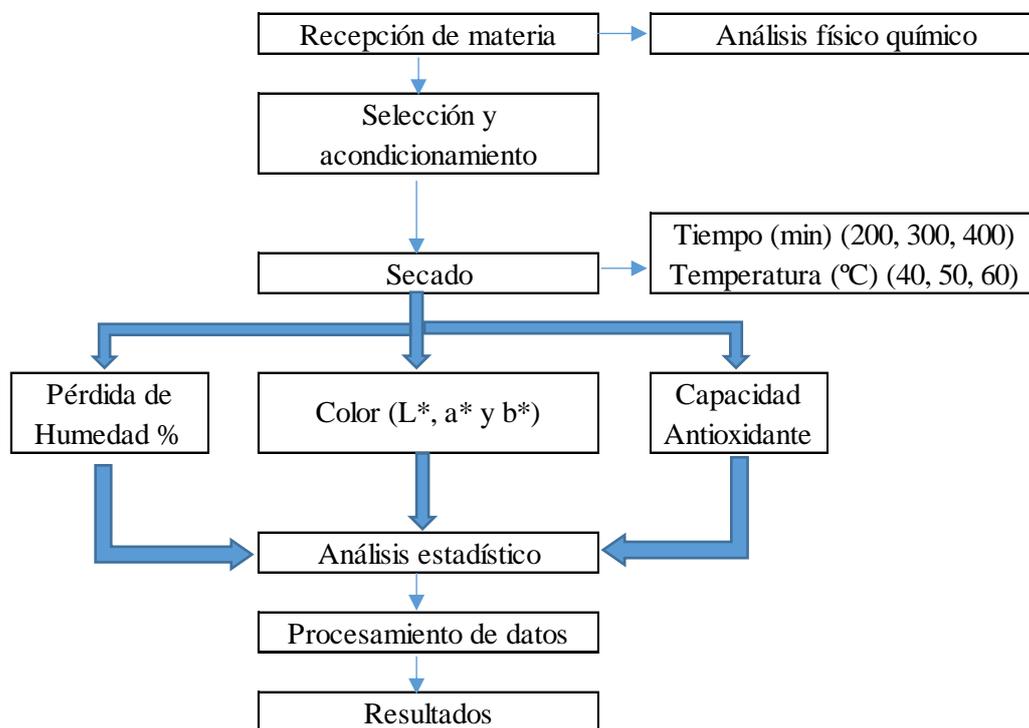
#### **3.3.3. Reactivos e insumos de investigación.**

- ✓ Reactivo Trolox (Ácido-6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametil-croman-2- carboxílico) (2 g).
- ✓ Radical libre DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazil) (50mg).
- ✓ Metanol (99,9%) (2 L).
- ✓ Agua destilada (4 L).

### 3.4. Metodología de la investigación.

#### 3.4.1. Desarrollo experimental.

En la Figura 2 se muestra el diagrama de flujo donde se recogió la materia prima, para luego acondicionarla, a continuación, se aplicó en un secador por bandejas con aire caliente forzado, combinando tiempo y temperatura según el diseño experimental, con sus tres niveles cada uno (Tabla 4), obteniendo frutos deshidratados de tomate de árbol. Después a cada muestra, se realizó un análisis físico-químico de la capacidad antioxidante (DPPH), del color ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) y de la pérdida de humedad (%) del tomate de árbol, posteriormente se procesaron los datos para obtener sus resultados.



**Figura 2.** Esquema experimental.

### Selección y acondicionamiento.

Los frutos tuvieron un estado de madurez completo, color rojo anaranjado, de tamaño mediano de 4 a 4,5 cm, sin daños físicos ni biológicos, luego de la selección, se han desinfectado los frutos del tomate de árbol a 150 ppm de hipoclorito de sodio en agua destilada (López, 2003), luego fueron secados a temperatura ambiente.

#### 3.4.2. Diseño experimental.

El diseño de la investigación se basó en un diseño factorial, teniendo como variables de proceso el tiempo de secado y temperatura, aplicando el diseño factorial  $3^k$ , se consideraron  $k$  factores con tres niveles cada uno. Los factores fueron temperatura (40, 50, 60 °C) y tiempo (200, 300, y 400 min), Este diseño consistió en  $3^2 = 9$  tratamientos diferentes con tres puntos centrales sin réplicación (Tabla 4).

**Tabla 4**

*Matriz del diseño factorial  $3^2$  en tres notaciones útiles.*

T	Tiempo (min)	T (°C)	Capacidad antioxidante ( $\mu\text{g Eq}^*$ Trolox /g)	Color			Pérdida de Humedad (%)
				L*	a*	b*	
1	400	50					
2	200	60					
3	400	60					
4	300	50					
5	300	50					
6	300	50					
7	300	50					
8	200	40					
9	200	50					
10	400	40					
11	300	40					
12	300	60					

El ejemplo estadístico para el diseño  $3^2$  se escribe de diferentes formas, considerando cada factor su efecto y la interacción entre ambos (Gutiérrez y Vara, 2008), y es el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \gamma_i + (\gamma\delta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad \text{Ecuación 1}$$

Con  $i=1, 2, 3; j= 1, 2, 3; k = 1, \dots, n$

Para los tres efectos incluidos en la Ecuación 1, la suma de los cuadrados se da de la siguiente manera:

$$SC_A = \sum_{i=1}^3 \frac{Y_{i..}^2}{3n} - \frac{Y_{...}^2}{n3^2}$$

$$SC_B = \sum_{j=1}^3 \frac{Y_{.j.}^2}{3n} - \frac{Y_{...}^2}{n3^2}$$

$$SC_{AB} = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \frac{Y_{ij.}^2}{3n} - \frac{Y_{...}^2}{n3^2} - SC_A - SC_B \quad \text{Ecuación 2}$$

**Dónde:**

- $\gamma_i$  = Es el efecto del factor A en su nivel i.
- $\delta_j$  = Representa el efecto del factor B en su nivel j.
- $(\gamma\delta)_{ij}$  = Es el efecto de interacción de ambos en los niveles ij.
- n = Es el número de repeticiones de cada tratamiento.
- $SC_A$  = Suma de cuadrados de A.
- $SC_B$  = Suma de cuadrados de B.
- $SC_{AB}$  = Suma de cuadrados de A\*B.

### 3.4.3. *Determinación fisicoquímica del tomate de árbol fresco.*

#### **Determinación de humedad.**

Se analizó mediante el método gravimétrico según la metodología descrita por Zaldivar y Cornejo (2011). Este método está fundamentado por la disminución de peso de la muestra al elevar la temperatura a 60 °C por un lapso de tiempo de 48 h hasta obtener peso constante, y el contenido de humedad se determinó después de la evaporación del agua presente en el alimento.

Los cálculos se realizaron utilizando la Ecuación 3.

$$\% \text{ de humedad} = \frac{(pmh - pms)}{pmh} \times 100 \quad \text{Ecuación 3}$$

#### **Dónde:**

pms: Peso de muestra seca

pmh: Peso de muestra húmeda

#### **Determinación de pH.**

Para la determinación del pH se utilizó el método descrito por Casaubon et al., (2018). Primero se calibró el pH-metro, sumergiendo el electrodo en una solución tampón de pH 7, posteriormente se limpió con agua destilada y se secó; Luego se filtró el extracto de fruta fresca sobre papel de filtro N° 40 y se colocó el electrodo en 20 mL de extracto de tomate de árbol y se llevó a cabo la respectiva medida de pH.

#### **Determinación Sólidos solubles (°Brix).**

Los sólidos solubles fueron determinados por reflectometría siguiendo según el método descrito por Chaves y Arosena (2018). Se agregó el extracto de tomate de árbol en el prisma del refractómetro y se procedió a realizar la lectura de manera directa sobre la escala del porcentaje de azúcares.

### **Determinación de acidez.**

Se realizó por el método de titulación descrito por Salas (2017). El método consistió en realizar la titulación de neutralización relación de 1:10 (extracto de fruta: agua destilada hervida), el agua se calentó por 30 a 60 s, luego se dejó enfriar y se adicionó 0,5 mL de fenolftaleína al 0,5% y se añadió el hidróxido de sodio a 0,1 N como solución titulante. La titulación finalizó cuando la solución presentó una coloración levemente rosada. Posteriormente, se realizó la lectura del gasto de hidróxido de sodio, y la acidez se calculó en función al ácido predominante (ácido cítrico para el tomate de árbol) con la Ecuación 4.

$$Acidez\ total = \frac{(N * Meq * V)}{P} \times 100 \quad Ecuación\ 4$$

#### **Dónde:**

**N**= Normalidad del NaOH.

**Meq**= Peso equivalente del ácido predominante expresado en gramos del (ácido cítrico 0,064 g).

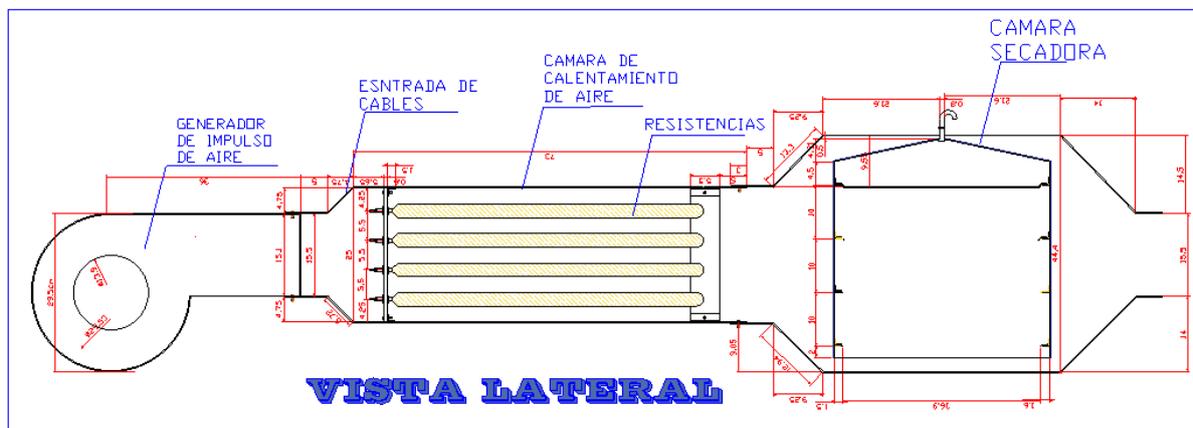
**V** = Cantidad en mL de hidróxido de sodio usado.

**P**= peso en gramos de la muestra.

#### **3.4.4. Preparación de la muestra (deshidratación por aire forzado).**

Los frutos del tomate de árbol se lavaron con agua destilada y se secaron al medio ambiente, luego se deshidrataron mediante flujo de aire caliente, determinando la pérdida de humedad según el tiempo y la temperatura aplicado a los diferentes tratamientos (Tabla 4), una vez deshidratados se realizó el análisis de imagen, posteriormente los frutos fueron se trituran en un mortero, luego se filtraron y el extracto se centrifugó a 4000 rpm a temperatura ambiente por 15 min, el sobrenadante de cada corrida se colocó en un recipiente de color ámbar, se protegió de la luz con un papel de aluminio, luego se enfrió a (-20 °C) durante 24 h para posteriormente realizar las pruebas de capacidad antioxidante.

En la Figura 3, se muestra el diseño del deshidratador por aire forzado que está compuesto por un generador de impulso de aire, que trabaja con una velocidad de 0,5 a 5 m/s, trabajando a 1 m/s para todas las combinaciones de cada tratamiento, seguido de una cámara de calentamiento de aire, donde están las 4 resistencias que calientan el aire de 30 °C a 80 °C Anexo 8, se pre calentó por 30 min, para estabilizar la temperatura, que pasa a la cámara de secado donde está presente un sensor, que controla la temperatura programada por un tablero, con una variación de temperatura de  $\pm 1$  °C, la cámara de calentamiento de aire está compuesta por 4 bandejas de acero inoxidable, de capacidad de 1 kg cada bandeja con orificios que permiten la circulación del aire caliente, permitiendo la deshidratación del tomate de árbol Anexo 8 (Murillo, 2007).



**Figura 3.** Plano del secador de bandejas por convección forzada.

### **3.4.5. Determinación de la capacidad antioxidante.**

Para determinar la capacidad antioxidante, se utilizó el método descrito por Salas (2017) para medir la decoloración del radical 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH).

Una vez deshidratados los frutos de cada tratamiento, fueron triturados en un mortero, posteriormente fueron filtrados con papel filtro, se centrifugó el extracto a 4 000 rpm a temperatura ambiente por 15 min, el sobrenadante de cada tratamiento se colocó en un envase ámbar con papel aluminio en frente protegido de la luz y en seguida se congeló a (-20 °C) por 24 h y luego se realizaron las pruebas de capacidad antioxidante.

#### **Preparación de la solución patrón de Trolox**

Se disolvieron 2 mg de Trolox (Ácido – 6 – hidroxil – 2, 5, 7, 8 – tetrametil – croman – 2-carboxilo) en 10 mL de metanol al 80%. Con una concentración de 800 µmol/L, esta solución patrón Trolox se utilizó para preparar soluciones de trabajo con diferentes concentraciones.

#### **Preparación del radical DPPH**

En un matraz aforado se pesó 3,9 mg del radical DPPH, primero la balanza se trajo con el matraz y protegido contra la luz con papel aluminio, luego se adicionó 100 mL de metanol al 80% para disolver el radical DPPH, seguidamente se agitó durante 20 min con la finalidad de lograr una adecuada disolución, y se almacenó a -20 °C en un lugar fresco y en oscuridad por un tiempo no mayor de una semana. Posteriormente la solución de DPPH se midió en el espectrofotómetro a 517 nm dando una lectura de 0,892.

#### **Determinación de la capacidad antioxidante de las muestras**

Se pipetearon 0,1 mL de extracto de tomate de árbol en la muestra preparada de cada tratamiento y se añadieron 2.9 mL de la disolución de DPPH preparada, la solución se agitó vigorosamente y se mantuvo en la oscuridad durante 30 min, posteriormente se registró la

absorbancia en un Espectrofotómetro UV-Visible a 517 nm. La absorbancia se utilizó para calcular la actividad antioxidante de los frutos del tomate de árbol.

### **Curva de calibración**

Se preparó una dilución patrón disolviendo 2 mg de reactivo Trolox (Ácido- 6-hidroxi-2, 5, 7,8-tetrametil-croman 2- carboxílico) en 10 mL de metanol al 80 %, luego se realizó las diluciones de la Tabla 5 obteniendo concentraciones de 100 a 800  $\mu\text{mol}$  de Trolox/L. Se determinó la capacidad antioxidante de estas soluciones, siguiendo el procedimiento de determinación de capacidad antioxidante de las muestras. La absorbancias y concentraciones de las soluciones se emplearon para determinar la ecuación de la curva de calibración (Anexo 2).

La muestra en blanco fue 3 mL de la solución patrón de Trolox.

**Tabla 5**

*Datos para la curva estándar de solución Trolox.*

<b>Concentración (<math>\mu\text{mol/L}</math>)</b>	<b>Solución patrón (mL)</b>	<b>Metanol 80% (mL)</b>
100	0,375	2,625
200	0,750	2,250
300	1,125	1,875
400	1,500	1,500
500	1,875	1,125
600	2,250	0,750
700	2,625	0,375
800	3,000	0

### **Cálculo de la capacidad antioxidante**

El cálculo de la capacidad antioxidante se dio usando la curva de calibración estándar de Trolox, se restó la absorbancia del blanco y la absorbancia de la muestra, por la ecuación de la recta de Trolox (Anexo 2) mostrando los resultados en ( $\mu\text{g}$  Trolox Eq\* /g), se calculó con la Ecuación 5.

$$\frac{\mu\text{g Trolox Eq}^*}{\text{g}} = \frac{((Bx) \times 250)}{100} \quad \text{Ecuación 5}$$

**Dónde:**

**Bx** = Es la ecuación que se obtiene de la curva de calibración de Trolox. Siendo X: La variación de las absorbancias  $\Delta$  (Abs blanco – Abs muestra).

**0,25** = Se obtuvo del peso molecular del Trolox para expresar en unidades  $\mu\text{g}$  que es igual a un micromolar Trolox.

### 3.4.6. Determinación del color.

Para determinar el color, se utilizó el método de visión por computadora descrito por Chuquizuta et al. (2016), para la obtención de las imágenes se construyó un equipo con las características y especificaciones de la Tabla 6.

**Tabla 6**

*Detalles del sistema de adquisición de imágenes.*

Ítem	Parámetro	
Paredes	Color interior	Negro mate
	dimensiones (cm)	100x100x100 (cm)
Luminarias	Cantidad	4
	Tipo	Luz de día
	Potencia	18 W
	Color (temperatura)	2 700 K
	Disposición	Equilátera (10 cm arista)
Cámara	Resolución (Píxeles x 106)	21.4
	Dimensión imagen (píxeles)	4 320 x 3 240
	Sensor	CCD
Computador	Procesador	Intel Core i5 Inside
	Memoria RAM (Gigabytes)	4

Las muestras después del proceso de secado fueron sometidas a adquisición de imágenes en el formato \*.jpg en el equipo de análisis de imagen Figura 4, en matriz RGB, fueron descompuestas en sus coordenadas L\*, a\*, b\*.

Para la transformación de RGB a L\*, a\*, b\*, se aplicó una secuencia lógica e interfaz gráfica utilizando el software Matlab 2011b desarrollado por Chuquizuta et al. (2016).



**Figura 4.** Equipo de análisis de imagen para frutos.

#### **3.4.7. Determinación de la pérdida de humedad.**

La pérdida de humedad se determinó mediante el método gravimétrico descrito por Monsalve y Machado (2007), para cada tratamiento se desarrolló después del secado, se pesó cada fruto antes de la deshidratación y luego, para poder calcular la pérdida de humedad en cada tratamiento, el porcentaje de pérdida de humedad se calcula utilizando la Ecuación 6.

$$\text{Pérdida de humedad (\%)} = \left( \frac{P1 - P2}{P1} \times 100 \right) \quad \text{Ecuación 6}$$

**Dónde:**

**P1** = Peso inicial

**P2** = Peso final

### **3.5. Análisis estadístico.**

La influencia de los Factores y sus interacciones están determinadas por el análisis de las variables dependientes; El análisis ANOVA se realizó en el software Statgraphics Centurión XVI, para para representar gráficamente la superficie de respuesta, se utilizó una regresión polinomial con el indicado coeficiente de determinación especificado, visualizando los efectos de las variables independientes hasta las variables dependientes generales, mostrando la región relevante de la variable dependiente en cual es el intervalo de prueba deseado, también se calcula con la metodología de respuestas múltiples utilizando la función deseabilidad (Castro, 2017).

## CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Análisis fisicoquímico del fruto de tomate de árbol fresco

En la Tabla 7, se muestran los resultados del análisis físico-químico del tomate de árbol fresco variedad criollo pintón recolectado en estado maduro-firme con un porcentaje de humedad en base húmeda de 83,63%, el cual fue ligeramente menor frente a lo reportado por Navarro (2017) con 84,64%. De igual forma, el pH 3,06 obtenido se incluye en el rango de pH de 3 a 4 del tomate de árbol de la variedad naranja pintón (Carrera, 2013). Asimismo, la cantidad de sólidos solubles medidos en °Brix en el tomate de árbol fresco fue de 11,5 ligeramente mayor a los resultados reportados por Carrera (2013) con 11,1. Asimismo, el porcentaje de acidez medido en función al ácido predominante, ácido cítrico fue de 0,92% menor a los resultados descritos por Carrera (2013), quien reportó un valor de acidez de 1,2%; estas diferencias dependen de la zona de cultivo, tipo de suelos y factores climatológicos que pueden alterar la composición fisicoquímica del tomate de árbol.

**Tabla 7**

*Análisis físico químico del tomate de árbol fresco.*

<b>Análisis químico proximal</b>	<b>Muestra fresca</b>
% humedad en base húmeda	83,63% ± 0,5
pH	3,6 ± 0,02
°Brix	11,5 ± 0,25
% Acidez	0,92 ± 0,01

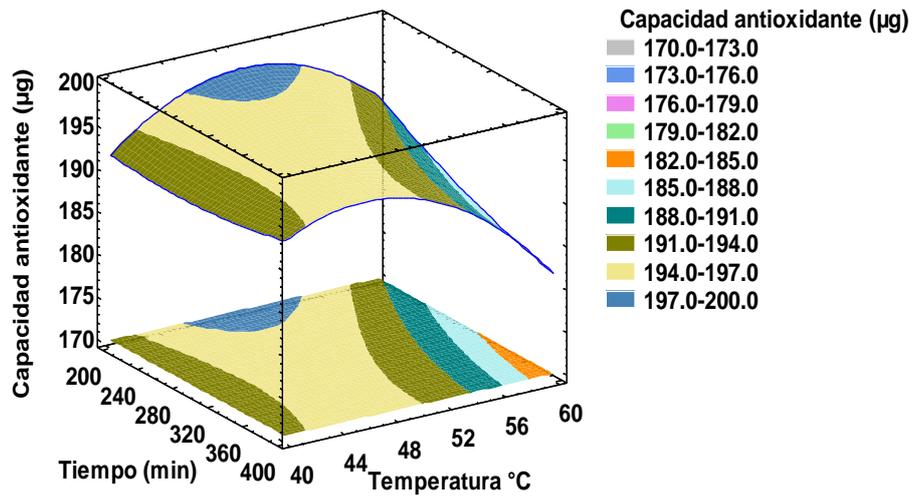
#### **4.2. Capacidad antioxidante del tomate de árbol deshidratado**

La Tabla 8 se muestra la capacidad antioxidante de los 12 tratamientos de los frutos deshidratados del tomate de árbol, el tratamiento 5 (tiempo 300 min y temperatura de 50 °C) presenta la mayor capacidad antioxidante (198,79  $\mu\text{g Eq}^* \text{Trolox/g}$ ) y el tratamiento 3 (tiempo 400 min y temperatura de 60 °C) la menor capacidad antioxidante (179,72  $\mu\text{g Eq}^* \text{Trolox/g}$ ). Sin embargo, estos resultados no tienen relación con lo reportado por Barcia (2014), quien encontró que al aplicar una temperatura de 60 °C y un tiempo de 600 min, los tomates de árbol deshidratados presentaron una capacidad antioxidante de 90  $\mu\text{g Trolox/g}$ , Este resultado es peor que el resultado obtenido porque el tiempo de secado es demasiado extenso, lo que reduce la capacidad antioxidante. La aplicación de una temperatura de secado alta puede reducir la capacidad antioxidante debido a la descomposición de los compuestos antioxidantes (Salas, 2017). Este mismo comportamiento se observó durante el secado de los frutos de tomates de árbol, lo que indicaría que los compuestos sensibles a altas temperaturas como: carotenoides, ácido ascórbico, compuestos fenólicos, etc. son degradados durante el secado (Sumaran, 2019). Repo y Encina (2008) afirman que la intensidad de los colores característicos del tomate de árbol disminuye debido a la degradación de los carotenoides, este comportamiento de reducción de la intensidad de los colores se ha observado durante el secado de los frutos de tomate de árbol (Figura 7). Por otro lado, la capacidad antioxidante de los alimentos vegetales depende del entorno de crecimiento, interactuando entre sí, produciendo efectos inhibidores o sinérgicos (Muñoz et al., 2007).

**Tabla 8***Capacidad antioxidante del tomate de árbol deshidratado.*

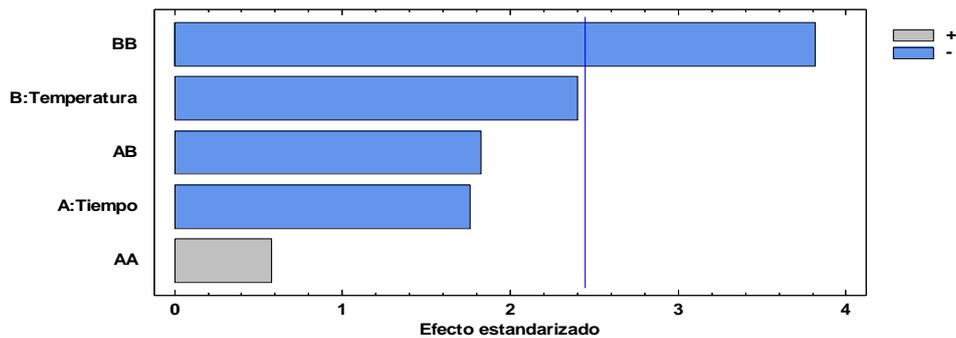
<b>T</b>	<b>Tiempo (min)</b>	<b>T (°C)</b>	<b>Capacidad antioxidante (µg Eq* Trolox /g)</b>
1	400	50	196,43
2	200	60	191,83
3	400	60	179,72
4	300	50	195,84
5	300	50	198,79
6	300	50	192,90
7	300	50	194,03
8	200	40	194,13
9	200	50	195,47
10	400	40	192,69
11	300	40	189,05
12	300	60	187,13

La superficie de respuesta de la capacidad antioxidante del tomate de árbol deshidratado a diferentes temperaturas y tiempos de secado se muestra en la Figura 5, observando que al incrementar la temperatura de 40 °C a 50 °C a un tiempo de 200 min, la capacidad antioxidante va en aumento, sin embargo, cuando la temperatura se incrementa de 50 °C a 60 °C, la capacidad antioxidante se reduce en una proporción mayor, esto indica que altas temperaturas de secado reducen capacidad antioxidante debido a la degradación de los antioxidantes que son más sensibles a altas temperaturas. Así mismo, se observa que cuando la temperatura de secado se incrementa de 40 °C a 50 °C a tiempo de 400 min, la capacidad antioxidante se incrementa también, pero esta se reduce cuando la temperatura se incrementa de 50 °C a 60 °C. Al comparar los tiempos de secado de 200 min y 400 min a los mismos rangos de temperatura, se observa que existe una mayor reducción de la capacidad antioxidante a 400 min, indicado que los tiempos prolongados de secado también reducen la capacidad antioxidante de frutos de tomate de árbol.



**Figura 5.** Superficie de respuesta estimada para la capacidad antioxidante a diferentes temperaturas y tiempos.

Se aplicó análisis de varianza (ANOVA) a los resultados obtenidos, para la capacidad antioxidante (Anexo 3). La Figura 6 también muestra la gráfica de Pareto, en la que se observó que el efecto cuadrático de la temperatura de secado sobre la capacidad antioxidante era significativo (valor  $p = 0,0088$ ).



**Figura 6.** Diagrama de Pareto, Capacidad antioxidante.

### **4.3. Color L\* a\*b\* del tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*) deshidratado.**

La Tabla 9 se puede observar el índice de color L\*, a\* y b\* de los 12 tratamientos de los frutos de tomate de árbol deshidratados, el tratamiento 2 (60 °C y 200 min) presenta un mayor índice de color L\* y b\*, con 74,1326 y 65,7887 respectivamente, el tratamiento 12 (60 °C y 300 min) presenta un valor positivo de 14,4126 referente al índice a\* (color rojo). Barcia (2014) ha determinado que a 60 °C de temperatura y 360 min de tiempo, el parámetro L\* presenta un valor de 44, a diferencia de nuestros hallazgos con un valor de L\* = 60, indicando un cambio más fuerte al color blanco esta diferencia viene dada porque el autor ha trabajado con tomate de árbol morado y nuestros resultados son para tomate de árbol naranja, esta diferencia también se relaciona al tiempo y temperatura de secado degradando los colores del fruto fresco. En nuestros resultados el índice a\* muestra un valor de 13 característico del color naranja.

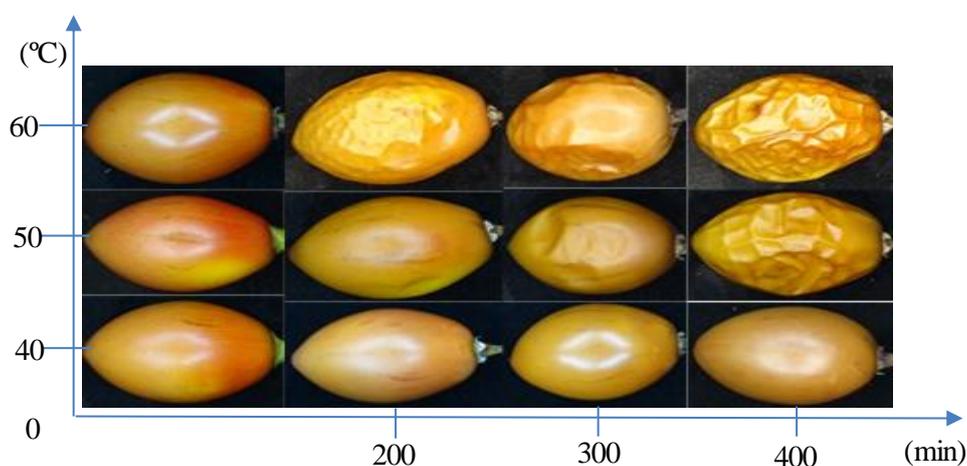
Barcia (2014) reportaron un valor de b\* de 19 para tomate de árbol morado deshidratado a una temperatura de 60 °C y un tiempo de 360 min, a diferencia de nuestros hallazgos con un valor de b\* de 63, indicando un cambio más fuerte al color amarillo oscuro debido a la aplicación de una temperatura de 60 °C y un tiempo de 400 min, lo que pudo degradar los carotenoides presentes en el tomate de árbol. Esta diferencia ocurre de manera similar porque el autor trabajó con tomates morados y nuestros resultados fueron de tomates anaranjados teniendo colores diferentes y por la variación del parámetro L\*. Chaves et al., (2003), determinaron que a mayor temperatura de secado mayor pardeamiento no enzimático debido a la reacción de Maillard que ha ocurrido en el tomate de árbol deshidratado, asimismo, la intensidad del color característico de los tomates de árbol se puede reducir debido a la degradación de los carotenoides debido a los efectos de las altas temperaturas de secado (Repo y Encina, 2008).

**Tabla 9**

*Color superficial en coordenadas L\*, a\* y b\* del tomate de árbol deshidratado.*

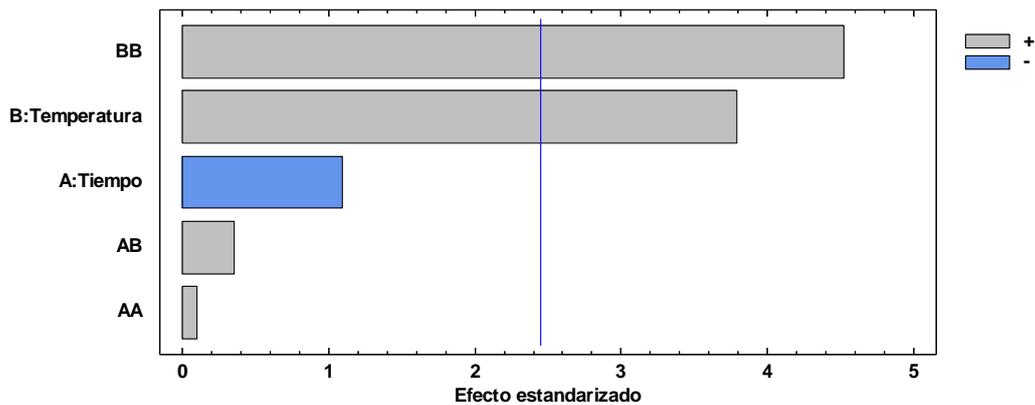
T	Tiempo (min)	T (°C)	Color		
			L*	a*	b*
1	400	50	62,6694	10,4824	61,0875
2	200	60	74,1326	10,1447	65,7887
3	400	60	71,5191	13,3500	63,4103
4	300	50	64,2987	1,9152	51,5132
5	300	50	61,3341	8,3953	51,0795
6	300	50	62,3112	10,3116	55,9843
7	300	50	64,8110	-0,6512	31,4847
8	200	40	67,1387	8,2855	38,0821
9	200	50	61,4650	7,4604	54,9766
10	400	40	63,0739	9,4426	42,5339
11	300	40	65,8334	5,5089	49,5635
12	300	60	69,3470	14,4126	56,7881

En la Figura 7 puede ver el progreso de la intensidad del color en función del tiempo de secado y temperatura del tomate de árbol, observando que a un tiempo 0 y temperatura de 40 °C el tomate de árbol tiene un color anaranjado intenso (carotenoides) y llamativo, a diferencia de un tiempo de 400 min y 40 °C el tomate de árbol disminuye su intensidad de color, lo contrario ocurrió con la temperatura de 60 °C, donde los frutos deshidratados no redujeron la intensidad del color anaranjado (carotenoides) hasta los 400 min de secado, también, se observó que el volumen de los frutos de las plantas de tomate de árbol disminuyó en 29,84 % a 400 min y 60 °C en comparación con los frutos frescos.



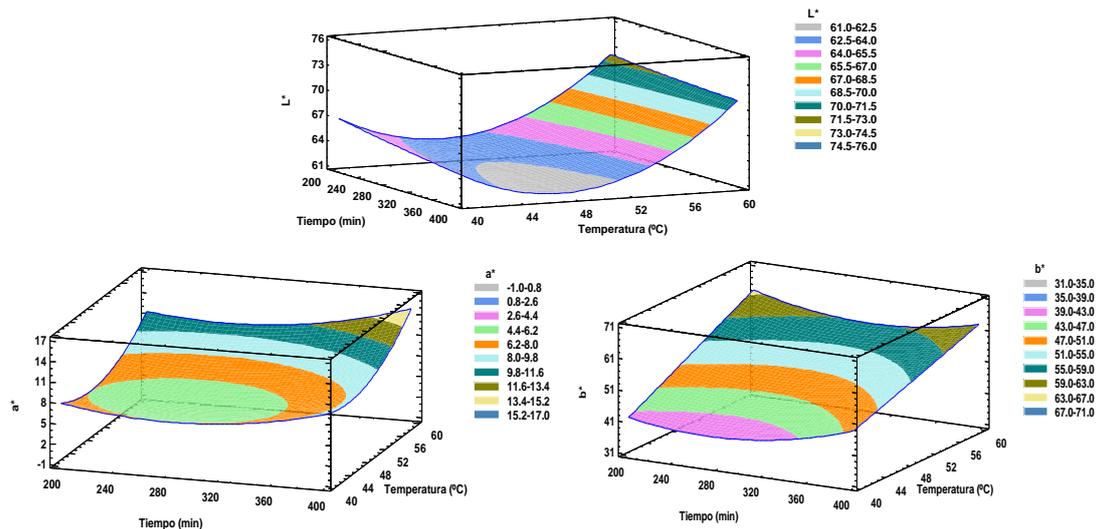
**Figura 7.** Evolución del color de la superficie del tomate de árbol deshidratado.

En la Figura 8, se puede ver que el efecto lineal y cuadrático de la temperatura de secado sobre el índice de color ( $L^*$ ) del tomate de árbol deshidratado fue significativo ( $p < 0,05$ ) en comparación con el efecto lineal y cuadrático del tiempo de secado y la interacción de ambas variables que no fueron significativos ( $p > 0,05$ ) estos resultados se pueden ver en el análisis de varianza (Anexo 4). Respecto a los parámetros  $a^*$  y  $b^*$ , no se encontraron diferencias o efectos significativos de los efectos del modelo cuadrático (Anexo 5).



**Figura 8.** Diagrama de Pareto, color  $L^*$ .

La Figura 9 muestra la región de respuesta de los parámetros de color  $L^*$   $a^*$   $b^*$  de los frutos de tomate de árbol en función del tiempo de secado y la temperatura, aumentando los parámetros de color al aumentar la temperatura, a diferencia del tiempo donde los parámetros de color  $L^*$   $a^*$   $b^*$  son constantes en el tiempo de secado, la corteza adquiere un brillo intenso cuando  $L^*$  es mayor que 50 y aumenta en relación al aumento de la temperatura tal como se observa en la Figura 7, y los parámetros  $a^*$  y  $b^*$  de los frutos secos muestran tonalidades rojas y amarillas y la progresión es idéntica al índice  $L^*$  (Figura 9), los que con el proceso de secado aumenta el índice  $a^*$  dando origen a un color dorado.



**Figura 9.** Superficie de respuesta  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  (Tiempo y Temperatura).

#### 4.4. Pérdida de humedad durante el deshidratado del tomate de árbol.

La Tabla 10 muestra los resultados del porcentaje de pérdida de humedad durante el secado de los frutos de tomate de árbol, en el tratamiento 3 (60 °C y 400 min) se pierde una mayor humedad (29,84% en base húmeda) teniendo un resultado positivo con respecto a la disminución de humedad, ocurre lo contrario con el tratamiento 8 que pierde una menor humedad (5,34%).

El tratamiento 3 (60 °C y 400 min) perdió mayor humedad a diferencia de los demás tratamientos, que se han trabajado con temperaturas de 40 y 50 °C para tiempos de 200 y 300 min, que no recibieron un tratamiento suficiente para evaporar el agua del interior del alimento, siendo menor la pérdida de humedad del tomate de árbol. Morante (2017) menciona que se necesita una temperatura de 65 °C y un tiempo de 12 h para que la evaporación de agua del interior del aguaymanto sea mínima y constante, garantizando la estabilidad microbiológica. Asimismo, Quimbiuilco (2014) determinó que la pérdida de humedad era proporcional al tiempo de secado y la temperatura, porque cuanto mayor era el tiempo de secado y la temperatura, más agua se evapora del interior del alimento. Otro factor que afecta la velocidad a la que los tomates de árbol pierden humedad es la estructura de la corteza exterior, que está

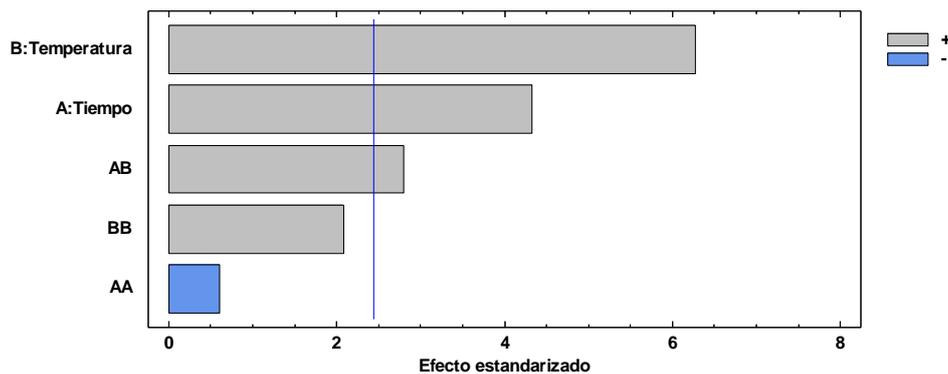
formada por fibra, lo que retrasa la excreción de agua en forma de vapor del interior de los alimentos. También, Quimbiuilco (2014) menciona que la temperatura adecuada para un buen deshidratado de las frutas es de 60 °C.

**Tabla 10**

*Pérdida de humedad del tomate de árbol deshidratado.*

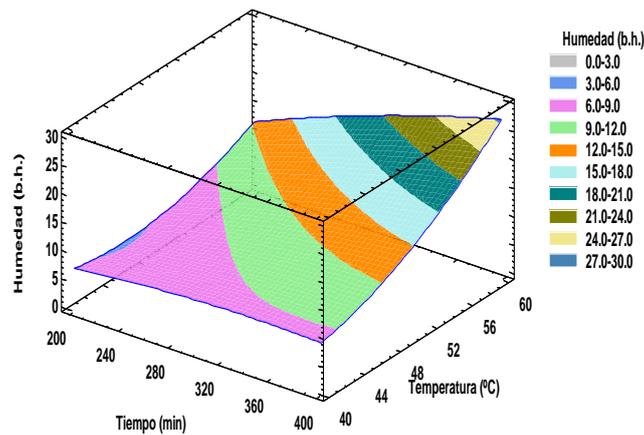
T	Tiempo (min)	T (°C)	Pérdida de humedad (%)
1	400	50	10,8597
2	200	60	11,9092
3	400	60	29,8431
4	300	50	12,0951
5	300	50	11,3877
6	300	50	12,6816
7	300	50	12,1493
8	200	40	5,3944
9	200	50	7,7924
10	400	40	9,8540
11	300	40	8,0703
12	300	60	18,5201

En la Figura 10 se puede visualizar que los efectos lineales de temperatura, tiempo de secado y su interacción son significativos ( $p < 0,05$ ) en la pérdida de humedad del tomate de árbol deshidratado, en comparación con el efecto de segundo orden de la temperatura y el tiempo de secado que no fue significativo ( $p > 0,05$ ); estos resultados se pueden observar en el análisis de varianza en el Anexo 7 y Figura 10.



**Figura 10.** Diagrama de Pareto para la pérdida de humedad.

La Figura 11 muestra el área de respuesta para el porcentaje de pérdida de humedad de las frutas de tomate de árbol deshidratado en función de la temperatura y el tiempo de secado. El diseño factorial  $3^k$  permitió maximizar de la pérdida de humedad del tomate de árbol durante la deshidración (color crema de la superficie de respuesta), lo que demuestra que el punto máximo se encuentra el tratamiento que tiene una temperatura de 60 °C y un tiempo de 400 min con la mayor pérdida de humedad.



**Figura 11.** Superficie de respuesta de humedad (Tiempo y temperatura).

#### 4.5. Resultados de la optimización de múltiples respuestas.

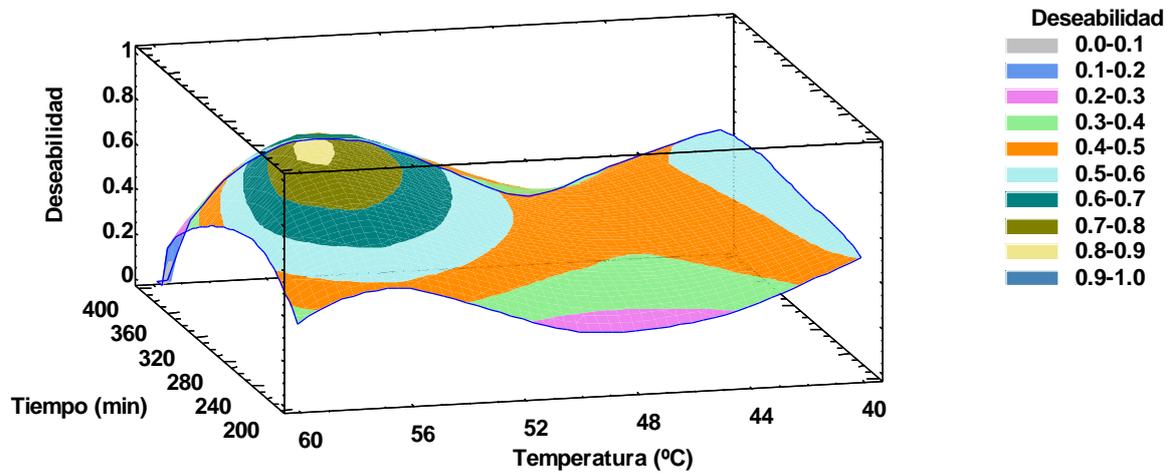
En la Tabla 11 se muestra el tratamiento óptimo determinado utilizando la función deseabilidad, la deseabilidad máxima (0,83) para variables de respuesta capacidad antioxidante, parámetros de color y % de pérdida de humedad se alcanzó en un tiempo de 305 minutos y una temperatura de 57 °C. Aguirre (2014) menciona que la deseabilidad global del deshidratado convectivo de berenjena para la variable de respuesta (humedad, encogimiento y deformación) se alcanza a una temperatura de 90 °C, esta diferencia viene dada porque han trabajado con temperaturas comprendidas entre 45 y 90 °C y diferentes variables de respuesta a diferencia de nuestros resultados donde los rangos de temperatura fueron menores entre (40 y 60 °C). Chaves et al., (2003), demostraron que el uso de alta temperatura y durante mucho tiempo aumentó la pérdida de humedad, pero el color exterior del fruto del tomate de árbol mejoró, sin embargo, a temperaturas superiores a 60 °C, los valores de resistencia de la capacidad antioxidante disminuyeron debido a que los compuestos fenólicos y carotenoides son sensibles a las altas temperaturas y se pueden degradar en mayor proporción. Yaguas (2017) señala que los resultados de la deseabilidad se basan en el hecho de que las metas de optimización de las variables examinadas deben tener un buen conjunto de condiciones que satisfagan todas las metas, y por deseabilidad para poder encontrar un óptimo deseable.

**Tabla 11**

*Valor óptimo de la metodología de múltiples respuestas.*

Factor	Óptimo	Capacidad antioxidante ( $\mu\text{g Eq}^*$ Trolox /g)	Pérdida de humedad (%)	Color		
				L*	a*	b*
Tiempo	305,019	189,67	17,62	67,73	8,95	55,95
Temperatura	57,0125					

La Figura 12 muestra el área de la superficie de múltiples respuestas de la deseabilidad, mediante maximización de cada una de las variables optimizadas en cuanto a la capacidad antioxidante, color en cada una de sus coordenadas ( $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ ), y % de pérdida de humedad, al ser interpoladas se observa un mayor rango de deseabilidad en un tiempo de 305 minutos y una temperatura de 57 °C, donde el pico de la superficie es más pronunciado (color crema).



**Figura 12.** Superficie de respuesta de la deseabilidad y optimización de múltiples respuestas

## CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Conclusiones.

Se evaluó el efecto de la temperatura y el tiempo de secado sobre la capacidad antioxidante del tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*) deshidratado, todos los tratamientos de esta investigación presentaron una fuente importante de capacidad antioxidante, en particular el tratamiento 5 (50 °C y 300 min), logrando niveles más altos de capacidad antioxidante con 198,78 ( $\mu\text{g Eq}^* \text{Trolox/g}$ ) a diferencia de la mayoría de los tratamientos, y el método de superficie de reacción indica que se pierde mayor resistencia a la oxidación a 60 °C debido a que son compuestos sensibles a altas temperaturas, incluso solo el efecto cuadrático de la temperatura fue significativo (valor  $p = 0,0088$ ).

Se evaluó el efecto de la temperatura y el tiempo de secado sobre el color del tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*) deshidratado, obteniendo el tratamiento 3 (60°C y 400 min) mejores valores con una deseabilidad de 0,89 respecto a los parámetros  $L^*$   $a^*$  y  $b^*$  de 71,52, 13,35 y 63,41 respectivamente. El tratamiento 3 (60°C y 400 min) muestra un mejor color. En el análisis estadístico, los resultados de superficie de respuesta de color muestran que la temperatura afecta más que el tiempo de secado, a una temperatura de (60°C) el color blanco, rojo, y amarillo es más agradables a la vista del ser humano, asimismo fue la temperatura (lineal y exponencial) una variable significativa en  $L^*$  ( $p < 0,05$ ) y no significativas para  $a^*$  y  $b^*$ .

Se evaluó el efecto de la temperatura y tiempo de secado en la pérdida de humedad del tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*) deshidratado, el tratamiento 3 (temperatura de 60°C y tiempo de 400 min) es el tratamiento que perdió una humedad de 29.84%, y los resultados de la superficie de respuesta Figura 6 indican que a un mayor tiempo y temperatura la pérdida de humedad es más eficiente, siendo ambas variables significativas ( $p < 0,05$ ).

Se evaluó el efecto de la temperatura y tiempo de secado en la capacidad antioxidante, el color y la pérdida de humedad del tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*) deshidratado, a partir de la función deseabilidad, encontrándose que los parámetros óptimos son: temperatura de secado de 57 °C y un tiempo de 305 min para una deseabilidad de 0,83, en el secado se ha obteniendo un mayor nivel de antioxidante de (189,67  $\mu\text{g Eq}^*$  Trolox/g), con un color adecuado en las coordenadas  $L^*=67,74$ ;  $a^*=8,95$  y  $b^*=55,95$  muestran una mayor intensidad de luminosidad, una mayor intensidad de los colores rojo y amarillo, y finalmente se obtiene una pérdida de humedad del 17,61%.

## 5.2. Recomendaciones.

- ✓ Se recomienda determinar la capacidad antioxidante del tomate de árbol en función del tiempo de secado y la temperatura en comparación con otros métodos como ABTS, FRAP, ORAC.
- ✓ Se recomienda analizar la cinética de secado del tomate de árbol en diferentes momentos, velocidad y temperatura de aire.
- ✓ Se recomienda evaluar el resultado de la temperatura de secado y el tiempo en el análisis químico proximal de los frutos de tomate de árbol deshidratado.
- ✓ Se recomienda evaluar el resultado de la aplicación de temperatura y el tiempo de secado sobre la diferencial del color del tomate de árbol.
- ✓ Profundizar el estudio en cuanto a otros factores o variables independientes (Velocidad de aire, mayor tiempo de secado) y variables dependientes (contenido de ácido ascórbico, compuestos fenólicos, antocianinas y carotenos) que puedan afectar a la capacidad antioxidante del tomate de árbol deshidratado.

## CAPÍTULO VI: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acuario, L., Igual, M., y Camacho, M. (2014). La rehidratación de alimentos deshidratados. *Revista chilena de nutrición*, 33(3), 527-538. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182006000500009>
- Aguirre, M. (2014). Modelado de las cinéticas de secado de tres variedades de yuca industrial. *Revista DINA*, 81(186), 184-189. <https://repositorioinstitucional.buap.mx/handle/20.500.12371/5224>
- Amaya, J. E., y Julca, J. L. (2006). Efecto del porcentaje de ácido cítrico sobre los cambios fisicoquímicos de *Cyphomandra betacea* s. en poscosecha. *Revista Científica UNTRM: Ciencias Naturales e Ingeniería*, 3(2), 41-46. <http://dx.doi.org/10.25127/ucni.v3i2.613>
- Aviles, K. A. (2012). *Estudio del proceso de rehidratación de tomate de árbol deshidratado (Solanum betaceum cav)*. [Tesis de pregrado no publicada]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/2017/1/56T00312.pdf>
- Barcia, C. A. (2014). Caracterización física, química y compuestos bioactivos de pulpa madura de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*) (Cav.) Sendtn *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 62(4), 381-388. [http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/5126/1/58789\\_1.pdf](http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/5126/1/58789_1.pdf)
- Carrera, P. D. (2013). *Determinación de las propiedades fisicoquímicas del jugo de tomate de árbol (Solanum betaceum Cav)* [Tesis de pregrado]. Carrera de Química. Quito: UCE. 115 p. <https://core.ac.uk/download/pdf/71900905.pdf>
- Casaubon, P., Lamshing, P., Isoard, F., Lemen, S., Delgado, D., y Pérez, A. (2018). Impacto de las medidas generales en el tratamiento del reflujo gastroesofágico: una revisión basada en la evidencia. *Revista Mexicana Pediatría*, 85(3), 89-94. <http://www.scielo.org.co/pdf/rcg/v30n4/v30n4a07.pdf>
- Castillo, N. (2018). Estudio Comparativo de Métodos Empleados para la Determinación de Humedad de Varias Matrices Alimentarias. *Revista Informacion Tecnológica*, 26(2), 3-10. <https://doi: 10.4067/S0718-07642015000200002>
- Castro, W., Oblitas, J., Chuquizuta, T.S., y Avila, G. (2017). Aplicación del análisis de imagen para la optimización del proceso de fabricación de pan en base a la aceptabilidad del color de la corteza. *Revista de ciencia de cereales*, 74(1), 194-199. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.02.002>
- Catalina, D., Mauricio, H., y Díaz, C. (2014). Evaluación de parámetros de calidad físicoquímica, microbiológica y sensorial en tomate secado comercial (*Lycopersicum esculentum*). *Revista U.D.C.A Actualidad y Divulgación Científica*, 17(1), 131-138. <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v17n1/v17n1a15.pdf>
- Ceballos, E., y Jiménez, M. (2012). Cambios en las propiedades de frutas y verduras durante la deshidratación por flujo caliente de aire y su susceptibilidad al degradamiento de microorganismos. *Revista Ingeniería de Alimentos*, 6(1), 98-110.

[https://www.udlap.mx/wp/tsia/files/No6-Vol-1/TSIA-6\(1\)-Ceballos-Ortiz-et-al-2012.pdf](https://www.udlap.mx/wp/tsia/files/No6-Vol-1/TSIA-6(1)-Ceballos-Ortiz-et-al-2012.pdf)

- Cerón, I., Higueta, J., y Cardona, C. (2010). Capacidad antioxidante y contenido fenólico total de tres frutas cultivadas en la región andina. *Vector*, 5 (1), 17-26  
[http://vector.ucaldas.edu.co/downloads/Vector5\\_2.pdf](http://vector.ucaldas.edu.co/downloads/Vector5_2.pdf)
- Chaves, R. H., y Arosena, M. A. (2018). *Evaluación del extracto del fruto de mullak'a (Muehlenbeckia volcanica (Benth.) Endl.) sobre las características de calidad de la carne molida de alpaca (Vicugna pacos) en refrigeración* [Tesis de pregrado]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.  
<https://hdl.handle.net/20.500.12672/9393>
- Chaves, M., Sgroppo, S., y Avanza, J. (2003). *Cinética de secado de berenjenas (Solanum melongena L.). Comunicaciones Científicas y Tecnológicas*. Universidad Nacional del Nordeste. <https://studylib.es/doc/6316982/cin%C3%A9tica-de-secado-de-berenjenas>
- Chuquizuta, T. S., Florián, G., Fito, P., y Castro, W. M. (2016). Efecto de las condiciones de proceso en el desarrollo del color durante la elaboración de pan: uso de técnicas de análisis de imagen para evaluación del color. *Ciencias Naturales e Ingeniería*, 2(1), 32-39. <http://DOI:10.25127/ucni.v2i1.223>
- CODEX STAN 67. (s.f.). *Norma del codex para las uvas pasas*.  
<http://www.inmetro.gov.br/barreirastecnicas/exigenciastecnicas/documentos/ESP/CX%2067%20Uvas%20pasas.pdf>
- Cordero, E., y Urbina, T. (2011). *Validación del diseño de un deshidratador solar de frutas y hortalizas en el municipio de Matagalpa* [Tesis de pregrado no publicada]. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua.  
<https://es.scribd.com/document/250717028/Protocolo-de-Investigacion-Para-Ejemplo-1>
- Delia, U., y Rodríguez, W. H. (2015). Evaluación del color en pulpa de tomates deshidratados dulces para la elaboración de confituras. *Agronomía Mesoamericana*, 27(1), 131-137  
<http://dx.doi.org/10.15517/am.v27i1.21892>
- Fuente, S., Riera, E., y Gallego, J. (2003). *Estudio de los parámetros involucrados en el proceso de deshidratación ultrasónica de vegetales. Tecnic Acustic*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas.  
<https://digital.csic.es/bitstream/10261/7199/1/ult003.pdf>
- Gonzalez, A., Espinoza, A., Cañizares, A., y Méndez, J. (2008). Obtención de un polvo de ají dulce (*Capsicum chinense*) producido mediante deshidratación por aire forzado. *Revista Científica Universidad de Oriente Agrícola*, 8(1), 118-126.  
<http://www.bioline.org.br/pdf?cg08015>
- Gutiérrez, H., y Vara, R. (2008). *Análisis y diseño de experimentos* (2.a ed.). The McGraw Hill / Interamericana Editores S.A..
- Konica Minolta. (2014). Entendiendo el espacio de color CIE L\*A\*B\*. *Revista Scielo*, 36(1), 97-111. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/ac/v36n1/a08v36n1.pdf>

- López, A. F. (2003). *Manual Para la Preparación y Venta de Frutas y Hortalizas*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. <http://ISBN 92-5-304991-X>
- Lucas, K., Maggi, J., y Yagual, M. (2011). *Creación de una empresa de producción, Tomate de árbol*. Discover research. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/10689>
- Luis, D. (2017). *El tomate una despensa de minerales y vitaminas*. Centro de Investigación de Endocrinología y Nutrición Clínica. El Norte de Castilla. <https://ienva.org/es/noticias-en-prensa-de-nutricion/2017/9/16/el-tomate-una-despensa-de-minerales-y-vitaminas>
- Mestas, M., y Quispe, A. J. (2016). Optimización de los parámetros de la deshidratación osmótica y rehidratación de la cocona (*Solanum sessiliflorum* Dunal) y de tomate de árbol (*Solanum betaceum*). *Revista Tecnología e Innovación de Acceso Abierto (ALICIA)*. [http://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RNAP\\_68f3f2b47d9f1e8a401545006e0949aa/Details](http://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RNAP_68f3f2b47d9f1e8a401545006e0949aa/Details)
- MIDAGRI. (2016). *Anuario estadístico de la producción agrícola y ganadera 2015*. <https://www.minagri.gob.pe/portal/boletin-estadistico-de-medios-de-produccion-agropecuarios>
- Monsalve, J., y Machado, M. (2007). Evaluación de dos métodos de deshidratación del tomate (*Lycopersicon esculentum* mill) variedad manzano. *Multiciencias*, 7(3), 256-265. <https://www.redalyc.org/pdf/904/90470303.pdf>
- Morante, A. (2017). Cinética de Inactivación Térmica de la enzima pectinmetilesterasa en Zumo de Tomate de Árbol (*Solanum betaceum* Cav.). *SciELO*, 27(2), 67-76. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642016000200009>
- Moreno, E., Ortiz, B., y Restrepo, L. (2014). Contenido total de fenoles y actividad antioxidante de pulpa de seis frutas tropicales. *Revista Colombiana de Química*, 43(3), 41. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v43n3.53615>
- Muñoz, A. M., Ramos, F. D., Alvarado, C., y Castañeda, B. (2007). Evaluación de la capacidad antioxidante y contenido de compuestos fenólicos en recursos vegetales promisorios. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 73(3), 142-149. [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1810-634X2007000300003](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2007000300003)
- Murillo, C. A. (2007). Diseño, construcción y evaluación de un prototipo de secador dinámico para la obtención de pulpas mico para la obtención de pulpas de frutas deshidratadas laminadas. *Ingeniería de investigación* 31(1), 163-170. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=64321170018>
- Navarro, A. (2017). Calidad fisicoquímica y microbiológica de Tomate de Árbol (*Solanum betaceum*) mínimamente procesado tratado con radiación UV-C y ozono gaseoso. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 19(1), 93-102. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81355612008>

- Ocampo, J. A. (2017). *Efecto de las condiciones de operación en el aroma de tomate de árbol deshidratado por secado convectivo* [Tesis de posgrado]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional de Colombia. [https:// 1053828534.2017.pdf](https://1053828534.2017.pdf)
- Palacios, R. A. (2018). *Influencia de la temperatura y velocidad del flujo de aire en las características físicas y sensoriales del tomate (*lycopersicum esculentum*) secado en un secador de bandejas* [Tesis de pregrado]. Repositorio institucional de la Universidad Privada de Tacna. <http://repositorio.upt.edu.pe/handle/UPT/1067>
- Ponce, A., y Rodríguez, F. (2014). *Evaluación del efecto de secado en los compuestos fenólicos y capacidad antioxidante del aguaymanto (*Physalis peruviana L.*)* [Tesis de Maestría no publicada]. Universidad Nacional del Centro del Perú. <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/1959/Ponce%20Alvarado%20-%20Rodriguez%20Asto.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Quimbiuilco, Y. M. (2014). *Efecto de la deshidratación sobre la capacidad antioxidante y contenido de polifenoles de la pulpa concentrada de tomate de árbol amarillo (*Solanum betaceum*)* [Tesis de pregrado]. Repositorio institucional de la Universidad Tecnológica Equinoccial. <http://repositorio.ute.edu.ec/handle/123456789/5073>
- Ramos, R. A. (2011). Evaluación de la capacidad antioxidante y compuestos bioactivos de tumbo (*Passiflora mollissima*) y cerezo (*Prunus serotina*). *Revista Scielo*, 21(3), 08. <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/1219>
- Repo, R., y Encina, C. R. (2008). Determinación de la capacidad antioxidante y compuestos bioactivos de frutas nativas peruanas. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 74(2), 108-124. [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1810-634X2008000200004&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2008000200004&lng=es&tlng=es).
- Rojas, D., Repo, R., y Encina, C. R. (2017). Determinación de la máxima retención de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante en el néctar de tomate de árbol (*Solanum betaceum Cav.*). *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 83(2), 174-186. [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1810-634X2017000200004](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2017000200004)
- Salas, T. (2017). Antocianinas y capacidad antioxidante en extractos de frutos secos y congelados de *Gaultheria glomerata (Cav.) Sleumer*. *Revista Información tecnológica*, 32(5), 3-12. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642021000500003>
- Sumaran, H. A. (2019). Cinética de degradación térmica de vitamina C en frutos de guayaba (*Psidium guajava L.*). *Revista lasallista de Investigación*, 10(2), 44-51. <https://www.redalyc.org/pdf/695/69529816006.pdf>
- Tabares, C., y Velásquez, J. (2003). Efecto del consumo de jugo de tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*) sobre el perfil lipídico y las concentraciones de glucosa en adultos con hiperlipidemia, Ecuador. *Revista Archivos Latinoamericanos de nutrición*, 66(2), 121-128. [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0004-06222016000200004&lng=es&tlng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222016000200004&lng=es&tlng=es).
- Tovar, S. R. (2018). Efecto de dos métodos de secado en los compuestos fenólicos totales, L-DOPA y la actividad antioxidante de *Vicia faba L.* *Nova Scientia*, 11(23), 0010. <https://doi.org/10.21640/ns.v11i23.2093>

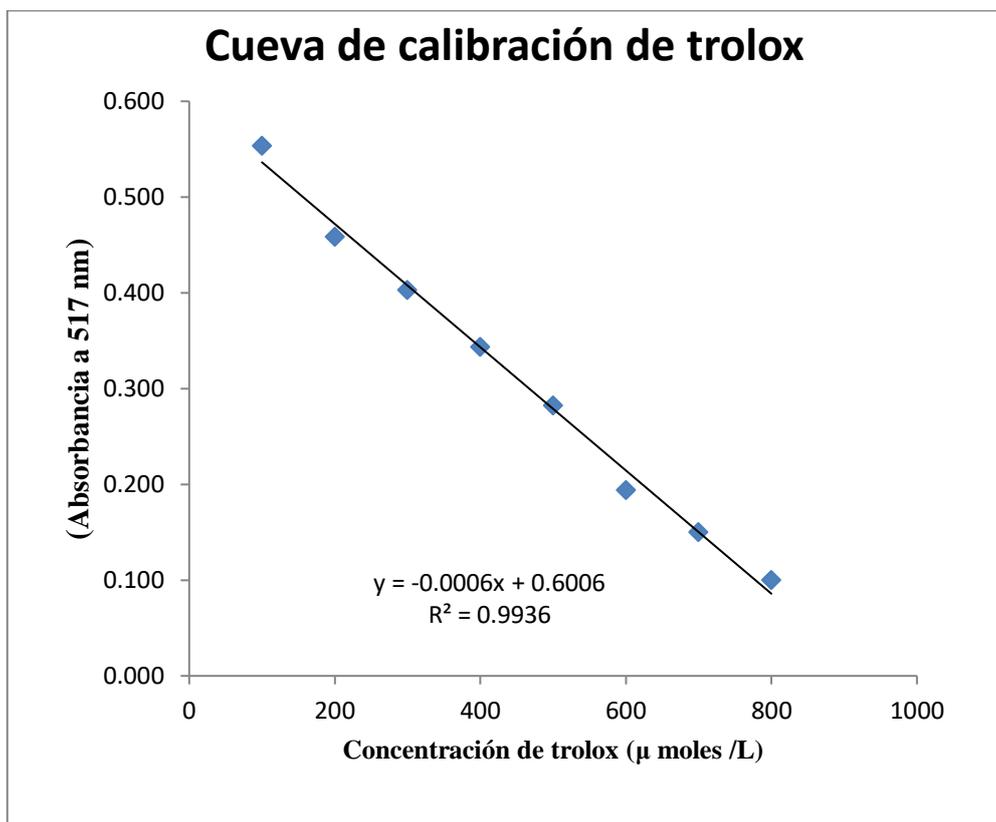
- Vásquez , R. (2004). Estimación de parámetros de calidad del fruto para disociaciones entre cultivares de tomate de árbol (*Solanum betaceum Cav.*) frente a antracnosis (*Colletotrichum acutatum J.H. Simmonds*). *Revista Mejoramiento Genético Vegetal y Recursos Fitogenéticos*, 65(3), 304-311. <http://dx.doi.org/10.15446/acag.v65n3.49771>
- Zaldivar, I., y Cornejo, R. (2011). *Laboratorio de alimentos I. Procedimiento*. Universidad Nacional Autónoma de México. [http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/PROCEDIMIENTOS13-I\\_20566.pdf](http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/PROCEDIMIENTOS13-I_20566.pdf)

## CAPÍTULO VII: ANEXOS

### Anexo 1. Cálculos de capacidad antioxidante del tomate de árbol deshidratado.

Tratamiento	Tiempo (min)	T (°C)	Abs de Solución de DPPH	Abs blanco (517 nm)	Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3	Promedio	Abs (blanco - muestra) (517nm)	Des. Stand	% Abs.	Bx (umol recta de trolox)	µg Trolox	µg de Trolox / g
T1	400	50	0,892	0,002	0,187	0,186	0,189	0,19	0,122	0,000	86,689	78573,19	0,25	196,4329
T2	200	60	0,892	0,002	0,219	0,212	0,217	0,22	0,119	0,000	84,652	76733,95	0,25	191,8348
T3	400	60	0,892	0,002	0,298	0,285	0,309	0,29	0,112	0,001	79,287	71889,94	0,25	179,7248
T4	300	50	0,892	0,002	0,190	0,190	0,192	0,19	0,122	0,000	86,428	78337,93	0,25	195,8448
T5	300	50	0,892	0,002	0,173	0,170	0,175	0,17	0,124	0,000	87,731	79514,19	0,25	198,7854
T6	300	50	0,892	0,002	0,217	0,199	0,212	0,21	0,120	0,001	85,126	77161,68	0,25	192,9042
T7	300	50	0,892	0,002	0,205	0,207	0,195	0,20	0,121	0,001	85,623	77610,80	0,25	194,0269
T8	200	40	0,892	0,002	0,209	0,196	0,200	0,20	0,121	0,001	85,670	77653,57	0,25	194,1339
T9	200	50	0,892	0,002	0,192	0,196	0,192	0,19	0,122	0,000	86,262	78188,23	0,25	195,4705
T10	400	40	0,892	0,002	0,215	0,227	0,190	0,21	0,120	0,002	85,031	77076,14	0,25	192,6903
T11	300	40	0,892	0,002	0,219	0,250	0,231	0,23	0,118	0,002	83,420	75621,86	0,25	189,0546
T12	300	60	0,892	0,002	0,245	0,247	0,244	0,25	0,116	0,000	82,568	74851,95	0,25	187,1298

**Anexo 2.** Gráfico de la curva de calibración de Trolox para la capacidad antioxidante de tomate de árbol deshidratado.



Concentración de Trolox $\mu$ moles/L	Abs a 517 nm ( $\bar{x}$ )
100	0,554
200	0,459
300	0,404
400	0,344
500	0,283
600	0,195
700	0,151
800	0,101

Anexo 3. Análisis ANOVA de varianza para la Capacidad antioxidante.

Análisis de Varianza para Capacidad Antioxidante

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Tiempo	26.4231	1	26.4231	3.10	0.1289
B:Temperatura	49.2459	1	49.2459	5.77	0.0531
AA	2.84316	1	2.84316	0.33	0.5847
AB	28.443	1	28.443	3.33	0.1177
BB	124.286	1	124.286	14.57	0.0088
Error total	51.1885	6	8.53141		
Total (corr.)	284.222	11			

R-cuadrada = 81.99 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 66.9816 por ciento

Error estándar del est. = 2.92086

Error absoluto medio = 1.81859

Estadístico Durbin-Watson = 2.51081 (P=0.7434)

Autocorrelación residual de Lag 1 = -0.330187

**El StatAdvisor**

La tabla ANOVA particiona la variabilidad de Capacidad Antioxidante en piezas separadas para cada uno de los efectos. entonces prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso, 1 efectos tienen un valor-P menor que 0.05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95.0%.

Anexo 4. Análisis ANOVA de varianza para el Color L\*

**Análisis de Varianza para Color L**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:Tiempo	4.99393	1	4.99393	1.20	0.3157
B:Temperatura	59.8675	1	59.8675	14.36	0.0091
AA	0.0431208	1	0.0431208	0.01	0.9223
AB	0.526568	1	0.526568	0.13	0.7344
BB	85.1316	1	85.1316	20.42	0.0040
Error total	25.0095	6	4.16826		
Total (corr.)	187.656	11			

R-cuadrada = 86.6727 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 75.5666 por ciento

Error estándar del est. = 2.04163

Error absoluto medio = 1.25386

Estadístico Durbin-Watson = 1.74463 (P=0.2062)

Autocorrelación residual de Lag 1 = 0.0185673

**El StatAdvisor**

La tabla ANOVA particiona la variabilidad de Color L en piezas separadas para cada uno de los efectos. entonces prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso, 2 efectos tienen una valor-P menor que 0.05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95.0%.

Anexo 5. Análisis ANOVA de varianza en el Color a\*.

**Análisis de Varianza para Color A**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:Tiempo	9.08823	1	9.08823	0.53	0.4929
B:Temperatura	35.8696	1	35.8696	2.10	0.1971
AA	12.4625	1	12.4625	0.73	0.4254
AB	1.04878	1	1.04878	0.06	0.8124
BB	26.4795	1	26.4795	1.55	0.2592
Error total	102.313	6	17.0522		
Total (corr.)	205.754	11			

R-cuadrada = 50.2741 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 8.8358 por ciento

Error estándar del est. = 4.12943

Error absoluto medio = 2.32438

Estadístico Durbin-Watson = 2.36847 (P=0.6457)

Autocorrelación residual de Lag 1 = -0.245715

**El StatAdvisor**

La tabla ANOVA particiona la variabilidad de Color A en piezas separadas para cada uno de los efectos. entonces prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso, 0 efectos tienen una valor-P menor que 0.05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95.0%.

Anexo 6. Análisis ANOVA de varianza del Color b\*.

**Análisis de Varianza para Color B**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:Tiempo	11.1638	1	11.1638	0.12	0.7384
B:Temperatura	519.081	1	519.081	5.69	0.0544
AA	63.9558	1	63.9558	0.70	0.4345
AB	11.6629	1	11.6629	0.13	0.7329
BB	0.00449087	1	0.00449087	0.00	0.9946
Error total	547.272	6	91.2119		
Total (corr.)	1161.54	11			

R-cuadrada = 52.8838 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 13.6204 por ciento

Error estándar del est. = 9.55049

Error absoluto medio = 4.8803

Estadístico Durbin-Watson = 2.35516 (P=0.6361)

Autocorrelación residual de Lag 1 = -0.20804

**El StatAdvisor**

La tabla ANOVA particiona la variabilidad de Color B en piezas separadas para cada uno de los efectos. entonces prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso, 0 efectos tienen un valor-P menor que 0.05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95.0%.

Anexo 7. Análisis ANOVA de varianza en el % de pérdida de humedad.

**Análisis de Varianza para Humedad**

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
A:Tiempo	108.042	1	108.042	18.71	0.0050
B:Temperatura	227.596	1	227.596	39.40	0.0008
AA	2.15376	1	2.15376	0.37	0.5638
AB	45.3892	1	45.3892	7.86	0.0310
BB	25.1404	1	25.1404	4.35	0.0820
Error total	34.6559	6	5.77598		
Total (corr.)	440.87	11			

R-cuadrada = 92.1392 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 85.5886 por ciento

Error estándar del est. = 2.40333

Error absoluto medio = 1.32734

Estadístico Durbin-Watson = 1.27202 (P=0.0384)

Autocorrelación residual de Lag 1 = 0.0714594

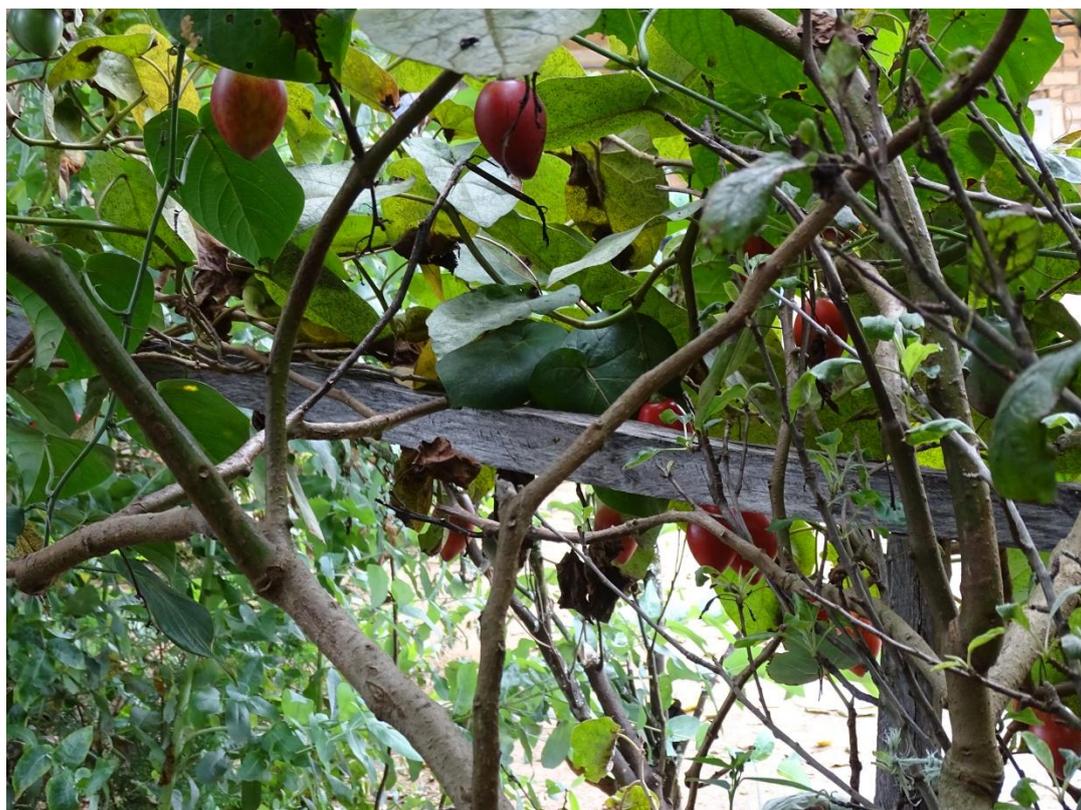
**El StatAdvisor**

La tabla ANOVA particiona la variabilidad de Humedad en piezas separadas para cada uno de los efectos. entonces prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su cuadrado medio contra un estimado del error experimental. En este caso, 3 efectos tienen una valor-P menor que 0.05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95.0%.

### Anexo 8: Detalles del sistema del equipo de secado.

Ítem	Unidad	Parámetros
Velocidad de flujo de aire	m/s	0,5 a 5
Resistencia	W	700
Temperatura Min. de Calentamiento	°C	30
Temperatura Máx. de Calentamiento	°C	80
Capacidad	Kg	4
Dimensiones (L x A x H)	cm.	220 x 120 x 50
Tipo de Sensor	Lista	Termostato
Tipo de Ventilador	Lista	Axial
Mecanismo de producción de Calor	Lista	Eléctrico
Numero de Bandejas	Entero	4
Numero de Ventiladores	Entero	1
Interruptor de Encendido	Bin	si
Tamaño bandejas (L X A)	cm	40x30
Voltaje de alimentación	V	220V
Color	Lista	Blanco
Tamaño del Ventilador (Diámetro)	cm.	29.5

### Anexo 9: Imágenes



**Imagen 1.** Frutos del tomate de árbol.



**Imagen 2.** Fruto apto para su estudio.



**Imagen 3.** Dilución del extracto de tomate de árbol para la titulación.



**Imagen 4.** Titulación, para la determinación de la acidez.



**Imagen 5.** Cambio de color de la titulación.



**Imagen 6.** DPPH preparado



**Imagen 7.** Tomate de árbol antes del secado



**Imagen 8.** Tomate de árbol deshidratado.



**Imagen 9.** Empaque del reactivo DPPH.



**Imagen 10.** Reactivo Trolox



**Imagen 11.** Metanol



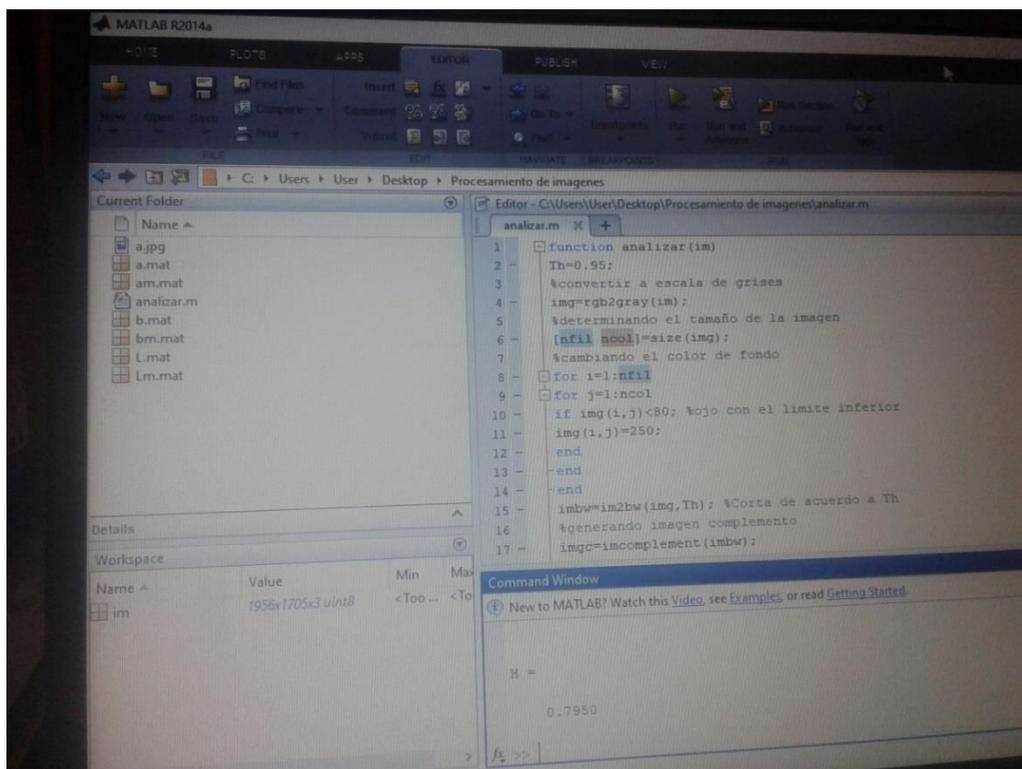
**Imagen 12.** Espectrofotómetro UV-visible marca Dinámica Halo DB-20.



**Imagen 13.** Curva de absorción de un Espectrofotómetro UV, con longitud de onda de 410 a 520 nm.



**Imagen 14.** Preparación de la muestra para la lectura de Trolox y capacidad antioxidante.



**Imagen 15.** Procesamiento de datos de color en el programa matlab.



**Imagen 16.** Construcción de la cámara de resistencias.



**Imagen 17.** Construcción de la cámara de secado del deshidratador.



**Imagen 18,** Soporte de bandejas del deshidratador.



**Imagen 19.** Ensamblaje de las resistencias del deshidratador.



**Imagen 20.** Deshidratador por aire forzado instalado.



**Imagen 21.** Tablero del deshidratador.