

UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE DE DIOS
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



TESIS

**“Efecto de secado con radiación infrarojo lejano en el
color y capacidad antioxidante de sachaculantro
(*Erynsium Foetidum*)”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

AUTORES:

Bachiller: FLORES QUIROZ, Alex

Bachiller: HUANSI QUIROZ, Dунnia

Eneydi Milagros

ASESOR:

Dr. COLQUEHUANCA VILCA, Julián

Puerto Maldonado, 2023

UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE DE DIOS
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



TESIS

**“Efecto de secado con radiación infrarrojo lejano en el
color y capacidad antioxidante de sachaculantro
(*Erynsium Foetidum*)**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

AUTORES:

Bachiller: FLORES QUIROZ, Alex

Bachiller: HUANSI QUIROZ, Dunninga

Eneydi Milagros

ASESOR:

Dr. COLQUEHUANCA VILCA, Julián

Puerto Maldonado, 2023

DEDICATORIA

Dedico esta tesis primeramente a Dios por estar siempre presente. A mi padre Fulgencio Flores Mamani que descansa en paz, mi madre Maruja Quiroz Gómez y a mis hermanos por su apoyo, gracias a ellos que han contribuido en mi formación profesional y personal.

Alex Flores Quiroz

Dedico esta tesis primeramente a Dios por estar siempre presente. A mi mamá Lida Milagros Quiróz Pereyra, mi papá Rene Huansi Pezo y mis hermanos por su apoyo, gracias a ellos que han contribuido en mi formación profesional y personal.

Dunnia Eneydi Milagros Huansi Quiróz

AGRADECIMIENTO

Al Dr. Julián Colquehuanca Vilca, por su asesoramiento en este trabajo de investigación, por sus sugerencias y enseñanzas en mi formación profesional.

Al ing. Edgar Julián Laime, especialista del VRI de la UNAMAD por sus orientaciones, enseñanzas y las facilidades para realizar este trabajo.

Al Químico Jorge Choquehuanca Pari, encargado del laboratorio de cromatografía y espectrometría de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, por su apoyo en los análisis de laboratorio para concluir con esta investigación.

A todos los miembros del jurado por sus sugerencias y aportes. A todas mis amistades que apoyaron de alguna manera en este trabajo de investigación, gracias a todos.

TURNITIN_ALEX FLORES Y DUNNIA GARCIA

INFORME DE ORIGINALIDAD

17%

INDICE DE SIMILITUD

16%

FUENTES DE INTERNET

5%

PUBLICACIONES

4%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.unas.edu.pe Fuente de Internet	2%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
3	www.redalyc.org Fuente de Internet	1%
4	portal.amelica.org Fuente de Internet	1%
5	repositorio.unamad.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	Submitted to Universidad de Cartagena Trabajo del estudiante	1%
7	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1%
8	1library.co Fuente de Internet	<1%
9	K. Mathias-Rettig, K. Ah-Hen. "El color en los alimentos un criterio de calidad medible",	<1%

PRESENTACIÓN

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar la influencia del secado con radiación infrarrojo lejano a 221 W de potencia y temperatura de: 40, 50 y 60 °C en el color y actividad antioxidante del sachaculantro. Para ello se desarrollaron las etapas de acondicionamiento del secador infrarrojo con un sistema inteligente de pesado y control de parámetros de temperatura y humedad relativa a través de sensores, preparación de las muestras, secado, captura de datos y análisis experimental.

Para determinar los índices de color se aplicó la técnica de un sistema de visión por computadora descrito por (Salehi y Kashaninejad, 2015). Dado que el sistema de visión por computadora percibía el color como señales RGB, que dependen del dispositivo, estas imágenes tomadas se convirtieron en unidades del sistema CIELAB índices de color L, a *, b * y ΔE . En este trabajo de investigación, el análisis de imágenes de sachaculantro (*Eryngium foetidum L.*) se ha realizado con el software ImageJ versión 1,8 como indica Salehi y Kashaninejad (2015). El análisis de la actividad antioxidante por el método DPPH se realizó de acuerdo a como propone Brand - Williams, Cuvelier y Berset, (1995), se utilizó un espectrofotómetro UV/Vis para medir la absorbancia a 765 nm .

Los datos se analizarán utilizando RStudio Cloud, Joseph J. Allaire. Los resultados se compararon usando el análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de rango múltiple Tukey. Todos los tratamientos se realizaron con tres repeticiones y los resultados se promediaron. Los análisis se realizaron con un nivel de confianza del 95 %.

La presente investigación consta de cuatro capítulos:

Capítulo I: Problema de investigación

Capitulo II: Marco teórico

Capitulo III: Metodología de investigación

Capitulo IV: Resultados

RESUMEN

El sachaculantro es muy apreciado por sus propiedades curativas y contenido de antioxidantes con muchos beneficios para la salud. El objetivo de esta investigación fue evaluar la influencia de la temperatura de secado con radiación infrarrojo lejano en el color y actividad antioxidante del sachaculantro.

Las hojas de sachaculantro fueron sometidos a secado con radiación infrarrojo lejano a 221 W de potencia y temperatura de: 40, 50 y 60 °C hasta alcanzar una humedad de equilibrio, después del secado fueron analizados el color y actividad antioxidante.

Se determinó que la temperatura de secado con radiación infrarrojo lejano si afecta el color (L , a^* , b^* y ΔE) de sachaculantro. Durante el secado, los valores de los índices de color L^* a 40 °C aumento, en cambio a 50 y 60 °C los valores disminuyeron. Los valores del índice de color a^* y ΔE aumentaron mientras que los valores de b^* disminuyeron. Estos cambios fueron afectados por la temperatura de secado con radiación infrarrojo lejano.

La actividad antioxidante del sachaculantro aumentó por efecto del secado de 12 % en estado fresco, a 58.5 % en muestra de sachaculantro deshidratado a 50 °C. Además, existiendo diferencias significativas entre las diferentes condiciones de secado.

El secado con radiación infrarrojo lejano permite reducir los tiempos de secado en forma considerable. En conclusión, es posible secar las hojas de sachaculantro de forma satisfactoria utilizando radiación infrarrojo lejano, lo que constituye una alternativa para el secado de alimentos que necesitan secarse para prolongar su vida útil.

ABSTRACT

Sachaculantro is highly prized for its healing properties and antioxidant content with many health benefits. The objective of this research was to evaluate the influence of the drying temperature with far infrared radiation on the color and antioxidant activity of sachaculantro.

The sachaculantro leaves were subjected to drying with far infrared radiation at 221 W of power and temperature of: 40, 50 and 60 °C until reaching equilibrium humidity, after drying the color and antioxidant activity were analyzed.

It was determined that the drying temperature with far infrared radiation does affect the color (L^* , a^* , b^* and ΔE) of sachaculantro. During drying, the values of the color indices L^* at 40 °C increased, while at 50 and 60 °C the values decreased. The a^* and ΔE color index values increased while the b^* values decreased. These changes were affected by the drying temperature with far infrared radiation.

The antioxidant activity of sachaculantro increased due to drying from 12 % in the fresh state, to 58.5 % in a sample of sachaculantro dehydrated at 50 °C. In addition, there are significant differences between the different drying conditions.

Drying with far infrared radiation allows drying times to be considerably reduced by increasing the drying temperature. In conclusion, it is possible to dry sachaculantro leaves satisfactorily using far infrared radiation, which is an alternative for drying vegetables and other foods that need to be dried to prolong their shelf life.

INTRODUCCIÓN

El *Eryngium foetidum* L. es una hierba bienal ampliamente utilizada como planta medicinal en las regiones tropicales (Paul, Seaforth y Tikasingh, 2011), posee amplia gama de uso etnomedicinal, entre ellos el tratamiento de estreñimiento quemaduras, fiebres, dolor de oídos, hipertensión, asma, lombrices, dolor de estómago, complicaciones de infertilidad, , diarrea, mordeduras de serpientes y paludismo (Paul, Seaforth y Tikasingh, 2011). En la coyuntura de la nueva enfermedad de Coronavirus 2019 (COVID-19) causada por el SARS-CoV-2, se han discutido como opciones de tratamiento disponibles las plantas medicinales tradicionales (Vellingiri et al., 2020), sin embargo, las hierbas se consideran alimentos altamente perecederos debido a su alto contenido de humedad y la mayoría de las hierbas son sensibles a las variaciones de los factores medio ambientales (Pirbalouti, Mahdad y Craker, 2013), por consiguiente, el secado es uno de los métodos más antiguos de conservación de alimentos para ser protegidas contra la radiación solar directa y evitar la decoloración (Adak, Heybeli y Ertekin, 2017). En los últimos años se han desarrollado muchos métodos de secado avanzados con ventajas significativas, como tiempo de secado reducido, ahorro de energía, productos finales de bajo costo y alta calidad, por ejemplo, secado por microondas, secado por infrarrojos combinado con secado por aire caliente asistido por microondas (Nguyen et al., 2015). El calentamiento por infrarrojos ofrece muchas ventajas sobre el secado convencional en condiciones similares. Los estudios comparativos para el secado infrarrojo versus otras técnicas han demostrado que la radiación infrarroja es más rápida que la convección (Nowak y Lewicki, 2005).

La energía de radiación infrarroja se transfiere del elemento térmico al producto, calentando el material de manera más rápida y uniforme sin calentar el aire circundante sobre los principales componentes de los alimentos, entre ellos el agua, los compuestos orgánicos y los polímeros biológicos, absorben la energía radiante del infrarrojo de manera eficiente en el rango de longitudes de onda de 2,5 μm a 10 μm (Riadh et al. 2015).

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO	ii
PRESENTACIÓN	iii
RESUMEN.....	iv
ABSTRACT.....	v
INTRODUCCIÓN.....	vi
CAPÍTULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	1
1.1. Descripción del problema.....	1
1.2. Formulación del problema	2
1.3. Objetivos de la investigación	2
1.3.1. Objetivo general.....	2
1.3.2. Objetivos específicos	2
1.4. Variables de la investigación	2
1.4.1. Variables independientes.....	2
1.4.2. Variables dependientes.....	2
1.5. Operacionalización de variables e indicadores	3
1.6. Hipótesis.....	4
1.7. Justificación e importancia.....	4
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	5
2.1. Antecedentes de la investigación.....	5
2.2. Marco teórico.....	8
2.2.1. Sachaculantro (<i>Eryngium foetidum</i> L.)	8
2.2.2. Composición química de <i>Eryngium foetidum</i> L.....	9
2.2.3. Beneficios del sachaculantro para la salud	10
2.2.4. Radiación infrarrojo lejano (FIR).....	10
2.2.6. Color de los alimentos.....	13
2.2.7. Medición de color por visión artificial	14
2.2.7. Actividad antioxidante	14
CAPITULO III: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	16
3.1. Tipo de investigación.....	16

3.2. Diseño de la investigación.....	16
3.3. Delimitación espacial y temporal.....	16
3.4. Población y muestra.....	17
3.5. Métodos y técnicas.....	17
3.5.1. Metodología experimental de secado con radiación infrarrojo lejano (FIR).....	17
3.5.2. Sistema de adquisición de datos como temperatura, humedad relativa y peso.....	17
3.5.3. Determinación del porcentaje de humedad.....	18
3.5.4. Determinación de humedad en base seca (HBS).....	20
3.5.5. Determinación de los índices de color.....	20
3.5.6. Determinación de la actividad antioxidante por método DPPH.....	21
3.6. Instrumentos.....	22
3.7. Metodología experimental.....	22
3.8. Diseño experimental.....	25
3.9. Procesamiento de datos y Análisis estadístico.....	25
CAPITULO IV: RESULTADOS DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN.....	26
4.1. Efecto del secado con radiación infrarrojo lejano sobre la Cinética de secado de sachaculantro.....	26
4.1.1. Porcentaje de humedad.....	26
4.1.2. Curva de secado.....	27
4.1.3. Humedad en base seca (HBS).....	28
4.1.4. Tiempo de secado.....	29
4.2. Efecto de secado con radiación infrarrojo lejano sobre los índices de color de sachaculantro.....	30
4.2. Efecto de secado con radiación infrarrojo lejano sobre la Actividad antioxidante de sachaculantro.....	35
CONCLUSIONES.....	37
SUGERENCIAS.....	38
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	39
ANEXOS.....	40

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Operacionalización de variables.....	3
Tabla 2. Porcentaje de humedad inicial de <i>Eryngium foetidum</i> L.....	26
Tabla 3. Humedad en base seca (HBS) de <i>Eryngium foetidum</i> L. secado con radiación infrarrojo a diferentes temperaturas durante 1,7 horas.	28
Tabla 4. Análisis de varianza para HBS.....	29
Tabla 5. Prueba de Tukey para HBS.....	29
Tabla 6. Tiempo de secado de sachaculantro con radiación infrarrojo lejano a diferentes temperaturas.....	30
Tabla 7. Resultados de análisis de color en Espacio de Color CIE L a*b* de sachaculantro fresco.....	31
Tabla 8. Resultados de análisis de color en Espacio de Color CIE L a*b* de sachaculantro secados durante 1,7 horas.....	31
Tabla 9. Diferencia de los índices de color de hojas de <i>Eryngium foetidum</i> L. fresco y secados durante 1,7 horas.....	31
Tabla 10: Resultado de la evaluación de la actividad antioxidante en hojas de <i>Eryngium foetidum</i> L. fresco y deshidratado.....	35

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. La radiación infrarroja en el espectro electromagnético.	11
Figura 2. Deshidratador infrarrojo de 3 bandejas Modelo IRCDi3.....	12
Figura 3. Espacio de color CIE 1976 (L*a*b*) o CIELAB	13
Figura 4. Sistema mecatrónico de pesado	18
Figura 5: Flujo de operaciones de deshidratación de sachaculantro.....	24
Figura 6: Esquema experimental de la investigación.....	25
Figura 7. Curvas de secado de sachaculantro con radiación infrarrojo lejano a diferentes temperaturas.	27
Figura 8. Espacio de color CIE L*a*b*	30
Figura 9. Diferencia de color de hojas frescas y secas de sachaculantro a temperatura de 60°C con radiación infrarrojo lejano.....	32
Figura 10. Hojas de sachaculantro deshidratado a diferentes temperaturas....	35

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Matriz de operacionalización de las variables.....	40
Anexo 2: Matriz de consistencia.....	41
Anexo 3: Análisis de varianza para L^*	46
Anexo 4: Prueba de Tukey para L^*	46
Anexo 5: Análisis de varianza para a^*	46
Anexo 6: Prueba de Tukey para a^*	46
Anexo 7: Análisis de varianza para b^*	47
Anexo 8: Prueba de Tukey para b^*	47
Anexo 9: Análisis de varianza para ΔE^*	47
Anexo 10: Prueba de Tukey para ΔE^*	47
Anexo 11: Análisis de varianza para actividad antioxidante	48
Anexo 12: Prueba de Tukey para actividad antioxidante	48
Anexo 13: Parametros de secado por cada bandeja.	48
Anexo 14: Acondicionamiento de las muestras de sachaculantro.....	49
Anexo 15: Pesado de las muestras de sachaculantro.....	49
Anexo 16: Secado de las muestras con radiación infrarrojo lejano	50
Anexo 17: Captura de datos (peso, temperatura y humedad relativa) con el software FIRDRYER.....	50
Anexo 18: Muestras secadas con radiación infrarrojo lejano.	51
Anexo 19: Captura de imágenes de las muestras para análisis de color.....	51
Anexo 20: Muestras selladas al vacío en bolsas trilaminadas.....	52
Anexo 21: Curva de temperatura por cada tratamiento, durante el secado de sachaculantro con radiación infrarrojo.	52
Anexo 22: Curva de humedad relativa por cada tratamiento, durante el secado de sachaculantro con radiación infrarrojo.	53
Anexo 23: Curva de parámetros del medio ambiente.....	53

GLOSARIO

µm: Micrómetros, unidad de medida para la longitud.

FIR: Radiación infrarrojo lejano.

W: Vatios, unidad de medida para la potencia.

m/s: Metros por segundo, unidades de medida para la velocidad.

MJ/kg: Mega julios por kilogramo, unidad de medida para el consumo energético.

L*, a* y b*: Índices de color del sistema CIELAB.

IR: Radiación infrarrojo.

nm: Nanómetro, unidad de medida para la longitud.

ms: Muestra seca.

mmol TE: milimoles equivalente de trolox.

IC50: Coeficiente de inhibición del radical libre DPPH al 50%

CAPÍTULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción del problema

El consumo de sachaculantro (*Eryngium foetidum L.*) es habitual en la región de Madre de Dios, se utiliza ampliamente por su singular aroma picante como un condimento importante en las dietas habituales y platos típicos (Promkum et al., 2012). La especia es altamente perecible en condiciones medio ambientales (Pirbalouti, Mahdad y Craker, 2013), sin embargo, el procesamiento por secado es un procedimiento eficaz para prolongar la vida útil y retrasar la descomposición de los alimentos aplicando el calor u otras fuentes de energía en los materiales de los alimentos para eliminar la humedad (CUI et al., 2018). Actualmente, se están empleando diversas tecnologías de campo físico, como microondas, radiofrecuencia, radiación infrarroja, ultrasonido, campo eléctrico pulsado y otras, como parte de las estrategias recientes para abordar los desafíos encontrados en el secado tradicional. Estas tecnologías modernas se están aplicando con el fin de solucionar problemas específicos y mejorar la eficiencia del proceso de secado convencional. (Li et al., 2019). En términos de eficiencia, la tecnología de calefacción por infrarrojos (IR) se destaca como una opción prometedora en cuanto a ahorro de energía y alta eficiencia. Su aplicación en el campo del secado de alimentos aún se encuentra en sus etapas iniciales. El calentamiento por infrarrojos presenta ventajas significativas en comparación con los métodos convencionales de calentamiento, ya que permite una transferencia de calor uniforme en un tiempo más reducido y con una degradación de la calidad menor. (Lao et al., 2019).

1.2. Formulación del problema

¿En qué medida influye la temperatura de secado con radiación infrarrojo lejano en el color y actividad antioxidante de *Eryngium foetidum L.*?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

- Evaluar la influencia de la temperatura de secado con radiación infrarrojo lejano en el color y actividad antioxidante del sachaculantro (*Eryngium foetidum L.*).

1.3.2. Objetivos específicos

- Evaluar la influencia de la temperatura de secado con radiación infrarrojo lejano en la cinética de secado de *Eryngium foetidum L.*, e implementar un sistema de adquisición de datos de temperatura, humedad relativa y peso.
- Evaluar la influencia de la temperatura de secado con radiación infrarrojo lejano en los índices de color de *Eryngium foetidum L.*
- Evaluar la influencia de la temperatura de secado con radiación infrarrojo lejano en la actividad antioxidante de *Eryngium foetidum L.*

1.4. Variables de la investigación

1.4.1. Variables independientes

- Temperatura de secado con radiación infrarrojo lejano.

1.4.2. Variables dependientes

- Cinética de secado.
- Índices de color.
- Actividad antioxidante.

1.5. Operacionalización de variables e indicadores

Tabla 1: Operacionalización de variables.

V.	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	unidad de medida
Independiente	Para el secado se usará un Deshidratador infrarrojo 3 bandejas Modelo IRCDi3, con potencia de radiación de 221 W, los parámetros de temperatura y humedad relativa se monitorea con sensores modelo SHT1X (SHT10).	Temperatura	40°	°C
			50°	°C
			60°	°C
Dependientes	La adquisición de datos para los análisis de cinética de secado se adquiere a través de Celdas de carga, capacidad 5 kg Instalados para cada bandeja y los datos se almacén en una base de datos del software FIRDRYER.	Cinética de secado	Porcentaje de humedad	%
			Humedad en base seca	g H ₂ O/g ms
			Tiempo de secado	minutos
Dependientes	Para determinar los índices de color en esta investigación se aplica la técnica de un sistema de visión por computadora usando el software ImageJ con el sistema de medición CIELAB.	Índices Color	Blanco - Negro (L*)	100 a 0
			Rojo – Verde (a*)	60 a -60
			Amarillo – Azul (b*)	60 a -60
			Cambio de color (ΔE)	Adimensional
Dependientes	En esta investigación La actividad antioxidante se determinó por el método DPPH de acuerdo a como propone Brand-Williams, Cuvelier y Berset, (1995) y por espectrofotometría.	Actividad antioxidante	IC50	mmol TE/ g muestra

1.6. Hipótesis

H₀: La temperatura de secado de 40, 50 y 60 °C con radiación de infrarrojo lejano a 221 W no influyen significativamente en el color y la actividad antioxidante de *Eryngium foetidum L.*

H₁: La temperatura de secado 40, 50 y 60 °C con radiación de infrarrojo lejano a 221 W influyen significativamente en el color y la actividad antioxidante de *Eryngium foetidum L.*

1.7. Justificación e importancia

Eryngium foetidum L. es una hierba comestible tropical muy apreciada por su alto contenido de compuestos bioactivos y antioxidantes que le dan propiedades medicinales y nutritivas, se utiliza ampliamente por su singular aroma picante como un condimento importante en las dietas habituales y platos típicos (Promkum et al., 2012) también se tiene en cuenta que sus compuestos bioactivos y antioxidantes pueden ser alterados durante tratamientos térmicos como el secado, es por ello que se considera necesario investigar la adopción de nuevas tecnologías como el secado con radiación infrarrojo lejano, realizando una evaluación si las diferentes temperaturas de secado con radiación infrarrojo lejano influyen en la cinética de secado, color y la actividad antioxidante del sachaculantro (*Eryngium foetidum L.*).

En ese sentido los aportes de esta investigación brindaran algunas ideas acerca de adoptar nuevas tecnologías para mejorar el proceso de secado de *Eryngium foetidum L.*, de tal forma que permita a los productores darle mayor valor agregado a dicho producto e incrementar su valor comercial.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

Nguyen et al., (2015), determinaron los efectos de seis métodos de secado diferentes (aire caliente, aire a baja temperatura, infrarrojo lejano con cuatro lámparas con potencia de 250 W, temperatura de 30, 35 y 40 °C, microondas, sol y secado al vacío) sobre el rendimiento fitoquímico y la actividad antioxidante para identificar el método de secado óptimo para la hierba medicinal chancapiedra (*Phyllanthus amarus*). Los resultados mostraron que los diferentes métodos de secado, así como las diferentes condiciones de secado dentro de cada método, afectaron significativamente el rendimiento fitoquímico y la actividad antioxidante de extractos de chanca piedra. El secado por infrarrojos a 30 °C fue el mejor método tanto para la retención del rendimiento de compuestos bioactivos como para la actividad antioxidante del extracto de chanca piedra, con 12 compuestos identificados. Por el contrario, el secado con aire a baja temperatura a 25 °C no solo requirió el mayor tiempo de secado, sino que también redujo significativamente los niveles de compuestos bioactivos y la actividad antioxidante de chanca piedra. Por lo tanto, se sugiere el secado por infrarrojos a 30 °C para secar chanca piedra y la evaluación posterior de la bioactividad.

Wanyo, Siriamornpun y Meeso, (2011), utilizaron radiación infrarrojo lejano combinado con sistema por convección de aire caliente (FIR-HA) con parámetros de temperatura (40 °C), flujo de aire (1,5 m/s), y dos emisores infrarrojos de 250 W, haciendo una potencia total de 500 W para evaluar el color, efecto antioxidante y compuestos fenólicos del té de hojas de morera (*Morus alba L.*), comparando con un producto comercial y con hojas frescas.

Los valores obtenidos indicaron que los índices de color L^* y b^* del té seco con FIR-HA fueron mayores que los del té comercial. Se encontró que el té secado con FIR – HA tiene un color similar a la hoja fresca, mientras que el té comercial tenía un color más oscuro. El contenido total de compuestos fenólicos (TPCC) aumentaron en las muestras secas de FIR-HA en comparación con las de té seco comercial, excepto para clorogénicos y ácidos siríngicos, que se encuentran en mayores cantidades en el té comercial. Sin embargo, los resultados fueron diferentes para el poder antioxidante reductor férrico (FRAP). Ambos té tuvieron valores de FRAP más bajos en comparación con las hojas frescas. Estos resultados han demostrado que FIR-HA debe considerarse como un método de secado adecuado para el té de morera con respecto a la conservación de su antioxidante y compuestos fenólicos.

Nasiroglu y Kocabiyik, (2009), evaluaron los efectos de la potencia de infrarrojo (300; 400 y 500 W) y la velocidad del aire (1,0; 1,5 y 2,0 m/s) sobre la curva de secado, la velocidad de secado, el tiempo de secado, los parámetros de color (L^* ; a^* ; b^* y ΔE) y contenido de ácido ascórbico (vitamina C) durante el secado de rodajas de pimiento rojo (*Capsicum annuum L.*) con radiación infrarrojo. El tiempo de secado a una velocidad del aire de 1,0 a 2,0 m/s osciló entre 314 y 455 min, 213 y 297 min y 196 y 230 min a potencia de infrarrojo de 300; 400 y 500 W, respectivamente. La velocidad de secado aumenta con potencia de infrarrojo altos y la disminución de la velocidad del aire. Todos los experimentos de secado tuvieron una tasa decreciente de período de secado. Los parámetros de color y la relación de rehidratación se vieron significativamente influenciados por la potencia de infrarrojo lejano y la velocidad del aire en la cámara de secado. Los mejores valores de características de color se obtuvieron con niveles de potencia de infrarrojo de 300 W. Los efectos de la potencia de infrarrojo y la velocidad del aire sobre el contenido de vitamina C de las rodajas de pimiento rojo seco no fueron estadísticamente significativos, los valores de vitamina C obtenidos de todos los secados examinados fueron menores que los de los pimientos rojos frescos.

Estos resultados comparados con secado convencional por convección de aire son más eficientes, por lo tanto, si es factible la aplicación de radiación infrarrojo lejano en la deshidratación de pimiento rojo.

Tezcan et al., (2021), evaluaron la cinética de secado en capa fina de muestras de hojas de eneldo (*Anethum graveolens L.*) con potencia de radiación infrarroja de 286,4; 315 y 331 W, las temperaturas promedio de la bandeja fueron 76,4; 75,3 y 75,9 °C por cada nivel de potencia de infrarrojo respectivamente. Se encontró que el método de difusión es el mejor modelo para describir el comportamiento de secado de las hojas de eneldo. Los valores efectivos de difusividad fueron $6,97 \times 10^{-9}$; $6,84 \times 10^{-9}$ y $8,96 \times 10^{-9}$ m²/s para potencias de 286; 315 y 331 W, respectivamente, el sistema de secado con infrarrojo fue más eficiente a potencia de infrarrojo más altas ($p < 0,05$). Sin embargo, el cambio de color total fue alto a la máxima potencia de infrarrojo. Para las condiciones de secado por infrarrojos investigadas, 315 W fue recomendado como la mejor potencia infrarroja aplicada para el secado de hojas de eneldo teniendo en cuenta tanto análisis de rendimiento como cambios de calidad.

Kocabiyik y Tezer, (2009), evaluaron el secado de rodajas de zanahorias (*Daucus carota L.*) con radiación infrarrojo lejano con tres niveles de potencia infrarroja (300; 400 y 500 W) y a velocidades del aire (1,0; 1,5 y 2,0 m/s) sobre la cinética de secado, tiempo de secado, consumo energético específico y parámetros de calidad de la zanahoria seca (contracción, proporción de rehidratación y color). El tiempo de secado a potencia infrarroja de 300, 400 y 500 W fue 252 y 277 min, 205 y 236 min y 145 y 155 min a velocidades del aire de 1,0 y 2,0 m/s, respectivamente. La velocidad de secado aumentó al aumentar la potencia infrarroja. Los valores del consumo energético específico variaron entre 12,22 y 14,58 MJ/kg agua evaporada, para todas las condiciones de secado. Se encontró que la contracción, proporción de rehidratación y los parámetros de color se vieron afectados por las variables del proceso.

Boudhrioua et al., (2009), determinaron los índices de color (L^* ; a^* y b^*), el contenido total de fenoles y la composición química global (humedad, proteínas, grasas, carbohidratos y cenizas) de cuatro variedades frescas de hojas de olivo *Olea europea L.* (Chemlali, Chemchali, Zarrazi y Chetoui) a efecto de secado con radiación infrarrojo lejano, utilizando el equipo (Sar-torius MA 40) con niveles de temperatura de (40; 50; 60 y 70 °C). El secado por infrarrojos induce una considerable eliminación de la humedad en hojas frescas de olivo (más del 85 %) y duraciones de secado breves (que varían de 162 min a 40 °C y 15 min a 70 °C). La temperatura de secado por infrarrojos mostró un efecto significativo sobre el contenido total de fenoles y el color de las hojas, sea cual sea la variedad de hojas. De hecho, el contenido total de fenoles en las hojas secas de olivo aumentó en comparación con las hojas frescas. Por ejemplo, el total de fenoles de las hojas de olivo de la variedad Chemlali aumentó de $1,38 \pm 0,02$ (hoja fresca) a $2,13 \pm 0,29$ (secado a 40 °C) y a $5,14 \pm 0,60$ g de ácido cafeico/100 g de materia seca (secado a 70 °C). El secado por infrarrojos permite conservar el color verdoso de las hojas frescas y potenciar su luminosidad. Se podría sugerir para conservar las hojas de olivo antes de su uso en alimentos o aplicaciones cosméticas.

2.2. Marco teórico

2.2.1. Sachaculantro (*Eryngium foetidum L.*)

Eryngium foetidum L. es una hierba bienal ampliamente utilizada como planta medicinal en la mayoría de las regiones tropicales. Se usa cada vez más como especia y se cultiva en India, Vietnam, Australia y otras partes de América tropical (Paul, Seaforth y Tikasingh, 2011).

Según ITIS, (2011) la jerarquía taxonómica se distribuye de la siguiente manera:

Reino: Plantae
 División: Traqueofitas
 Clase: Magnoliopsida
 Orden: Asteranae
 Familia: Apiáceas
 Género: *Eryngium L.*
 Especie: *Eryngium foetidum L.*

2.2.2. Composición química de *Eryngium foetidum L.*

Según collazos, (1975), citado por K. J. Vela Vargas y I. Hoyos Grández, (2015), las hojas de sachaculantro se componen de 86,7 % de agua, dejando solo 13,3 % de componentes restantes como: Proteínas, grasas, carbohidratos, calcio, caroteno, tiamina, riboflavina, niacina y ácido ascórbico.

Tabla 2. Composición química en 100 g de muestra fresca de hojas de sachaculantro (*Eryngium foetidum L.*).

Composición	100 g
Proteínas	0,7 g
Lípidos	0,2 g
Carbohidratos	6,4 g
Calcio	6,0 g
Caroteno	1,0 mg
Tiamina	0,03 mg
Riboflavina	0,04 mg
Niacina	0,4 mg
Ácido ascórbico	5,7 mg

Fuente: (Collazos, 1975), citado por (K. J. Vela Vargas y I. Hoyos Grández, 2015).

2.2.3. Beneficios del sachaculantro para la salud

Eryngium foetidum L., se usa ampliamente para adornar, marinar, aromatizar y condimentar alimentos. También se utiliza como planta etnomedicinal para el tratamiento de dolencias diversas como dolor de estómago, quemaduras, escalofríos, vómitos, fiebre, presión arterial alta, dolor de cabeza, dolor de oído, asma, artritis, mordeduras de serpiente, picaduras de escorpión, diarrea, malaria y epilepsia. El principal componente del aceite esencial de *Eryngium foetidum L.* es eringial (E-2-dodecenal). Sin embargo, las diferencias significativas en la morfología del *Eryngium foetidum L.*, los constituyentes del aceite esencial (>60 constituyentes informados) y los metabolitos secundarios fueron causados por la variación genética y la ubicación geográfica. Las investigaciones farmacológicas han demostrado antihelmínticos, antiinflamatorios, analgésicos, actividad anticonvulsivante, anticlastogénica, anticancerígena, y antibacteriana (Singh, Ramakrishna y Ngachan, 2014).

2.2.4. Radiación infrarrojo lejano (FIR)

Según Jain y Pathare, (2004), citado por Huang et al., (2021), La radiación infrarroja (IR) es una forma de ondas electromagnéticas de una fuente de calor que no requiere ningún medio para su emisión y se encuentra en el rango exterior de la luz roja visible. La longitud de onda de la radiación infrarroja. Varía de 0,75 a 1000 μm . IR se puede dividir en tres categorías distintas: infrarrojo cercano (SIR), infrarrojo medio (MIR) e infrarrojo lejano (FIR). Sin embargo, los rangos de longitud de onda de estas categorías no se han armonizado. Por lo general, de 0,75 a 2 μm , de 2 a 4 μm y de 4 a 1000 μm para las bandas de infrarrojo cercano, infrarrojo medio e infrarrojo lejano, respectivamente.

De acuerdo con el artículo científico "Applications of Far-Infrared Spectroscopy in Materials Science" de Smith y Johnson (2010): "La radiación infrarroja lejana se refiere a las longitudes de onda más largas dentro del espectro infrarrojo. Esta región se caracteriza por su capacidad para proporcionar información sobre las propiedades estructurales y vibracionales de los materiales, permitiendo su caracterización y análisis en diversos campos científicos".

En la siguiente figura se puede ver el rango de medición de radiación infrarrojo en el espectro electromagnético.

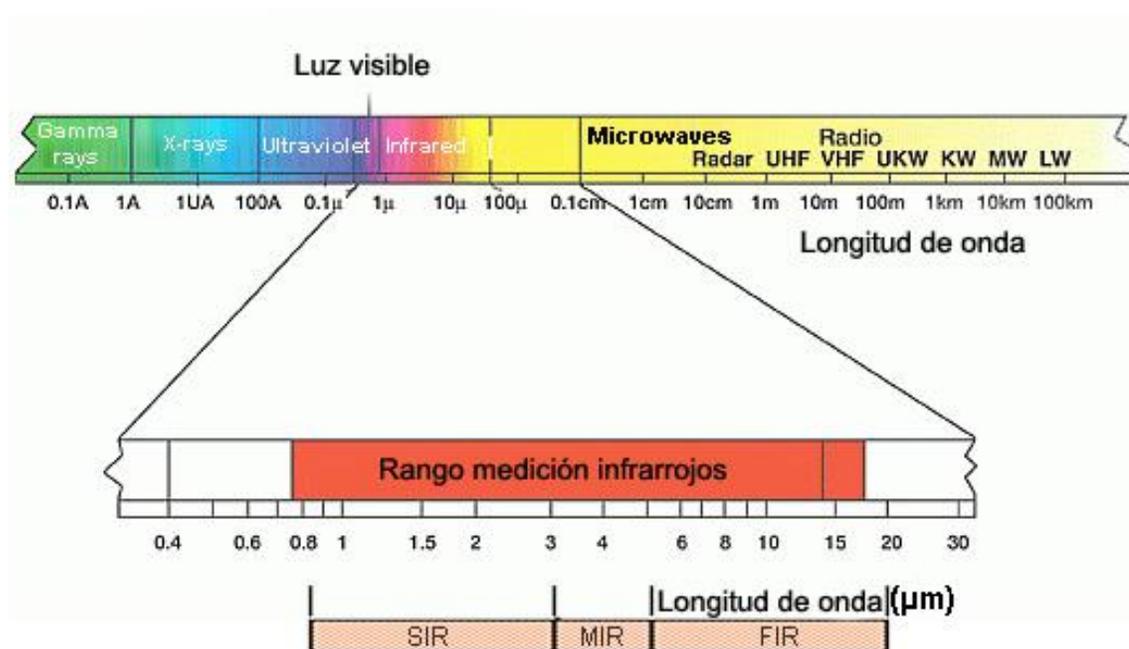


Figura 1. La radiación infrarroja en el espectro electromagnético.

Fuente: (Testo Argentina, 2018)

El método de calentamiento por infrarrojos tiene muchas ventajas como se muestra a continuación; alta eficiencia energética: la radiación IR proporciona calefacción con una alta eficiencia energética ya que esta calefacción entrega directamente calor al objeto sin dispersar energía y un medio de entrega. La eficiencia energética de la lámpara de infrarrojos suele ser de aproximadamente 80 % – 90 %. Comodidad: es posible producir dispositivos de calentamiento por infrarrojos más pequeños que otros dispositivos de calentamiento, esto permite a las industrias tener lugar de trabajo más grande. Además, es fácil configurar dispositivos de calefacción por infrarrojos. Limpio: El aire permanece limpio ya que no se requiere ningún medio en el principio de calentamiento. Es fácil crear un entorno de trabajo limpio con el método de calentamiento por infrarrojos, esta ventaja es especialmente beneficiosa para la industria alimentaria.

Cuando se emplea un calentador de infrarrojos, es fácil cambiar la potencia de calefacción simplemente cambiando el voltaje, la velocidad de respuesta es muy rápida. En consecuencia, el control de la temperatura de funcionamiento es sencillo. Económico: La inversión requerida de la tecnología de calefacción por infrarrojos es menor que la de otros métodos de calefacción. Por esta razón, las aplicaciones de calefacción con IR han despertado interés en muchos campos industriales (Lee, 2021).

De acuerdo a Grdzlishvili et al., (2012), citado por Alberto et al., (2019), la cinética de secado por infrarrojos depende de muchos factores, incluida la densidad, la longitud de onda de la radiación, La distancia entre la fuente de energía infrarroja y la superficie del material, la velocidad del aire; Generalmente, cuando la temperatura del material aumenta o la humedad relativa del medio de deshidratación aumenta y el tamaño del material disminuye, el poder de secado aumenta.



Figura 2. Deshidratador infrarrojo de 3 bandejas Modelo IRCDi3

Fuente: (IRCONFORT, 2016)

2.2.6. Color de los alimentos

La importancia del color desde el punto de vista de la evaluación física y características de calidad de los alimentos requiere un método de medición objetivo que permita obtener valores comparables y repetibles. El color se ve afectado por factores como la iluminación, el observador, el espectro, la presencia de pigmentos o características de la superficie, el tamaño, la estructura y el brillo de las muestras analizadas. Actualmente, debido a los términos de estándares de calidad y seguridad de los alimentos, la característica de color de los alimentos debe determinarse con precisión, rapidez y objetividad. La visión por computadora y el análisis de software ofrecen una alternativa rentable y no destructiva a la tecnología automatizada para cumplir con estos requisitos. (Mathias, 2014).

La Comisión Internacional sobre la Iluminación (CIE) ha desarrollado los sistemas de medición y descripción del color más importantes y ampliamente utilizados en la actualidad, que se basan en el uso de fuentes de luz y observadores estándar. (Giese, 1995).

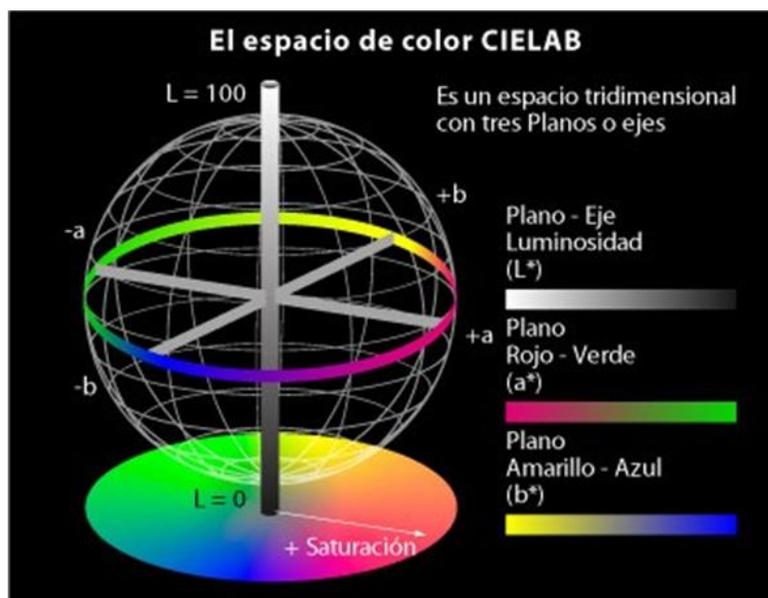


Figura 3. Espacio de color CIE 1976 ($L^*a^*b^*$) o CIELAB

Fuente: (CIE, 1976)

El espacio CIELAB permite definir estímulos de color en un espacio tridimensional. El eje L^* es el eje de luminosidad y va de 0 (negro) a 100 (blanco). Los otros dos ejes de coordenadas son a^* y b^* y representan la diferencia entre rojizo-verdoso, y amarillento-azulado. Aquellos casos donde $a^* = b^* = 0$ son acromáticos; por lo tanto, el eje L^* representa la transición acromática en escala de grises de blanco al negro (Giese, 1995).

2.2.7. Medición de color por visión artificial

La visión artificial es una nueva tecnología en la que las imágenes son producidas por una cámara digital o escáner, que luego se procesan y analizan en una computadora usando un software especial para que el sistema integrado interprete los datos de la misma manera que un humano (Aguilera, 2011). La visión digital tiene excelentes aplicaciones en los sistemas de aseguramiento de la calidad en la industria alimentaria debido a su naturaleza no invasiva y la capacidad de automatizar procesos en línea. Casos especiales son la determinación del color y la ubicación de las manchas de sangre (magulladuras) en filetes de salmón, la identificación de piezas y huesos de pollo en filetes de pollo con imágenes de rayos X y la determinación del color de los productos horneados (Figura y Teixeira, 2007). También hay muchos estudios que muestran su potencial para la inspección y clasificación de frutas y hortalizas. La visión artificial se ha utilizado con éxito para analizar la calidad de la carne, el pescado, la pizza, el queso y el pan. De igual forma, esta nueva tecnología estudió la calidad y características de los granos (Brosnan y Sun, 2004).

2.2.7. Actividad antioxidante

a) Capacidad Reductora Férrica del Plasma (FRAP)

La capacidad de reducción de hierro del plasma (FRAP), también conocida como actividad antioxidante de reducción de hierro es una medida de la actividad antioxidante que utiliza Trolox como estándar. El ensayo FRAP fue realizado por primera vez por Iris Benzie y JJ Strain del Grupo de Investigación de Nutrición Humana de la Universidad de Ulster en Coleraine.

El método se basa en la formación de complejos O-Fenantrolina-Fe (2+) y su disgregación en presencia de agentes quelantes. Este ensayo se usa comúnmente para medir la actividad antioxidante de alimentos, bebidas y suplementos nutricionales que contienen polifenoles (Benzie, 1996).

b) 2,2-Diphenil-1-picrilhidracil (DPPH)

El fundamento del método desarrollado por Brand-Willams, (1995) consiste en que el radical libre tiene electrones desapareados, el color es azul-púrpura y reacciona con sustancias antioxidantes para volverse amarillo pálido, y la absorbancia se mide a 517 nm por espectrofotometría. La diferencia de absorbancia permite obtener el porcentaje de captación de radicales libres (Chávez et al, 2022).

c) Sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico (TBARS)

El ensayo TBARS mide tanto el malondialdehído (MDA) en la muestra como el malondialdehído formado a partir de hidroperóxidos lipídicos en condiciones de reacción de hidrólisis. La MDA es uno de varios productos finales de bajo peso molecular formados por la degradación de ciertos productos de peroxidación de lípidos primarios y secundarios. Sin embargo, solo ciertos productos de peroxidación de lípidos producen MDA, y la MDA no es el único producto final de la formación y degradación de peróxido de grasa, ni es una sustancia que se produce solo por peroxidación de lípidos. Estas y otras observaciones de la extensa literatura sobre MDA, reactividad de TBA y degradación de lípidos oxidativos respaldan la conclusión de que el análisis de MDA y el análisis de TBA pueden, en el mejor de los casos, proporcionar una ventana estrecha y algo empírica en el complejo proceso de peroxidación de lípidos. El uso del ensayo MDA y/o el ensayo TBA y la interpretación de la concentración de MDA de la muestra y la respuesta del ensayo TBA en estudios de peroxidación de lípidos requiere precaución, juicio y (especialmente en sistemas biológicos) datos correlativos sobre otros índices de formación y degradación de lípidos de peróxido. (Draper, 1990).

CAPITULO III: METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación es estudio correlacional, ya que se realiza la identificación y análisis de la causal (variable independiente) y sus resultados, los que se expresan en hechos verificables (variables dependientes). El presente trabajo es una investigación aplicada y enfocada en el desarrollo de ciencias fácticas.

3.2. Diseño de la investigación

El diseño de investigación es “diseño experimental”. Por lo tanto, a través de la parte experimental se intenta conocer las causas del porque ocurre un determinado fenómeno, para ello es necesario someter las variables de estudio a condiciones manejables y medibles.

3.3. Delimitación espacial y temporal

El trabajo de investigación se realizó en el laboratorio de física y el laboratorio de procesos de agroindustria de la Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios (UNAMAD). Con temperatura y humedad relativa del medio ambiente de 29°C y 75% como se muestra en el anexo 23. A continuación se indica la ubicación geográfica de acuerdo a la estación climatológica principal Puerto Maldonado de Senamhi con código n° 120604.

Departamento : Madre de Dios

Provincia : Tambopata

Distrito : Tambopata

Latitud : 12° 35´ 14.13”

Longitud : 69° 12´ 31.94”

Altitud : 209 m.s.n.m.

3.4. Población y muestra

La población es el fundo ecológico experimental “Benjamín Arizaca R” ubicado en el sector Alta Pastora, provincia y distrito de Tambopata, departamento de Madre de Dios de donde se tomó una muestra de 10 kg de sachaculantro realizando un muestreo no probabilístico por conveniencia.

3.5. Métodos y técnicas

3.5.1. Metodología experimental de secado con radiación infrarrojo lejano (FIR)

La materia prima para la investigación constituye las hojas frescas de *Eryngium Foetidum L.* El experimento se desarrolló, utilizando un secador con radiación infrarrojo lejano de la marca IRCONFOR modelo IRCDi3, sus componentes incluyen 03 cámaras de secado programable a diferentes temperaturas, unidades de control de temperatura, y radiación FIR con una potencia nominal de 221 W por cada emisor. La muestra se colocó en cada bandeja de aluminio, las variables se controlaron a través de sensores conectados a una plataforma de Arduino. El proceso de secado se llevó a cabo con tres niveles de temperatura.

El tiempo de secado se definió como el tiempo necesario para alcanzar el 11 % de humedad de la muestra seca. Cada tratamiento de secado se realizó con tres repeticiones. Contenido de humedad final en las hojas secas expresada como gramos de agua/100 g de materia seca.

3.5.2. Sistema de adquisición de datos como temperatura, humedad relativa y peso

Para la adquisición de datos de peso de las muestras se realizó la adaptación del equipo secador con un sistema mecatrónica de pesado que consiste en la instalación de sensores de peso y un microcontrolador Arduino como se muestra en el siguiente gráfico.

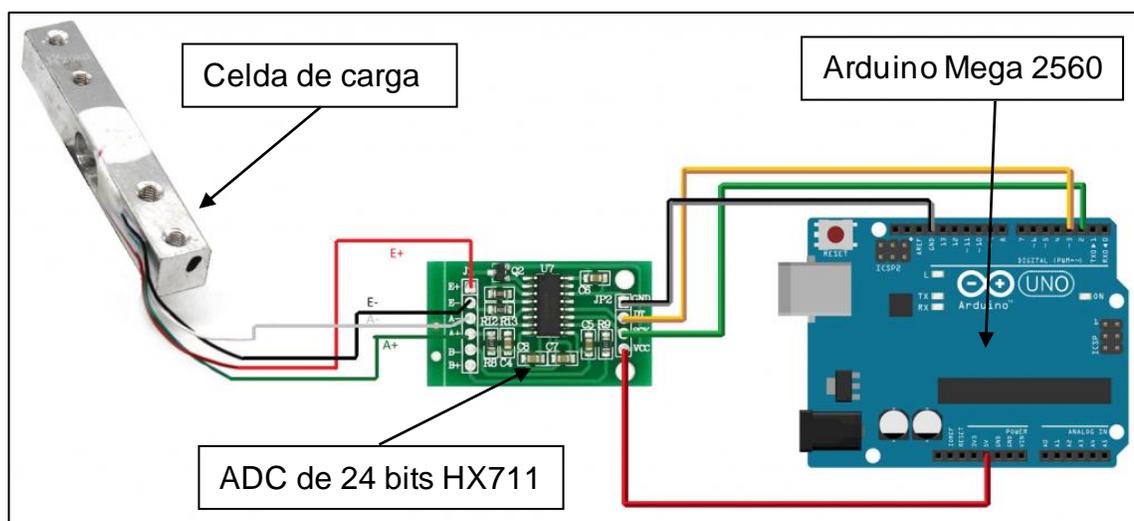


Figura 4. Sistema mecatrónico de pesado

Fuente: (Prometec.net, 2022)

Se usó una celda de carga por cada bandeja ubicados en el centro de la bandeja con una capacidad de 5 kg, cada una de las celdas de carga se conectó a un transmisor ADC de 24 bits HX711 para convertir la señal analógica de la celda de carga en señal digital, posteriormente los transmisores ADC se conectaron al microcontrolador Arduino Mega 2560 conectado a una computadora. Para la calibración de las celdas de carga se utilizó pesas patrón de 100 g; 50 g y 20 g.

La temperatura y humedad relativa se midió en cada cámara del equipo secador y también del medio ambiente con sensores de temperatura y humedad relativa Dht11. Los datos se almacenaron en la base de datos del software FIRDRYER versión 1,4.

3.5.3. Determinación del porcentaje de humedad

El porcentaje de humedad se determinó aplicando el método gravimétrico porcentual, método 14,003 de la (A.O.A.C.,1990). El procedimiento se detalla a continuación.

a. Equipo necesario:

- Horno de secado: un horno capaz de mantener una temperatura constante de al menos 105 °C.
- Desecador: un recipiente hermético con un agente desecante, como gel de sílice, para enfriar y proteger las muestras después del secado.
- Balanza analítica de la marca Sartorius: una balanza con una precisión de 0,01 gramos.
- Cápsulas de porcelana.
- Pinzas de laboratorio.

b. Preparación de la muestra:

- Se etiquetó y pesó una cápsula de porcelana limpio y seco. Se registró la masa como "M1".
- Se Colocó 5g de muestra en la cápsula.
- Se volvió a pesar la cápsula con la muestra. Se registró la masa como "M2".

c. Secado de la muestra:

- Se colocó las cápsulas con la muestra en el horno precalentado a una temperatura de 105 °C.
- Se dejó secar la muestra durante 4 horas hasta alcanzar un peso constante. El tiempo de secado puede variar dependiendo del tipo de muestra y la cantidad de humedad presente.
- Después del tiempo de secado, se retiró las cápsulas y se colocó en el desecador para que se enfríen a temperatura ambiente.

d. Peso final de la muestra:

- Una vez que las cápsulas se hayan enfriado en el desecador, se retiró con las pinzas y se pesó cada uno en la balanza analítica. Se registro la masa de cada cápsula como "M3".
- Se restó el peso de la capsula vacía " $M2-M1= W_i$ " y " $M3-M1= W_f$ "

El porcentaje de humedad de *Eryngium Foetidum L.* fresco se calculó utilizando la siguiente ecuación de acuerdo al método 14,003 de la (A.O.A.C.,1990):

$$\% \text{ Humedad} = (W_i - W_f) / W_i \times 100$$

Donde:

W_i : Peso inicial del sachaculantro fresco.

W_f : Peso final del sachaculantro seco.

3.5.4. Determinación de humedad en base seca (HBS)

La humedad en base seca (HBS) fue interpretado como la cantidad de agua en la unidad del sólido de *Eryngium Foetidum L.* Se determinó a través de la ecuación que se muestra a continuación (Tasirin et al., 2007).

$$\text{HBS} = (p_m - m_s) / m_s$$

Donde:

HBS = Humedad en base seca (g H₂O/g ms).

p_m = Peso de la muestra.

m_s = Peso de la muestra seca.

3.5.5. Determinación de los índices de color

Para determinar los índices de color se aplicó la técnica de un sistema de visión por computadora descrito por Salehi y Kashaninejad, (2015). La iluminación uniforme de la muestra se logró con 4 luces fluorescentes (10 W, 40 cm de longitud), se colocaron en una caja de madera (0,4 × 0,6 × 0,3 m³). Las paredes interiores de la caja se pintarán de negro para minimizar la luz de fondo. Para tomar la imagen se utilizó la cámara de un celular Samsung, modelo SM-A205G, se ubicó en horizontal a una distancia de 30 cm de la muestra. Dado que el sistema de visión por computadora percibía el color como señales RGB, que dependen del dispositivo.

Estas imágenes tomadas se convirtieron en unidades L^* a^* b^* para garantizar la reproducibilidad del color. L^* (luminosidad - oscuridad que va de 100 a 0), a^* (enrojecimiento-verdoso que va de 60 a -60) y b^* (amarillez-azul que varía de 60 a -60).

El cálculo de los cambios de color total (ΔE) se calculó con la ecuación propuesta por (Urbanyi, 1989), y citado por (Liu et al., 2010).

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

Donde:

ΔE : Diferencia total de color

ΔL^* : Diferencia en luminosidad y oscuridad

Δa^* : Diferencia en rojo y verde

Δb^* : Diferencia en amarillo y azul

En este trabajo de investigación, el análisis de imágenes en hojas de *Eryngium foetidum* L. se ha realizado con el software ImageJ versión 1,8 (Salehi y Kashaninejad 2015).

3.5.6. Determinación de la actividad antioxidante por método DPPH

La actividad antioxidante por el método DPPH se realizó de acuerdo a como propone Brand-Williams, Cuvelier y Berset, (1995), descrito por Szydłowska-Czerniak et al., (2011) para determinar la actividad antioxidante del sachaculantro se utilizó distintas concentraciones de muestra las que son colocadas en tubos conteniendo 1 ml de tampón acetato pH 6,0 (0,1 M), 0,5 ml de extractos metanólicos de *Eryngium foetidum* L. y 0,5 ml de solución metanólica de DPPH (12,0 mg/l), posteriormente se procedió a agitar, se llevaron a baño maría a 37 °C durante 30 minutos, se midió la absorbancia a 765 nm utilizando una concentración en blanco (2 ml de metanol + 0,5 ml de solución metanólica de DPPH) se utilizó un espectrofotómetro UV/Vis Genesis 20 Thermo Electrón . Los valores de coeficiente de inhibición CI50 expresados como milimoles (mmol)

equivalentes de Trolox por g de muestras de extracto de sachaculantro *Eryngium foetidum* L. (Raunelli et al., 2019).

3.6. Instrumentos

- Sensor de temperatura y humedad SHT1X (SHT10).
- Celdas de carga, capacidad 5 Kg
- Transmisor de celda de carga ADC 24 bits HX711.
- Microcontrolador Arduino Mega.
- Deshidratador infrarrojo 3 bandejas Modelo IRCDi3.
- Celular Samsung, modelo SM-A205G.
- Computadora portátil Lenovo, modelo E420.

3.7. Metodología experimental

Las operaciones que se realizaron para la deshidratación con radiación infrarrojo lejano (FIR) de *Eryngium Foetidum* L. se visualiza en la figura 3 y se detalla a continuación.

Hojas de *Eryngium Foetidum* L.: Las hojas se cosecharon del fundo Benjamín Arizaca R ubicado en el sector Alta Pastora, provincia y distrito de Tambopata, departamento de Madre de Dios.

Recepción: El sachaculantro se recibió en el laboratorio de procesos de la carrera de ingeniería agroindustrial.

Cortado y selección: Al sachaculantro se le realizó el corte de las raíces, posteriormente se procedió a separar las hojas dañadas, muy maduras y hojas con otros defectos.

Lavado: El lavado se realizó con agua potable para quitar los residuos de tierra y otros residuos que traen las hojas.

Desinfección: Para realizar la desinfección correspondiente se usó hipoclorito de sodio 22,27 ppm mezclado con agua, donde se sumergieron las muestras de sachaculantro durante 10 minutos.

Enjuagado: El enjuagado se realizó con el objetivo de eliminar los residuos de desinfectante, esta operación se realizó con agua potable.

Oreado: Para el oreado las hojas de sachaculantro se pusieron sobre bandejas de acero inoxidable a temperatura ambiente durante un lapso de 30 minutos.

Pesado: El pesado de las muestras antes de iniciar con el secado se realizó con una balanza granataria de precisión marca A&D Modelo FX 3000i, posteriormente durante el secado el peso de las muestras se monitorea a través de celdas de carga instalados en el equipo deshidratador.

Secado y monitoreo de parámetros: Estas dos operaciones se hicieron a la vez ya que el sistema mecatrónico de pesado se encontraba acoplado al equipo deshidratador infrarrojo de 3 bandejas Modelo IRCDi3, este equipo consta de un panel de control de temperatura, acoplado con un sistema de sensores de humedad relativa, sensores de temperatura y sensores de peso, el secado se realizó con temperaturas de 40, 50 y 60 °C con potencia de infrarrojo lejano de 221 W.

Tomas fotográficas: Las tomas fotográficas se realizaron al inicio del secado y al final del secado para su posterior análisis de cambio de color, utilizando la cámara de un celular las tomas fotográficas se realizaron en condiciones iguales de iluminación. Los análisis de cambio de color se realizaron de acuerdo al procedimiento propuesto por (Salehi y Kashaninejad, 2015).

Pesado: El pesado de las muestras secas se realizó con una balanza granataria de precisión marca A&D Modelo FX 3000i.

Empacado: El empacado se realizó en bolsas Doypack trilaminados, y sellados al vacío.

Almacenado: Las muestras de sachaculantro se almacenaron a temperatura de -20 °C en las instalaciones del laboratorio de procesos de agroindustrias

Preparación para análisis: A las hojas enteras deshidratadas se realizaron análisis de actividad antioxidante de acuerdo al método DPPH como menciona (Raunelli et al., 2019).

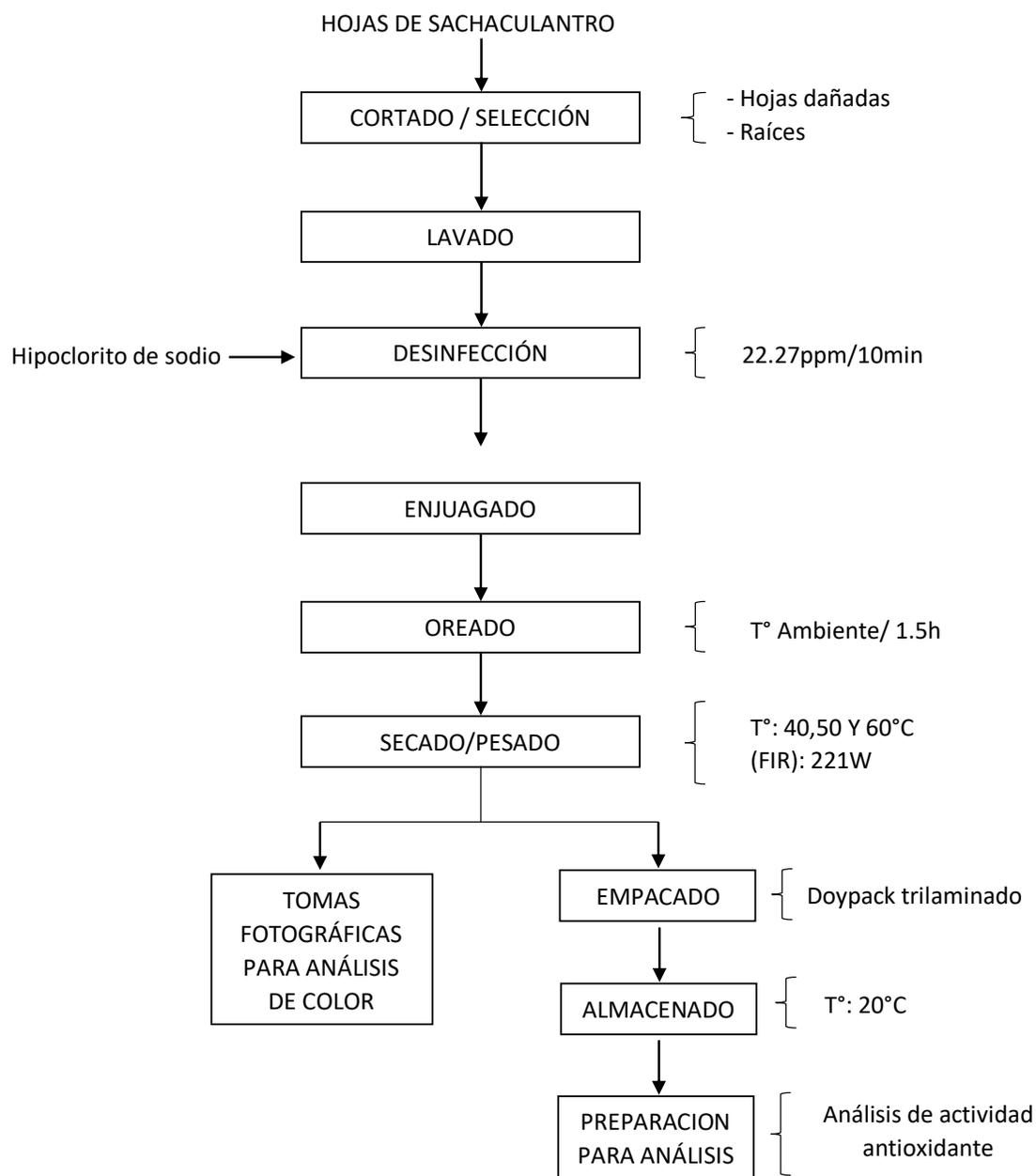


Figura 5: Flujo de operaciones de deshidratación de sachaculantro.

3.8. Diseño experimental

Durante la investigación se evaluó la influencia de la temperatura de secado con radiación infrarrojo lejano (FIR) en la cinética de secado, color y actividad antioxidante del sachaculantro (*Eryngium foetidum L.*). Los experimentos fueron realizados de acuerdo al esquema experimental que se muestra en la siguiente figura.

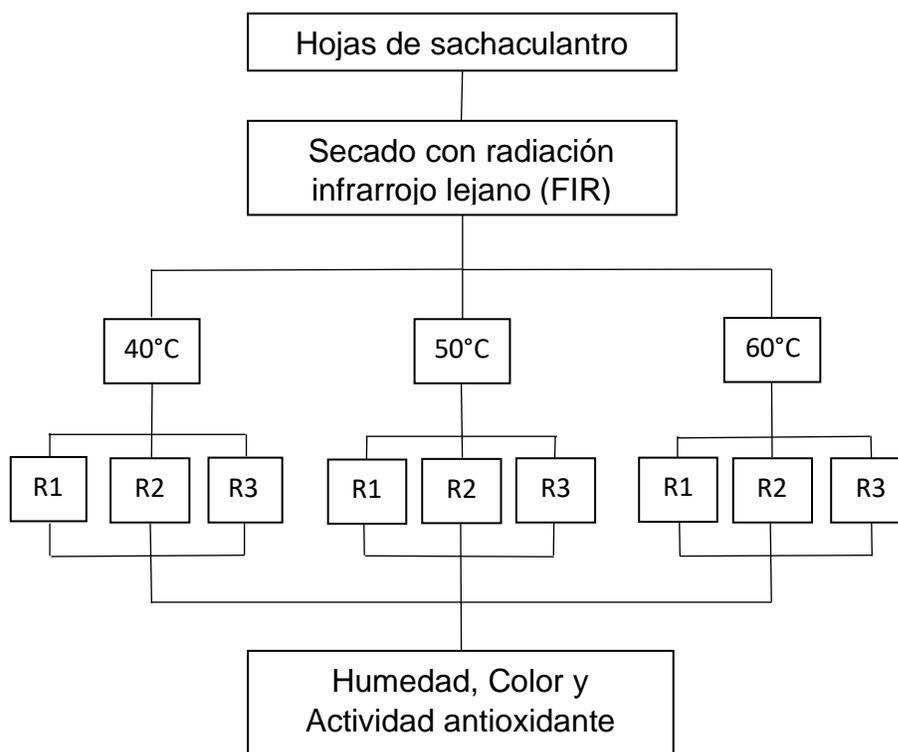


Figura 6: Esquema experimental de la investigación.

3.9. Procesamiento de datos y Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se aplicó el diseño completamente al azar (DCA). Los datos se analizarán utilizando RStudio Cloud, Joseph J. Allaire. Los resultados se compararon usando el análisis de varianza (ANOVA) con un diseño completamente aleatorio y la prueba de rango múltiple Tukey. Todos los tratamientos se realizaron con tres repeticiones y los resultados se promediaron. Los análisis se realizaron con un nivel de confianza del 95 % ($p < 0,05$).

CAPITULO IV: RESULTADOS DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

4.1. Efecto del secado con radiación infrarrojo lejano sobre la Cinética de secado de sachaculantro

4.1.1. Porcentaje de humedad

El promedio del contenido de humedad en base húmeda de *Eryngium foetidum* L. fue de $85,08 \pm 0,39$ % como se muestra en la Tabla 3, Atencio y Flores-ayala (2021) determinaron que las hojas frescas de *Eryngium foetidum* L. contienen $88,76 \pm 0,68$ % de humedad, cuyas muestras lo obtuvieron de la selva central de Perú en la región de Huánuco, frente a los resultados de esta investigación, podría ser a causa de las condiciones climáticas de la zona, otros autores como (Paul et al., 2011) mencionan que las humedad de hojas frescas de *Eryngium foetidum* L. contienen más de 85 % de humedad.

Tabla 3. Porcentaje de humedad inicial de *Eryngium foetidum* L.

Repeticiones	Porcentaje de humedad (%)
R1	84,64
R2	85,38
R3	85,23
Promedio	85,08
Des. Estándar	0,39
Max	85,38
Min	84,64

4.1.2. Curva de secado

En la Figura 7, se detalla los resultados de la humedad en base seca con respecto al tiempo de secado, a temperaturas de 40, 50 y 60 °C.

De manera general se aprecia que, a mayor temperatura de aire, el tiempo de secado obtenido tiende a ser menor.

Miraei Ashtiani, Salarikia y Golzarian, (2017), concluyen que el secado por radiación infrarrojo de hojas de menta usando una distancia emisor muestra más pequeño, mayor intensidad de radiación infrarrojo y menor velocidad del flujo de aire mejora la eliminación de la humedad por lo tanto se consigue una deshidratación más efectiva. Podría ser esta la razón por la cual se obtuvo mejores resultados en el tiempo de secado a 50 y 60 °C.

La reducción del tiempo de secado al utilizar radiación infrarrojo se debe fundamentalmente a que la radiación penetra al interior de las hojas donde produce vibración y consiguientemente calentamiento del agua, que se difunde rápidamente a la superficie de las hojas de sachaculantro, desde donde el aire más caliente tiene la oportunidad de adsorber la humedad, (Ramos y Pe, 2019).

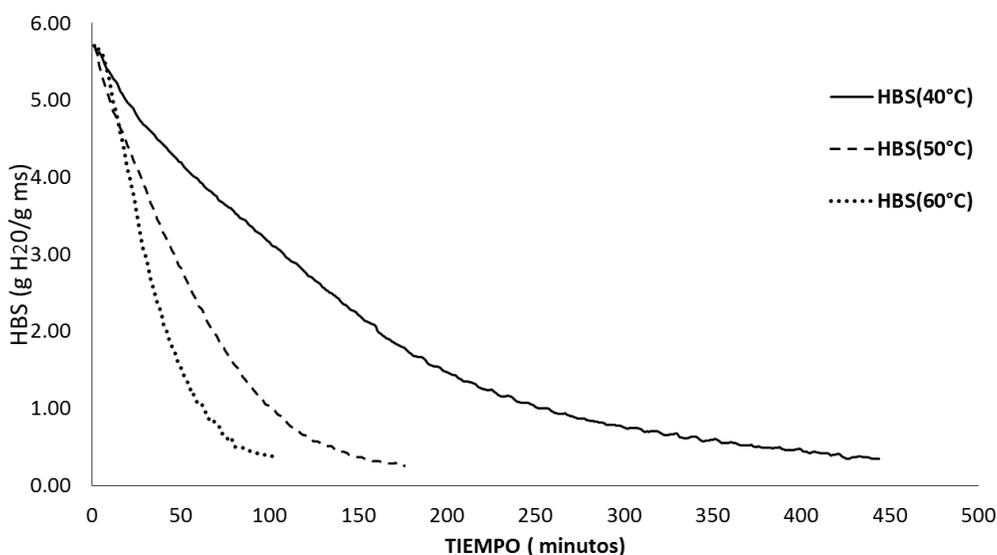


Figura 7. Curvas de secado de sachaculantro con radiación infrarrojo lejano a diferentes temperaturas.

4.1.3. Humedad en base seca (HBS)

Para la evaluación estadística del proceso de secado, se consideró la humedad en base seca obtenida a 1,7 horas de secado.

En la Tabla 3, se muestran los resultados de humedades en base seca (HBS) de las muestras secadas con radiación infrarrojo lejano a temperaturas de 40, 50, y 60 °C.

Tabla 4. Humedad en base seca (HBS) de *Eryngium foetidum* L. secado con radiación infrarrojo a diferentes temperaturas durante 1,7 horas.

Tratamientos	R1 (g H ₂ O/g ms)	R2 (g H ₂ O/g ms)	R3 (g H ₂ O/g ms)	Promedio (g H ₂ O/g ms) ¹
40 °C	2,86	3,45	2,98	3,10 ^a
50 °C	0,95	1,27	0,69	0,97 ^b
60 °C	0,19	0,60	0,33	0,38 ^b

¹ valores de la misma letra no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

En la Tabla 4, Se presenta un análisis estadístico sobre el efecto de la temperatura de secado en base seca (HBS) de *Eryngium foetidum* L. evaluado después de 1.7 horas de secado. La temperatura tuvo un efecto muy importante en el secado.

De la prueba de Tukey se puede deducir que los tratamientos de 50 Y 60°C son estadísticamente iguales (Tabla 5).

La humedad en base seca (HBS) de las hojas secadas con radiación infrarrojo lejano a 40; 50 y 60 °C por un periodo de tiempo de 1,7 horas fueron 3,10; 0,97 y 0,38 g H₂O/g ms respectivamente. Habiéndose encontrado diferencia significativa ($p < 0,05$) entre los resultados obtenidos (Tabla 4).

Los resultados fueron similares a los reportados por (Atencio y Flores Ayala, 2021); 0,25; 0,24 g H₂O/g ms a 50 y 60 °C consecutivamente con aire forzado a 5,5 m/s

Tabla 5. Análisis de varianza para HBS

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	Valor de F	Probabilidad
Temperatura	2	12,269	6,135	82,427	0,000043
Residuales	6	0,447	0,074		
Total	8	12,716			

Tabla 6. Prueba de Tukey para HBS

Contrastes	Diferencia de medias	Intervalos minimos	Intervalos maximos	Probabilidad
50 °C - 40 °C	- 2,124368	- 2,807826	- 1,440910	0,000187
60 °C - 40 °C	- 2,720503	- 3,403967	- 2,037045	0,000045
60 °C - 50 °C	- 0,596135	- 1,279593	0,087323	0,081605

4.1.4. Tiempo de secado

En la tabla 6, se muestra los resultados del tiempo de secado para el sachaculantro con radiación infrarrojo lejano fueron de 7,38 horas (aire a 40 °C), reduciéndose a 2,92 horas para 50 °C y hasta 1,7 horas para 60 °C, hasta alcanzar la humedad de equilibrio.

K. J. Vela Vargas y I. Hoyos Grández, (2015), reportaron resultados de tiempo de secado con flujo de aire forzado de 240;160 y 120 minutos a temperaturas de 40; 50 y 60 °C consecutivamente a una velocidad de aire de 3,5 m/s, sin radiación infrarrojo. Estas diferencias pueden deberse a que el secado con radiación se realizo por convección natural, pero cabe destacar que el tiempo de secado con radiación a 60 °C fue menor que los resultados citados anteriormente.

Perry, (1984), manifiesta que la humedad relativa disminuye, cuando se incrementa la temperatura del aire, lo que incrementa la capacidad de adsorción de humedad del aire, esto se puede observar en el Anexo 9.

Tabla 8. Resultados de análisis de color en Espacio de Color CIE L a*b* de sachaculantro fresco

Temperatura de secado	L	a*	b*
40 °C	62,04	-44,69	48,94
50 °C	57,50	-41,88	45,92
60 °C	65,93	-46,68	51,95

Tabla 9. Resultados de análisis de color en Espacio de Color CIE L a*b* de sachaculantro secados durante 1,7 horas

Temperatura de secado	L	a*	b*
40 °C	66,02	-34,87	46,26
50 °C	56,93	-20,29	38,22
60 °C	65,11	-14,49	33,52

Tabla 10. Diferencia de los índices de color de hojas de *Eryngium foetidum* L. fresco y secados durante 1,7 horas

Temperatura de secado	L ¹	a* ¹	b* ¹	ΔE ¹
40 °C	+3,98 ^a	+9,82 ^a	-2,68 ^a	10,93 ^a
50 °C	-0,57 ^b	+21,59 ^b	-7,70 ^b	22,93 ^b
60 °C	-0,83 ^b	+32,19 ^c	-18,43 ^c	37,11 ^c

¹ valores de la misma letra no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

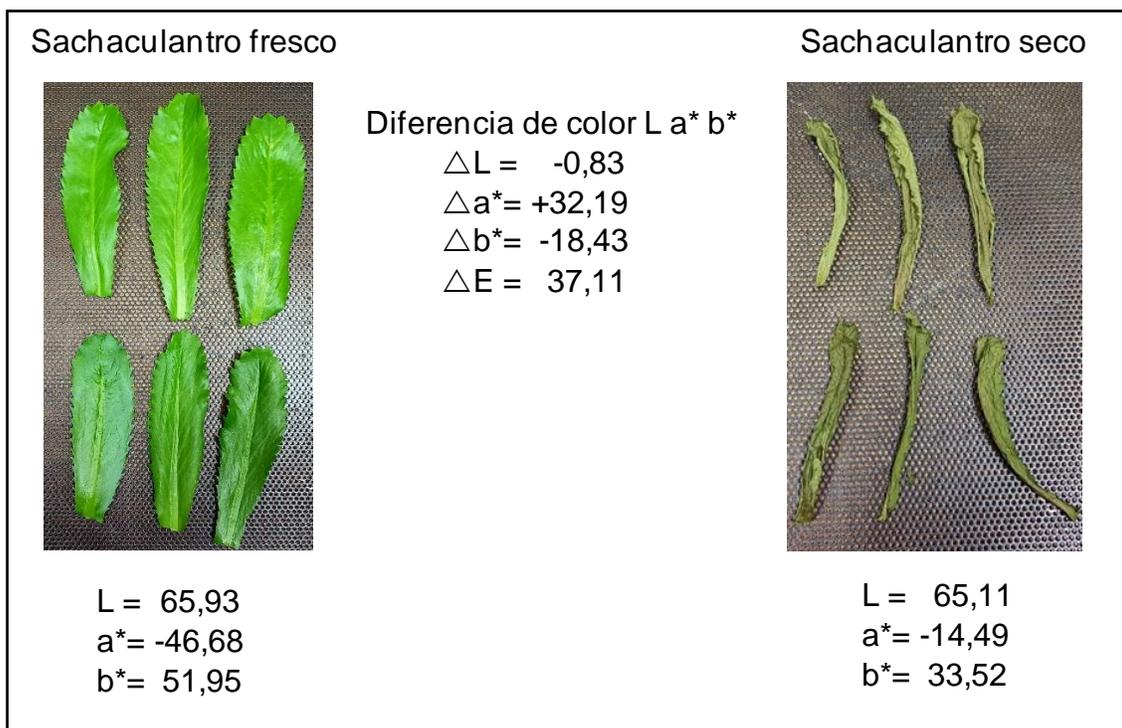


Figura 9. Diferencia de color de hojas frescas y secas de sachaculantro a temperatura de 60°C con radiación infrarrojo lejano.

4.2.1. Cambios en el índice de color (L)

Los valores del índice de color L varían según el sistema internacional de color desde 0 (negro) hasta 100 (blanco). Si la diferencia de L entre muestras frescas y muestras secadas con radiación infrarrojo lejano es positivo, las hojas secas son más claras que las frescas, y si es negativo, las muestras secas son más oscuras que las frescas, en la Tabla 09 se muestra el cambio de L con radiación infrarrojo lejano donde estadísticamente si existe diferencias significativas con el aumento de la temperatura de secado ($p > 0,05$) como se muestra en el Anexo 03. Por otro lado, se puede apreciar que a 40 °C el valor de L se incrementa + 3,98 esto indica que las hojas secas son más claras que las hojas frescas. Sin embargo, los valores de L con temperaturas de secado de 50 y 60 °C disminuyen en -0,57 y -0,83 respectivamente, de acuerdo a la prueba de Tukey estos valores

son estadísticamente iguales en función de la temperatura, como se muestra en el Anexo 4.

Este comportamiento de incremento en los valores de índice de color L se puede ver de manera similar en la investigación desarrollado por Moreno-Guarín, Sierra-Hoyos y Diaz-Moreno (2012). Donde obtuvieron resultados de L* igual a 44,5 en tomate fresco y 47,2 en tomate deshidratado. De igual manera. Tezcan et al. (2021) obtuvieron resultados de L* igual a $29,69 \pm 0,81$ en hojas de eneldo fresco y $30,55 \pm 1,08$ en hojas secas con radiación infrarrojo lejano con potencia de 1790 W/m^2 .

4.2.2. Cambios en el índice de color (a^*)

El valor del índice a^* varía entre -60 (rojo) y 60 (verde) según el sistema internacional de color. Si la diferencia entre el valor a^* de la muestra fresca y la seca es positiva, la muestra seca es más roja (o menos verde) que la fresca; si es negativo, significa que es menos rojo (o más verde). En la Tabla 9 se aprecia que el valor de a^* es directamente proporcional al aumento de la temperatura existiendo diferencias significativas en el valor de a^* en función a la temperatura ($p > 0,05$) como se muestra en el Anexo 05. Los valores de a^* con temperaturas de 40; 50 y 60 °C aumentaron en 9,82; 21,59 y 32,19 respectivamente con un porcentaje de disminución de tonalidades de color verde 21,97; 51,55 y 68,95 % respectivamente para los tres niveles de temperatura.

Castro, (2010) Realizo su investigación en el cambio de color de la albahaca, secó en un deshidratador de bandejas Harvest Saber a 70 °C donde obtuvo resultados para el índice a^* -8,85 en albahaca fresco y -2,2 en albahaca seca, estos resultados son equivalentes a 75 % de disminución en las tonalidades de color verde, comparando con los resultados de nuestra investigación de secado de sachaculantro con radiación infrarrojo lejano a una temperatura de 60 °C se obtuvo mejores resultados al 68,95 %, siendo menor la disminución de las tonalidades de color verde.

La disminución del índice de color a^* indica que la clorofila (color verde) presente en el tejido de las hojas de *Eryngium foetidum* L, se removió por acción de la temperatura, por ende, la disminución en las tonalidades verdes. (Maharaj y Sankal, 1995).

4.2.2. Cambios en el índice de color (b^*)

Los valores del parámetro “b” varían según el sistema internacional de color desde +60 (amarillo) hasta -60 (azul). Si la diferencia en b^* entre la muestra fresca y la seca es positiva, la muestra seca es más amarilla (o menos azul) que la fresca, y si es negativa indica que es menos amarilla (o más azul).

En la Tabla 9 se aprecia que el valor de b^* es inversamente proporcional al aumento de la temperatura existiendo diferencias significativas en el valor de b^* en función a la temperatura ($p > 0,05$) como se muestra en el Anexo 07. Los valores de b^* con temperaturas de 40, 50 y 60 °C disminuyeron en -2,68; - 7,7 y - 18,43 respectivamente,

4.2.2. Cambios en el índice de color (ΔE)

La diferencia total de color se puede expresar por ΔE ; a mayor valor mayor es la diferencia de color entre dos muestras. En la Tabla 09 se presenta los valores de ΔE después del secado de sachaculantro con radiación infrarrojo lejano a temperaturas de 40; 50 y 60 °C., el valor de ΔE es directamente proporcional al aumento de temperatura existiendo diferencias significativas en la diferencia total de color en función a la temperatura ($P < 0,05$), Anexo 09.

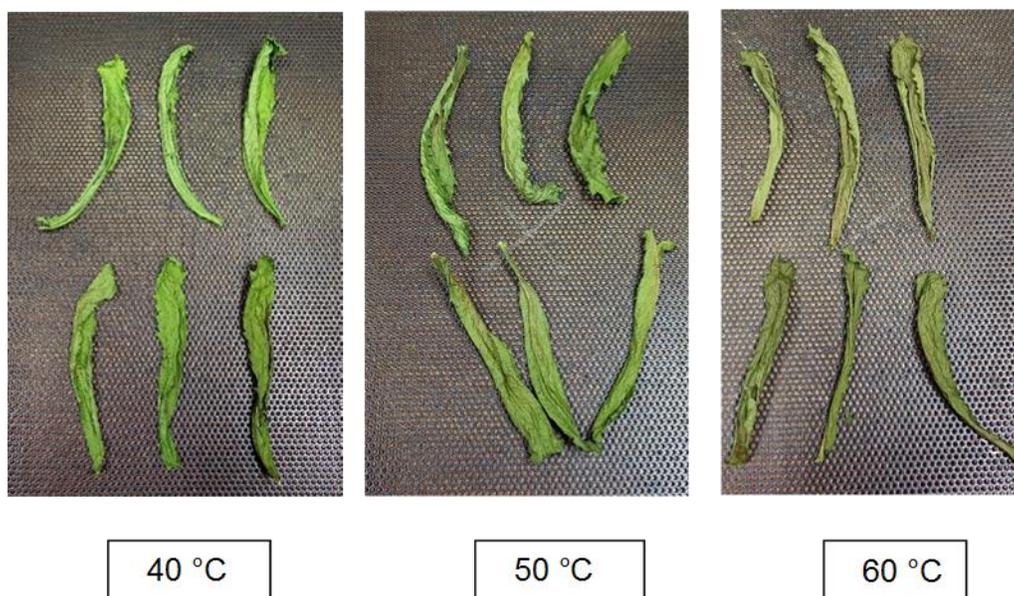


Figura 10. Hojas de sachaculantro deshidratado a diferentes temperaturas.

4.2. Efecto de secado con radiación infrarrojo lejano sobre la Actividad antioxidante de sachaculantro.

Tabla 11: Resultado de la evaluación de la actividad antioxidante en hojas de *Eryngium foetidum* L. fresco y deshidratado.

Tratamientos	Repeticiones			Promedio	
	R1	R2	R3	Equivalente Trolox CI50 nmol TE/g muestra ¹	Actividad antioxidante %
Fresco	9,1330	9,0198	8,9641	9,0 ^a	12,0
40 °C	2,7644	2,7699	2,7589	2,8 ^b	53,1
50 °C	3,0663	3,0498	3,0608	3,1 ^c	58,8
60 °C	4,7351	4,7027	4,7188	4,7 ^d	26,2

¹ valores de la misma letra no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

En la Tabla 10, se muestra los resultados de la actividad antioxidante de las hojas de *Eryngium foetidum* L. fresco y deshidratado con radiación infrarrojo lejano.

Se observa que la actividad antioxidante de las hojas deshidratadas es superior a las hojas de *Eryngium foetidum* L. fresco.

Los valores de CI50 expresan la concentración de muestra requerida para eliminar los radicales libres de DPPH en un 50%, la actividad antioxidante es inversamente racional a IC50, un valor IC50 más bajo representa un antioxidante más alto (N Q N Thi, 2020).

El tratamiento a 50 °C muestra la mayor actividad antioxidante con 58,8%. En cambio, las hojas frescas de sachaculanro muestran la menor actividad antioxidante con 12 % de DPPH inhibido por la muestra, también cabe resaltar que a una temperatura de 60°C la actividad antioxidante tiende a disminuir a 26,2 %. Los resultados expresados en este estudio tienen similitud con resultados de (Mahamed, 2009) quienes determinaron la actividad antioxidante de sachaculanro de 55,8; 56,1 y 58,1 % a efectos de irradiación gamma a 10; 20 y 40 Gray respectivamente, La alta actividad antioxidante de los extractos de plantas podría atribuirse a su alto contenido de compuestos fenólicos.

De la prueba Tukey en el Anexo 12 se puede observar que existen diferencias significativas en todos los resultados.

En el Anexo 11 se muestra que los parámetros de secado tienen un efecto significativo sobre la actividad antioxidante, y se obtuvo un valor de probabilidad ($P < 0,05$) para la temperatura.

Según los resultados, el sachaculanro, demuestra actividad en la eliminación de radicales DPPH, lo cual se sugiere un potencial uso como fuente de alimento en la prevención y tratamiento del estrés oxidativo relacionado con enfermedades.

CONCLUSIONES

Los resultados del tiempo de secado para el sachaculantro con radiación infrarrojo lejano fueron de 7,38 horas (a 40 °C), reduciéndose a 2,92 horas para 50 °C y hasta 1,7 horas para 60 °C, hasta alcanzar la humedad de equilibrio. En comparación a otras investigaciones con métodos de secado convencional se determinó que la velocidad de secado con infrarrojo a 60 °C es superior, demostrándose su eficiencia energética.

Con respecto a los índices de color la luminosidad no se vio muy afectado por la temperatura de secado. Las tonalidades de color verde son mejores indicadores para el cambio de color de hojas de sachaculantro ya que estos se vieron más afectados por la temperatura de secado.

Los valores del índice de tonalidad rojo – verde (a^*) con temperaturas de 40; 50 y 60 °C aumentaron en 9,82; 21,59 y 32,19 respectivamente con un porcentaje de disminución de tonalidades de color verde 21,97; 51,55 y 68,95 % respectivamente para los tres niveles de temperatura. Castro, (2010) determino en 75 % la disminución de tonalidades de color verde en hojas de albahaca, de tal modo demostrando que el método de secado con radiación infrarrojo lejano conserva mejor el color en los alimentos.

La actividad antioxidante de sachaculantro aumentó por efecto del secado de 12%, en estado fresco, a 58,8 % muestra de sachaculantro deshidratado a 50 °C. Además, existiendo diferencias significativas entre las diferentes condiciones de secado. La alta actividad antioxidante de los extractos de plantas se atribuye a su alto contenido de compuestos fenólicos.

Las hojas de sachaculantro se pueden secar satisfactoriamente mediante radiación infrarroja lejano, que es una alternativa al secado convencional de vegetales y otros alimentos que requieren una vida útil más prolongada mediante el secado.

SUGERENCIAS

Se sugiere un estudio de secado con radiación infrarrojo lejano a diferentes niveles de radiación y su influencia en el color y actividad antioxidante de sachaculantro.

Se sugiere realizar un estudio para evaluar la influencia de la temperatura de secado con radiación infrarrojo lejano en la vida útil en anaquel del sachaculantro.

Realizar estudios para determinar la influencia del secado con radiación infrarrojo lejano en los compuestos bioactivos del sachaculantro.

Se sugiere realizar investigaciones de secado con radiación infrarrojo lejano en otros vegetales, frutas y otros productos alimenticios de la amazonia.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A.O.A.C., 1990. Official methods of analysis 14.003. 1990. S.I.: s.n.
- ADAK, N., HEYBELI, N. y ERTEKIN, C., 2017. Infrared drying of strawberry. Food Chemistry [en línea], vol. 219, no. September, pp. 109-116. ISSN 18737072. DOI 10.1016/j.foodchem.2016.09.103. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.09.103>.
- ALBERTO, J., ZAVALA, O., MÉNDEZ, P.A., RAMÍREZ-NAVAS, J.S., NACIONAL, U. y SANTA, D.E.L., 2019. Estudio del proceso de deshidratación. ,
- ANDRÉS DÍAZ CASTRO ZAMORANO, P., 2010. Efecto del tiempo de secado y de la variedad en las características físico-químicas de la albahaca (*Ocimum basilicum*) seca. . S.I.:
- ASHTIANI, S.M., SALARIKIA, A. y GOLZARIAN, M.R., 2017. peppermint leaves under hot-air and infrared treatments . , vol. 4, pp. 128-139.
- ATENCIO, J.B. y FLORES-AYALA, J., 2021. Optimización de parámetros para la deshidratación por lecho fluidizado del sachá culantro (*Eryngium foetidum* L.) Parameter optimization for fluidized bed dehydration of sachá co. , vol. 01, no. 03, pp. 13-28.
- BOUDHRIOUA, N., BAHLOUL, N., BEN SLIMEN, I. y KECHAOU, N., 2009. Comparison on the total phenol contents and the color of fresh and infrared dried olive leaves. Industrial Crops and Products, vol. 29, no. 2-3, pp. 412-419. ISSN 09266690. DOI 10.1016/j.indcrop.2008.08.001.
- BRAND-WILLIAMS, W., CUVELIER, M.E. y BERSET, C., 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. LWT - Food Science and Technology, vol. 28, no. 1, pp. 25-30. ISSN 00236438. DOI 10.1016/S0023-6438(95)80008-5.
- CUI, L., NIU, L. ying, LI, D. jing, LIU, C. quan, LIU, Y. ping, LIU, C. ju y SONG, J. feng, 2018. Effects of different drying methods on quality, bacterial viability and storage stability of probiotic enriched apple snacks. Journal of Integrative Agriculture [en línea], vol. 17, no. 1, pp. 247-255. ISSN 20953119. DOI 10.1016/S2095-3119(17)61742-8. Disponible en: [http://dx.doi.org/10.1016/S2095-3119\(17\)61742-8](http://dx.doi.org/10.1016/S2095-3119(17)61742-8).

- HUANG, D., YANG, P., TANG, X., LUO, L. y SUNDEN, B., 2021. Application of infrared radiation in the drying of food products. *Trends in Food Science and Technology* [en línea], vol. 110, no. October 2020, pp. 765-777. ISSN 09242244. DOI 10.1016/j.tifs.2021.02.039. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.02.039>.
- IRCONFORT, 2016. *Sistemas de Deshidratación por Infrarrojo Lejano (FIR)*. [en línea]. Disponible en: <https://www.irconfort.com/>.
- ITIS, 2011. *Sistema Integrado de Información Taxonómica*. [en línea]. Disponible en: https://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=29507&print_version=PRT&source=to_print#null.
- K. J. VELA VARGAS y I. HOYOS GRÁNDEZ, 2015. Influencia de la velocidad y la temperatura del aire de secado en la obtención de harina de Sacha Culantro (*Eryngium Foetidum* L.), proveniente de Michina, Provincia Rodríguez de Mendoza, Amazonas [en línea]. S.l.: s.n. Disponible en: http://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/UNTRM/1015/FIA_176.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- KOCABIYIK, H. y TEZER, D., 2009. Drying of carrot slices using infrared radiation. *International Journal of Food Science and Technology*, vol. 44, no. 5, pp. 953-959. ISSN 09505423. DOI 10.1111/j.1365-2621.2008.01767.x.
- LAO, Y., ZHANG, M., CHITRAKAR, B., BHANDARI, B. y FAN, D., 2019. Efficient Plant Foods Processing Based on Infrared Heating. *Food Reviews International* [en línea], vol. 35, no. 7, pp. 640-663. ISSN 15256103. DOI 10.1080/87559129.2019.1600537. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/87559129.2019.1600537>.
- LEE, E.-H., 2021. *A Review on Applications of Infrared Heating for Food Processing in Comparison to Other Industries* [en línea]. S.l.: Elsevier. ISBN 9780128157824. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.22670-X>.
- LI, K., ZHANG, M., MUJUMDAR, A.S. y CHITRAKAR, B., 2019. Recent developments in physical field-based drying techniques for fruits and vegetables. *Drying Technology* [en línea], vol. 37, no. 15, pp. 1954-1973. ISSN 15322300. DOI 10.1080/07373937.2018.1546733. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/07373937.2018.1546733>.
- LIU, F., CAO, X., WANG, H. y LIAO, X., 2010. Changes of tomato powder qualities during storage. *Powder Technology* [en línea], vol. 204, no. 1, pp. 159-166. ISSN 00325910. DOI 10.1016/j.powtec.2010.08.002. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.powtec.2010.08.002>.

- MAHARAJ, V. y SANKAL, C.K., 1995. A DEHYDRATED PRODUCT FROM THE CULINARY HERB, SHADO BENI (*Eryngium foetidum* Linn.). . S.I.:
- MIRAEI ASHTIANI, S.H., SALARIKIA, A. y GOLZARIAN, M.R., 2017. Analyzing drying characteristics and modeling of thin layers of peppermint leaves under hot-air and infrared treatments. *Information Processing in Agriculture [en línea]*, vol. 4, no. 2, pp. 128-139. ISSN 22143173. DOI 10.1016/j.inpa.2017.03.001. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.inpa.2017.03.001>.
- MORENO-GUARÍN, D., SIERRA-HOYOS, H. y DIAZ-MORENO, C., 2012. Color y textura, características asociadas a la calidad de tomate deshidratado. . Medellín:
- MOHAMED, Amal A. Effect of low dose gamma irradiation on some phytochemicals and scavenger ability of in vitro Culantro (*Eryngium foetidum* L.) plantlets. *Medicinal and Aromatic Plant Science and Biotechnology*, 2009, vol. 3, no 1, p. 32-36.
- NASIROGLU, S. y KOCABIYIK, H., 2009. Thin-layer infrared radiation drying of red pepper slices. *Journal of Food Process Engineering*, vol. 32, no. 1, pp. 1-16. ISSN 01458876. DOI 10.1111/j.1745-4530.2007.00195.x.
- NGUYEN, V.T., VAN VUONG, Q., BOWYER, M.C., VAN ALTENA, I.A. y SCARLETT, C.J., 2015. Effects of Different Drying Methods on Bioactive Compound Yield and Antioxidant Capacity of *Phyllanthus amarus*. *Drying Technology*, vol. 33, no. 8, pp. 1006-1017. ISSN 15322300. DOI 10.1080/07373937.2015.1013197.
- NOWAK, D. y LEWICKI, P.P., 2005. Drying Technology : An Quality of Infrared Dried Apple Slices. *Drying Technology*, vol. 23, no. 4, pp. 831-846.
- PAUL, J.H.A., SEAFORTH, C.E. y TIKASINGH, T., 2011. *Eryngium foetidum* L.: A review. *Fitoterapia [en línea]*, vol. 82, no. 3, pp. 302-308. ISSN 0367326X. DOI 10.1016/j.fitote.2010.11.010. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fitote.2010.11.010>.
- PIRBALOUTI, A.G., MAHDAD, E. y CRAKER, L., 2013. Effects of drying methods on qualitative and quantitative properties of essential oil of two basil landraces. *Food Chemistry [en línea]*, vol. 141, no. 3, pp. 2440-2449. ISSN 18737072. DOI 10.1016/j.foodchem.2013.05.098. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.05.098>.
- PROMKUM, C., BUTRYEE, C., TUNTIPOPIPAT, S. y KUPRADINUN, P., 2012. Anticlastogenic effect of *Eryngium foetidum* L. Assessed by erythrocyte micronucleus assay. *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention*, vol. 13, no. 7, pp. 3343-3347. ISSN 2476762X. DOI 10.7314/APJCP.2012.13.7.3343.

- RAMOS, J.F. y PE, O., 2019. Deshidratación de quinua (vol. 9, no. 2, pp. 99-105).
- RAUNELLI, P., LIVIAC, D., ALVIS, R., PUENTE, S., BEST, I. y REÁTEGUI, O., 2019. Cytoprotective Effect of the *Eryngium foetidum* "Sacha Culantro" Methanolic Leaf Extract versus Sodium Fluoride Exposed Mice using the Micronucleus Test and the Comet Assay. *Pharmacognosy Journal*, vol. 11, no. 3, pp. 461-465. ISSN 09753575. DOI 10.5530/pj.2019.11.72.
- RIADH, M.H., AHMAD, S.A.B., MARHABAN, M.H. y SOH, A.C., 2015. Infrared Heating in Food Drying: An Overview. *Drying Technology*, vol. 33, no. 3, pp. 322-335. ISSN 15322300. DOI 10.1080/07373937.2014.951124.
- SALEHI, F. y KASHANINEJAD, M., 2015. Effect of drying methods on rheological and textural properties, and color changes of wild sage seed gum. *Journal of Food Science and Technology*, vol. 52, no. 11, pp. 7361-7368. ISSN 09758402. DOI 10.1007/s13197-015-1849-5.
- SINGH, B.K., RAMAKRISHNA, Y. y NGACHAN, S. V., 2014. Spiny coriander (*Eryngium foetidum* L.): A commonly used, neglected spicing-culinary herb of Mizoram, India. *Genetic Resources and Crop Evolution*, vol. 61, no. 6, pp. 1085-1090. ISSN 09259864. DOI 10.1007/s10722-014-0130-5.
- SZYDŁOWSKA-CZERNIAK, A., BARTKOWIAK-BRODA, I., KARLOVIĆ, I., KARLOVITS, G. y SZŁYK, E., 2011. Antioxidant capacity, total phenolics, glucosinolates and colour parameters of rapeseed cultivars. *Food Chemistry*, vol. 127, no. 2, pp. 556-563. ISSN 03088146. DOI 10.1016/j.foodchem.2011.01.040.
- TASIRIN, S.M., KAMARUDIN, S.K., GHANI, J.A. y LEE, K.F., 2007. Optimization of drying parameters of bird's eye chilli in a fluidized bed dryer. *Journal of Food Engineering*, vol. 80, no. 2, pp. 695-700. ISSN 02608774. DOI 10.1016/j.jfoodeng.2006.06.030.
- TEZCAN, D., SABANCI, S., CEVIK, M., COKGEZME, O.F. y ICIER, F., 2021. Infrared drying of dill leaves: Drying characteristics, temperature distributions, performance analyses and colour changes. *Food Science and Technology International*, vol. 27, no. 1, pp. 32-45. ISSN 15321738. DOI 10.1177/1082013220929142.
- THI, N. Q. N., et al. Phytochemical Content and Antioxidant activity in aqueous and ethanolic extracts of *Eryngium foetidum* L. En IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing, 2020. p. 012026.

- VELLINGIRI, B., JAYARAMAYYA, K., IYER, M., NARAYANASAMY, A., GOVINDASAMY, V., GIRIDHARAN, B., GANESAN, S., VENUGOPAL, A., VENKATESAN, D., GANESAN, H., RAJAGOPALAN, K., RAHMAN, P.K.S.M., CHO, S.G., KUMAR, N.S. y SUBRAMANIAM, M.D., 2020. COVID-19: A promising cure for the global panic. *Science of the Total Environment* [en línea], vol. 725, pp. 138277. ISSN 18791026. DOI 10.1016/j.scitotenv.2020.138277. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138277>.
- WANYO, P., SIRIAMORNUN, S. y MEESO, N., 2011. Improvement of quality and antioxidant properties of dried mulberry leaves with combined far-infrared radiation and air convection in Thai tea process. *Food and Bioprocess Technology* [en línea], vol. 89, no. 1, pp. 22-30. ISSN 09603085. DOI:10.1016/j.fbp.2010.03.005. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbp.2010.03.005>.
- GIESE, James. *Measuring physical properties of foods*. Food technology (Chicago), 1995, vol. 49, no 2, p. 53-63.
- AGUILERA, José Miguel. *Ingeniería gastronómica*. Ediciones UC, 2014.
- FIGURA, Ludger; TEIXEIRA, Arthur A. *Food physics: physical properties-measurement and applications*. Springer Science & Business Media, 2007.
- BROSNAN, Tadhg; SUN, Da-Wen. Improving quality inspection of food products by computer vision—a review. *Journal of food engineering*, 2004, vol. 61, no 1, p. 3-16.
- BENZIE, Iris FF; STRAIN, John J. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”: the FRAP assay. *Analytical biochemistry*, 1996, vol. 239, no 1, p. 70-76.
- BRAND-WILLIAMS, Wendy; CUVELIER, Marie-Elisabeth; BERSET, C. L. W. T. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food science and Technology*, 1995, vol. 28, no 1, p. 25-30.
- CHÁVEZ, J.; CHIRE, T.; LOAYSA, L. *Curso Principios bioactivos de plantas andinas y amazónicas del Perú. Capacidad antioxidante de compuestos bioactivos*. Facultad de Ciencias, Departamento de Química. UNALM, 2002.
- DRAPER, H. H.; HADLEY, M. [43] Malondialdehyde determination as index of lipid Peroxidation. En *Methods in enzymology*. Academic press, 1990. p. 421-431.
- MATHIAS-RETTIG, K., et al. Color in food as a measurable quality criterion. *Agro Sur*, 2014, vol. 42, no 2, p. 57-66.

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de operacionalización de variables

Variables	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Unidad de medida	
Independiente	Para el secado se utilizó un Deshidratador infrarrojo 3 bandejas Modelo IRCDi3, los parámetros de temperatura y humedad relativa se monitorearon con sensores modelo SHT1X (SHT10).	Temperatura	40°	°C	
			50°	°C	
			60°	°C	
Dependientes	La adquisición de datos para los análisis de cinética de secado se adquiere a través de Celdas de carga, capacidad 5 kg. Instalados para cada bandeja y los datos se almacén en una base de datos del software FIRDRYER.	Cinética de secado	Porcentaje de humedad	%	
			Humedad en base seca	g H ₂ O/g ms	
			Tiempo de secado	minutos	
	Dependientes	Para determinar los índices de color en esta investigación se aplica la técnica de un sistema de visión por computadora usando el software ImageJ con el sistema de medición CIELAB.	Color	Blanco - Negro (L*)	0 a 100
				Rojo – Verde (a*)	-60 a 60
				Amarillo – Azul (b*)	-60 a 60
				Cambio de color (ΔE)	Adimensiona
Dependientes	En esta investigación La actividad antioxidante se determinó por el método DPPH de acuerdo a como propone Brand-Williams, Cuvelier y Berset, (1995) y espectrofotometría.	Actividad antioxidante	IC50	mmol TE/ g muestra	

Anexo 2: Matriz de consistencia

TITULO: EFECTO DE SECADO CON RADIACIÓN INFRARROJO LEJANO EN EL COLOR Y ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DE SACHACULANTRO (*Eryngium foetidum L.*).

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	METODOLOGIA
<p>GENERAL:</p> <p>¿En qué medida influye la temperatura de secado con radiación infrarrojo lejano en la cinética de secado, color y actividad antioxidante del sachaculantro (<i>Eryngium foetidum L.</i>)?</p>	<p>GENERAL:</p> <p>Evaluar la influencia de la temperatura de secado con radiación infrarrojo lejano en la cinética de secado, color y actividad antioxidante del sachaculantro (<i>Eryngium foetidum L.</i>).</p>	<p>GENERAL:</p> <p>La temperatura de secado con radiación infrarrojo lejano a 40, 50 y 60 °C influyen en la cinética de secado, color y actividad antioxidante del sachaculantro (<i>Eryngium foetidum L.</i>).</p>	<p>Variable Independiente:</p> <p>Temperatura de secado con radiación infrarrojo lejano.</p> <p>40 °C; 50 °C y 60 °C</p>	<p>ENFOQUE: Investigación cuantitativa.</p> <p>DISEÑO: Diseño experimental.</p> <p>NIVEL: Investigación explicativo.</p> <p>TIPO: Investigación explicativo aplicada y enfocada en el desarrollo de ciencias fácticas.</p> <p>METODOS: El porcentaje de humedad se determinará aplicando el método gravimétrico porcentual, método 14,003 de la A.O.A.C. (1990). Para determinar los índices de color se aplicará la técnica de un sistema de visión por computadora descrito por Salehi y Kashaninejad, (2015), para los análisis de imágenes se usará el software ImageJ con el sistema de medición CIELAB.</p> <p>La actividad antioxidante por el método DPPH se realizó de acuerdo a como propone Brand-Williams, Cuvelier y Berset, (1995), Y espectrofotometría.</p> <p>TECNICAS INSTRUMENTALES DE MUESTREO: Muestreo no probabilístico por conveniencia.</p> <p>RECOLECCION DE DATOS: La recolección de datos se realizará por observación experimental utilizando una base de datos.</p> <p>PROCESAMIENTO DE DATOS: Para el análisis estadístico de los datos se utilizará el software Rstudio.</p> <p>POBLACION: La población es el fundo ecológico experimental "Benjamín Arizaca R" ubicado en el sector Alta Pastora, provincia y distrito de Tambopata, departamento de Madre de Dios.</p> <p>MUESTRA: Muestra de 10 kg de sachaculantro (<i>Eryngium foetidum L.</i>) realizando un muestreo no probabilístico por conveniencia.</p>
<p>ESPECIFICO:</p> <p>1. ¿En qué medida influye la temperatura de secado con radiación infrarrojo lejano en la cinética de secado del sachaculantro (<i>Eryngium foetidum L.</i>)?</p> <p>2. ¿En qué medida influye la temperatura de secado con radiación infrarrojo lejano en el color del sachaculantro (<i>Eryngium foetidum L.</i>)?</p> <p>3. ¿En qué medida influye la temperatura de secado con radiación infrarrojo lejano en la actividad antioxidante del sachaculantro (<i>Eryngium foetidum L.</i>)?</p>	<p>ESPECIFICO:</p> <p>1. Evaluar la influencia de la temperatura de secado con radiación infrarrojo lejano en la cinética de secado de sachaculantro (<i>Eryngium foetidum L.</i>). E implementar un sistema de adquisición de datos de temperatura, humedad relativa y peso.</p> <p>2. Evaluar la influencia de la temperatura de secado con radiación infrarrojo lejano en los índices de color de sachaculantro (<i>Eryngium foetidum L.</i>).</p> <p>3. Evaluar la influencia de la temperatura de secado con radiación infrarrojo lejano en la actividad antioxidante de sachaculantro (<i>Eryngium foetidum L.</i>).</p>	<p>ESPECIFICO:</p> <p>1. La temperatura de secado con radiación infrarrojo lejano a 40, 50 y 60 °C influyen en la cinética de secado del sachaculantro (<i>Eryngium foetidum L.</i>).</p> <p>2. La temperatura de secado con radiación infrarrojo lejano a 40, 50 y 60 °C influyen en el color del sachaculantro (<i>Eryngium foetidum L.</i>).</p> <p>3. La temperatura de secado con radiación infrarrojo lejano a 40, 50 y 60 °C influyen en la actividad antioxidante del sachaculantro (<i>Eryngium foetidum L.</i>).</p>	<p>Variable Dependiente:</p> <p>1. Cinética de secado.</p> <p>2. Color.</p> <p>3. actividad antioxidante.</p> <p>1.1. Porcentaje de humedad (%).</p> <p>1.2. Humedad en base seca (g H₂O/g ms).</p> <p>1.3. Tiempo de secado (minutos).</p> <p>2.1. Blanco - Negro (L*)</p> <p>2.2. Rojo – Verde (a*)</p> <p>2.3. Amarillo – Azul (b*)</p> <p>2.4. Cambio de color (ΔE)</p> <p>3.1. IC50: mmolTE/g y % de actividad antioxidante.</p>	

Anexo 3: Análisis de varianza para L*

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	Valor de F	Probabilidad
Temperatura	2	43,93	21,967	1727	5,22e-09
Residuales	6	0,08	0,013		
Total	8	44,01			

Anexo 4: Prueba de Tukey para L*

Contrastes	Diferencia de medias	Intervalos mínimos	Intervalos máximos	Probabilidad
50 °C - 40 °C	-4,553	-4,836	-4,271	0,000000
60 °C - 40 °C	-4,810	-5,093	-4,527	0,000000
60 °C - 50 °C	-0,257	-0,539	0,026	0,070967

Anexo 5: Análisis de varianza para a*

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	Valor de F	Probabilidad
Temperatura	2	751,5	375,8	415,9	3,67e-07
Residuales	6	5,4	0,9		
Total	8				

Anexo 6: Prueba de Tukey para a*

Contrastes	Diferencia de medias	Intervalos mínimos	Intervalos máximos	Probabilidad
50 °C - 40 °C	11,770	9,389	14,151	1,24e-05
60 °C - 40 °C	22,373	19,992	24,755	5,00e-07
60 °C - 50 °C	10,603	8,222	12,985	2,34e-05

Anexo 7: Análisis de varianza para b*

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	Valor de F	Probabilidad
Temperatura	2	388,4	194,2	194,2	3,52e-06
Residuales	6	6,0	1,0		
Total	8				

Anexo 8: Prueba de Tukey para b*

Contrastes	Diferencia de medias	Intervalos mínimos	Intervalos máximos	Probabilidad
50 °C - 40 °C	-5,02	-7,525	-2,515	2,06e-03
60 °C - 40 °C	-15,75	-18,255	-13,245	2,80e-06
60 °C - 50 °C	-10,73	-13,235	-8,225	2,94e-05

Anexo 9: Análisis de varianza para ΔE^*

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	Valor de F	Probabilidad
Temperatura	2	1030,0	515,2	515,2	1,94e-07
Residuales	6	6,0	1,0		
Total	8				

Anexo 10: Prueba de Tukey para ΔE^*

Contrastes	Diferencia de medias	Intervalos mínimos	Intervalos máximos	Probabilidad
50 °C - 40 °C	12,00	9,495	14,505	1,51e-05
60 °C - 40 °C	26,18	23,675	28,685	3,00e-07
60 °C - 50 °C	14,18	11,675	16,685	5,30e-06

Anexo 11: Análisis de varianza para actividad antioxidante

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de cuadrados	Valor de F	Probabilidad
Temperatura	3	75,34	25,114	12928	4,45e-15
Residuales	8	0,02	0,002		
Total	11				

Anexo 12: Prueba de Tukey para actividad antioxidante

Contrastes	Diferencia de medias	Intervalos mínimos	Intervalos máximos	Probabilidad
40 °C - Fresco	-6,274	-6,389	-6,159	0,0000
50 °C - Fresco	-5,980	-6,095	-5,864	0,0000
60 °C – Fresco	-4,320	-4,435	-4,204	0,0000
50 °C - 40 °C	0,294	0,179	0,409	0,0001
60 °C – 40 °C	1,954	1,839	2,069	0,0000
60 °C – 50 °C	1,659	1,544	1,775	0,0000

Anexo 13: Parametros de secado por cada bandeja.

Parámetros	Promedio	Desv. Estándar	Máximo	Mínimo
T° bandeja 1(°C)	40,73	0,55	41,70	39,50
T° bandeja 2(°C)	50,48	0,74	51,90	49,30
T° bandeja 3(°C)	59,32	0,54	60,40	58,30
HR bandeja 1(%)	52,27	4,08	63,70	46,10
HR bandeja 2(%)	35,55	2,92	41,40	29,70
HR bandeja 3(%)	28,16	1,89	32,30	25,70
T° ambiente(°C)	29,75	0,17	30,05	29,46
HR ambiente(%)	77,30	1,47	80,54	74,23

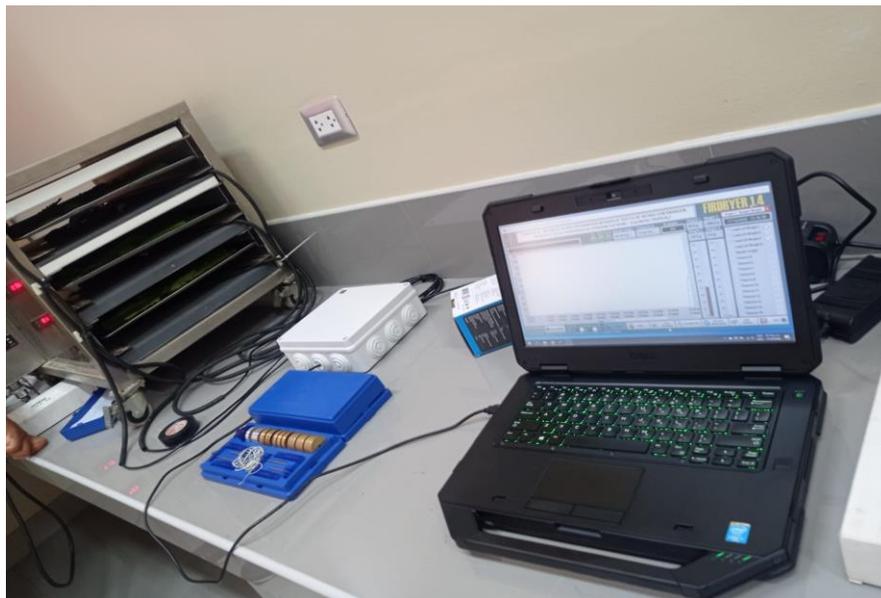
Anexo 14: Acondicionamiento de las muestras de sachaculantro.



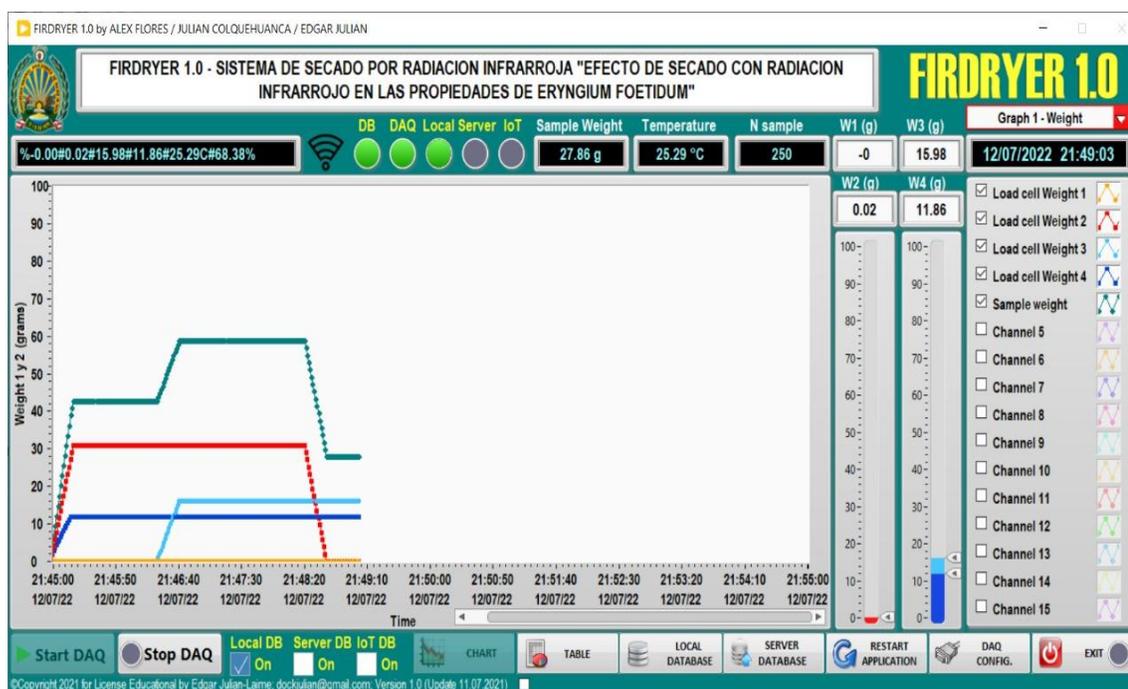
Anexo 15: Pesado de las muestras de sachaculantro.



Anexo 16: Secado de las muestras con radiación infrarroja lejano



Anexo 17: Captura de datos (peso, temperatura y humedad relativa) con el software FIRDRYER.



Anexo 18: Muestras secadas con radiación infrarrojo lejano.



Anexo 19: Captura de imágenes de las muestras para análisis de color



40 °C

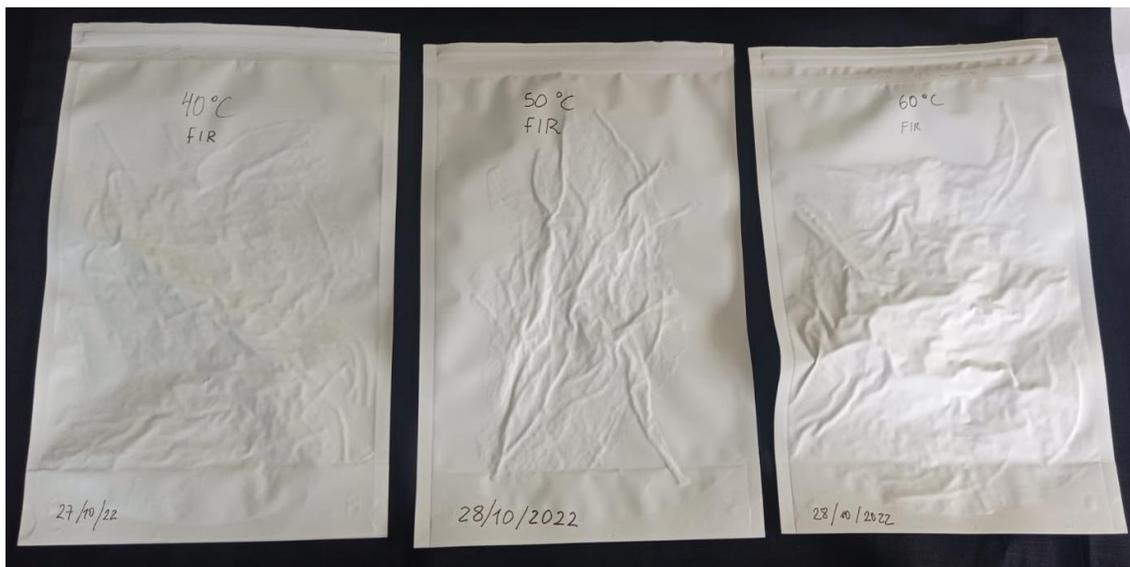


50 °C

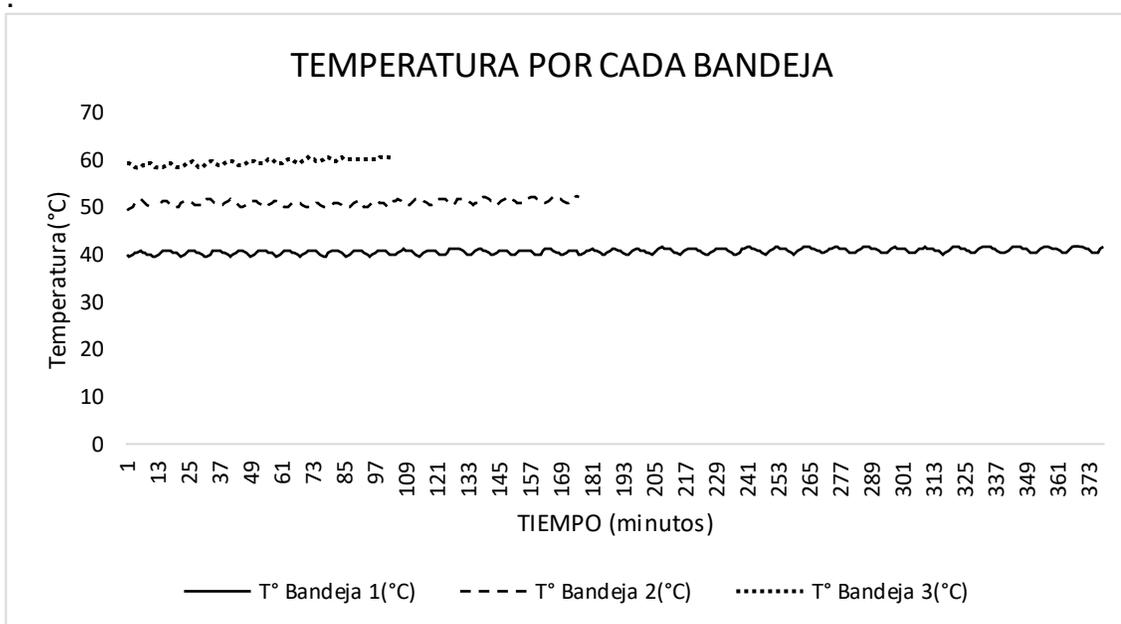


60 °C

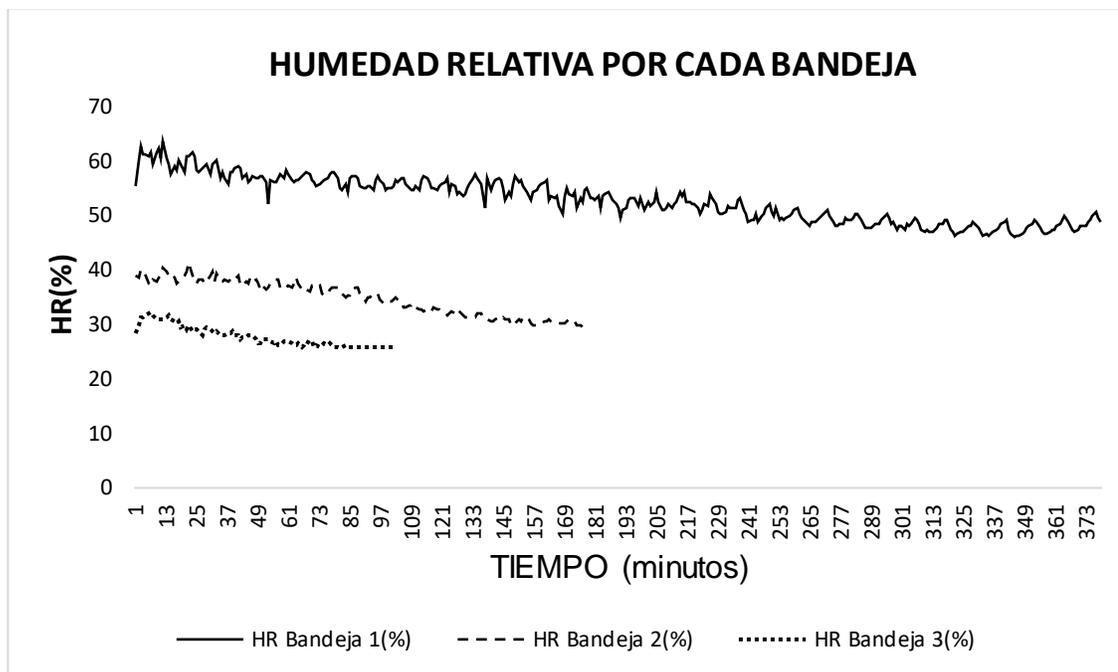
Anexo 20: Muestras selladas al vacío en bolsas trilaminadas.



Anexo 21: Curva de temperatura por cada tratamiento, durante el secado de sachaculantro con radiación infrarroja.



Anexo 22: Curva de humedad relativa por cada tratamiento, durante el secado de sachaculantro con radiación infrarrojo.



Anexo 23: Curva de parametros del medio ambiente.

