

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA



FACULTAD DE CIENCIAS DE LA TIERRA

CARRERA INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO DE**

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

TEMA

**“Aplicación del proceso de secado con energías alternativas (luz
infrarroja y halógena) en materiales biológicos como orégano (*origanum
vulgare l*) y menta (*mentha piperita l*)”.**

AUTORA

Jeen Paulina Martínez Santin

TUTOR

Dr. Amaury Pérez Martínez

PUYO - ECUADOR

Febrero, 2020

DECLARACIÓN DE AUDITORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Los criterios emitidos en el proyecto de investigación: “APLICACIÓN DEL PROCESO DE SECADO CON ENERGÍAS ALTERNATIVAS (LUZ INFRARROJA Y HALÓGENA) EN MATERIALES BIOLÓGICOS COMO ORÉGANO (*Origanum vulgare L*) Y MENTA (*Mentha piperita L*)”, así como también los contenidos, ideas, experimento, conclusiones y recomendaciones son de exclusiva responsabilidad personal, como autora de este trabajo de grado.

Autora

Jeen Paulina Martínez Santin

C.I. 2101124937

CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Por medio del presente, Amaury Pérez Martínez con CI: 1757150766 y Galo Cerda Mejía con CI: 1804628871 certificamos que Jeen Paulina Martínez Santin egresada de la Carrera de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Estatal Amazónica, realizó el Proyecto de investigación titulado: “APLICACIÓN DEL PROCESO DE SECADO CON ENERGÍAS ALTERNATIVAS (LUZ INFRARROJA Y HALÓGENA) EN MATERIALES BIOLÓGICOS COMO ORÉGANO (*Origanum vulgare L*) Y MENTA (*Mentha piperita L*)”, previo a la obtención del título de Ingeniero Agroindustrial bajo nuestra supervisión.

Dr. Amaury Pérez Martínez

MSc. Galo Cerda Mejía



UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND



Oficio No. 09-SAU-UEA-2020

Puyo, 09 de enero de 2020

Por medio del presente **CERTIFICO** que:

El Proyecto de Investigación correspondiente al egresado MARTINEZ SANTIN JEEN PAULINA con C.I. 2101124937 con el Tema: “**Aplicación del proceso de secado con energías alternativas (luz infrarroja y halógena) en materiales biológicos como orégano (*Origanum vulgare* L) y menta (*Mentha piperita* L)**”, de la carrera, Ingeniería Agroindustrial. Director de proyecto PhD. Amaury Pérez Martínez, ha sido revisado mediante el sistema antiplagio URKUND, reportando una similitud del 2%, Informe generado con fecha 09 de enero de 2020 por parte del director, conforme archivo adjunto.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes

Atentamente,

Ing. Italo Marcelo Lara Pilco MSc.
ADMINISTRADOR DEL SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND – UEA - .

Urkund Analysis Result

Analysed Document: correjdo 7 v4.docx (D62088191)
Submitted: 1/9/2020 3:52:00 PM
Submitted By: amperez@uea.edu.ec
Significance: 2 %

Sources included in the report:

ANTEPROYECTO TRABAJO 2 JENNY.docx (D13588983)
SECADO DE ARRACACHA.docx (D50032353)
TESIS 3ra Reunión.docx (D19752948)
<https://www.bibliotecasdelecuador.com/Record/oai:localhost:51000-653/Description>
<http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/10893/4165/4/CB-0460922.pdf>
http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/46496/Documento_completo.pdf?sequence=3&isAllowed=y
<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/43771/VUARANT%20-%20Optimizaci%C3%B3n%20del%20proceso%20de%20secado%20de%20ar%C3%A1ndanos%20por%20infrarrojos..pdf?sequence=1>
<https://www.slideshare.net/davidamaorojas/03-agi-273-tesis>
<https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/627/1/T-ESPE-014804.pdf>

Instances where selected sources appear:

CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

El tribunal de sustentación de proyecto de investigación aprueba el proyecto de investigación titulado: **“APLICACIÓN DEL PROCESO DE SECADO CON ENERGÍAS ALTERNATIVAS (LUZ INFRARROJA Y HALÓGENA) EN MATERIALES BIOLÓGICOS COMO ORÉGANO (*Origanum vulgare L*) Y MENTA (*Mentha piperita L*)”**.

MSc. Franklin Villafuerte

Presidente del Tribunal

MSc. Aida Romero

Miembro del Tribunal

MSc. Alberto Vélez

Miembro del Tribunal

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer primero a Dios por la vida, salud y por la sabiduría concedida en todo el transcurso de mi carrera.

A la Universidad estatal amazónica, en especial a la Facultad de Ingeniería Agroindustrial y profesores en donde cuyas aulas han formado nuestros pensamiento e intelecto de manera profesional.

Al doctor Amaury Pérez Martínez y MSc. Galo Cerda directores de tesis, por el acompañamiento, paciencia, consejos y dirección durante el desarrollo de este trabajo, de la misma manera a la Ingeniera Andrea Tapuy e Ingeniero José Antonio Escobar por su comprensión, compañía, amistad, aporte y guía en la parte experimental desarrollados en los laboratorios de química y física.

A mis padres y familiares por su apoyo, confianza y consejos que a lo largo de mi vida me ayudaron a superar dificultades y tropiezos.

A mis jefes Sr. Marlon Ramos y Sra. Yolanda Palacios que han sido parte fundamental durante mi carrera y en mi vida que más que amigos han sido como padres apoyándome día a día, por sus consejos y cariño.

A mis amigos Amparo, Jipson, Diego y compañeros por sus ánimos y experiencia compartida durante este transcurso.

Gracias a todos

Mira que te mando que te esfuerces y sean Valiente; no temas ni desmayes, porque Jehová tu Dios estará contigo dondequiera que vayas

Josué 1:9

DEDICATORIA

*A Dios por haberme concedido la vida y a ver podido realizar mis estudios
cumpliendo uno de mis más grandes anhelos.*

*A mis padres, Gloria Santin y Tito Martínez, quienes, con sus sacrificios, amor y
constancia, inculcaron en mí el respeto, lealtad y amor al prójimo, guiándome así
por el camino al éxito.*

A mis hermanos Tatiana, Eddy y Stalin por su cariño, consejos y apoyo constante.

*A mis tutores Amaury Pérez y Galo Cerda por brindarme sus conocimientos y apoyo
para culminar con éxito este proyecto de investigación.*

*A mi amiga lady Katherine Panimboza, que más que una amiga ha sido como una
hermana siempre aconsejándome y guiándome por el camino correcto.*

Jeen Paulina Martínez S.

RESUMEN EJECUTIVO

El secado es un método aplicado con la finalidad de conservar los productos y prolongar su vida útil, de tal manera que actualmente se emplean métodos más sofisticados como la luz infrarroja y halógena el cual tiene como ventaja la reducción de costos de operación. El objetivo de esta investigación fue estudiar el proceso de secado con luz infrarroja y halógena en el orégano (*Origanum vulgare L*) y menta (*Mentha piperita L*). Las temperaturas se mantuvieron estables desde 30 a 40°C a distintas alturas durante la exposición en la lámina, con la finalidad de evitar pérdidas de compuestos volátiles. Se determinó el comportamiento del gradiente de temperatura de las dos fuentes de energía con la aplicación el programa SolidWorks, el cual da a conocer la distancia y el ángulo que se forma en cada anillo. El contenido de humedad se determinó utilizando el método por estufa obteniendo como resultado 86,98% en la menta y 77,32% en el orégano, sin embargo, para el contenido de humedad retirada en la muestra seca expuestas a la luz infrarroja y halógena se obtuvo el mejor resultado con luz infrarrojo 30°C y el orégano en luz halógena a 40°C con tiempos de 48-96 horas. El contenido de polifenoles totales se llevó a cabo utilizando el método de folin-Ciocalteu obteniendo como mejor resultado para el orégano de 606,62 mg AG/g y en la menta de 748,62 mg AG/g de muestras secas.

Palabras claves: energías alternas, menta, orégano, material biológico, humedad.

ABSTRACT

Drying is a method applied with the purpose of preserving the products and prolonging their useful life, so that nowadays more sophisticated methods are used such as infrared and halogen light which has the advantage of reducing operating costs. The objective of this research was to study the drying process with infrared and halogen light on oregano (*Origanum vulgare* L) and mint (*Mentha piperita* L). Temperatures were kept stable from 30 to 40°C at different heights during exposure in the film, in order to avoid losses of volatile compounds. The behavior of the temperature gradient of the two energy sources was determined with the application of the SolidWorks program, which reveals the distance and angle formed in each ring. The moisture content was determined using the oven method, resulting in 86.98% in the mint and 77.32% in the oregano. However, for the moisture content removed in the dry sample exposed to infrared and halogen light, the best result was obtained with 30°C infrared light and the oregano in halogen light at 40°C with times of 48-96 hours. The total polyphenol content was carried out using the folin-Ciocalteu method obtaining as best result for oregano 606.62 mg AG/g and in mint 748.62 mg AG/g of dry samples.

KEYWORDS: alternate energies, mint, oregano, biological material, moisture.

TABLA DE CONTENIDO

CAPITULO I.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 PLANTAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	3
1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	4
1.4 OBJETIVOS.....	4
1.4.1 <i>Objetivos generales</i>	4
1.4.2 <i>Objetivos específicos</i>	4
CAPITULO II.....	5
2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	5
2.1 DEFINICIÓN DE SECADO.....	5
2.1.1 <i>Condiciones de secado</i>	5
2.1.2 <i>Tipos de Secadores</i>	8
2.2 FUENTES DE ENERGÍAS.....	10
2.2.1 <i>Energía solar</i>	10
2.2.2 <i>Calor</i>	11
2.2.3 <i>Lámparas infrarrojas</i>	12
2.2.4 <i>Luz halógena</i>	14
2.3 PLANTAS AROMÁTICAS.....	14
2.3.1 <i>Orégano</i>	15
2.3.2 <i>Menta</i>	15
CAPITULO III.....	17
3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	17
3.1 LOCALIZACIÓN.....	17
3.1.1 <i>Condiciones meteorológicas</i>	17
3.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	17
3.3 MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN.....	17
3.3.1 <i>Determinación del contenido de humedad del material biológico húmedo (orégano y menta)</i> 18	
3.3.2 <i>Montaje de la instalación experimental</i>	19
3.3.3 <i>Proceso de Secado del material biológico</i>	20
3.3.4 <i>Determinación del contenido de humedad retirado del material biológico después del secado</i> 21	

CAPITULO IV	22
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	22
4.1 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DEL MATERIAL BIOLÓGICO HÚMEDO.....	22
4.2 DISEÑO Y EJECUCIÓN DEL EXPERIMENTO	22
4.3 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD RETIRADO DEL MATERIAL BIOLÓGICO DESPUÉS DEL SECADO	29
CAPITULO V.....	49
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	49
5.1 CONCLUSIONES	49
5.2 RECOMENDACIONES	49
CAPITULO VI.....	50
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50
CAPITULO VII.....	54
7. ANEXOS	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Temperaturas y tiempos de secado para diferentes alimentos -----	5
Tabla 2. Clasificación taxonómica del orégano -----	15
Tabla 3. Clasificación taxónoma de la menta -----	16
Tabla 4. Condiciones meteorológicas de la provincia de Pastaza. -----	17
Tabla 5. Características físicas del material biológico húmedo. -----	22
Tabla 6. Características físicas de la menta en las dos fuentes de energía. -----	22
Tabla 7. Determinación del ángulo de incidencia en los gradientes para las dos fuentes de energía a las dos temperaturas de trabajo. -----	27
Tabla 8. Promedio de reducción del peso del material biológico seco según la curva de secado para las dos fuentes de estudio. -----	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Representación de los mecanismos de transferencia de calor en convección, conducción y radiación. -----	7
Figura 2. Longitudes de onda de la luz solar. -----	11
Figura 3. Espectro de ondas electromagnéticas: corta, media y larga. -----	12
Figura 4. Representación gráfica de la extinción de la radiación (absorción, transmisión y reflexión). -----	13
Figura 5. Longitud de onda de la luz halógeno -----	14
Figura 6. Diagrama de flujo para llevar a cabo en el proyecto de investigación. -----	18
Figura 7. Instalación experimental -----	19
Figura 8. Diseño de la malla y Medición de la altura y temperatura. -----	20
Figura 9. Ubicación y codificación de las muestras. -----	21
Figura 10. Comportamiento de la temperatura en la malla para las dos fuentes de energía a las dos temperaturas de trabajo. (A) Infrarrojo 30°C, (B) infrarrojo 40°C, (C) halógeno 30°C, (D) halógeno 40°C. -----	24
Figura 11. Gradientes de temperaturas con las dos fuentes de energía a las dos temperaturas de trabajo. (A) Luz infrarroja 30°C, (B) luz infrarroja 40°C, (C) luz halógena 30°C, (D) luz halógena 40°C. -----	26
Figura 12. Color de las muestras frescas y secas. -----	28
Figura 13. Semiquebradizo de la muestra seca. -----	28
Figura 14. Curvas de secado en la menta expuestas a luz infrarroja a 30°C. (A) Anillo rojo, (B) anillo amarillo, (C) anillo verde, (D) anillo azul-----	30
Figura 15. Curvas de secado en la menta expuesta a luz infrarroja a 40°C. (A) Anillo rojo, (B) anillo amarillo, (C) anillo verde, (D) anillo azul. -----	32
Figura 16. Curvas de secado en la menta expuesta a luz halógena a 30°C. (A) Anillo rojo, (B) anillo amarillo, (C) anillo verde, (D) anillo azul. -----	34
Figura 17. Curvas de secado en la menta expuesta a luz halógena a 40°C. (A) Anillo rojo, (B) anillo amarillo, (C) anillo verde, (D) anillo azul. -----	35
Figura 18. Curvas de secado del orégano expuesto a luz infrarroja a 30°C. (A) Anillo rojo, (B) anillo amarillo, (C) anillo verde, (D) anillo azul. -----	37
Figura 19. Curvas de secado del orégano expuesto a luz infrarroja a 40°C. (A) Anillo rojo, (B) anillo amarillo, (C) anillo verde, (D) anillo azul. -----	39

Figura 20. Curvas de secado del orégano expuesto a luz halógena a 30°C. (A) Anillo rojo, (B) anillo amarillo, (C) anillo verde, (D) anillo azul. -----	40
Figura 21. Curvas de secado del orégano expuesto a luz halógena a 40°C. (A) Anillo rojo, (B) anillo amarillo, (C) anillo verde, (D) anillo azul. -----	42
Figura 22. Contenido de humedad retirado después del secado de las muestras de menta para las dos fuentes de energía a las dos temperaturas de trabajo. (A) Infrarrojo 30°C, (B) infrarrojo 40°C, (C) halógeno 30°C, (D) halógeno 40°C. -----	45
Figura 23. Contenido de humedad retirado después del secado de las muestras de orégano para las dos fuentes de energía a las dos temperaturas de trabajo. (A) Infrarrojo 30°C, (B) infrarrojo 40°C, (C) halógeno 30°C, (D) halógeno 40°C. -----	47
Figura 24. Concentración de compuesto fenólicos en el material biológico seco en las dos fuentes de energía. -----	48

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Características físicas de la menta en las dos fuentes de energía. -----	54
Anexo 2. Características físicas del orégano en las dos fuentes de energía. -----	55
Anexo 3. Tiempo de secado en la menta con luz infrarroja 30°C -----	56
Anexo 4. Tiempo de secado en la menta con luz infrarroja 40°C -----	57
Anexo 5. Tiempo de secado en la menta con luz halógena 30°C -----	58
Anexo 6. Tiempo de secado en la menta con luz halógena 40°C -----	59
Anexo 7. Tiempo de secado del orégano con luz infrarroja 30°C -----	60
Anexo 8. Tiempo de secado del orégano con luz infrarroja 40°C -----	61
Anexo 9. Tiempo de secado del orégano con luz halógena 30°C -----	62
Anexo 10. Tiempo de secado del orégano con luz halógena 40°C -----	63
Anexo 11. Porcentajes de humedad en la menta, en las dos fuentes de energía a temperatura de 30 a 40°C -----	64
Anexo 12. Porcentajes de humedad del orégano, en las dos fuentes de energía a temperatura de 30 a 40°C -----	66
Anexo 13. Absorbancias de las muestras a 760nm -----	68

CAPITULO I

1. INTRODUCCIÓN

El secado es una operación unitaria de la ingeniería química, que posiblemente fue una de las primeras en épocas antiguas, más comunes y diversas en sectores industriales, agrícolas y farmacéuticos (Menéndez y Moreno, 2017). Por lo general, no todas las tecnologías de secado son óptimas en cuanto a la cantidad de energía que se consume, la capacidad de controlar las fallas del proceso, la calidad del producto final y la seguridad e impacto ambiental que esta pueda producir. Las nuevas tecnologías de secado cada día van cambiando por las desventajas que se dieron en sus primeras creaciones, debido a esto se han ido mejorando con la aplicación de suministros de calor a través de infrarrojo para optimizar tiempos de secado (Jangam, Law, y Mujumdar, 2011).

El secado consiste en la separación del sólido de manera parcial o total de la humedad que posee el producto, con el objetivo de conservarlo, ya que reduce el contenido de agua o de otro solvente, obteniendo valores aceptables para la industria a la cual está destinada (McCabe, Smth, y Harriott, 1998). El secado tiene como propósito prolongar la vida útil del producto, reducir el peso y aumentar su estabilidad, sin embargo gran parte de los métodos tradicionales destinados al secado de materiales sólidos son costosos, por lo cual en el mercado no se encuentran productos de bajo costo y por ende de excelente calidad (Tirado, Correa, y Montero, 2016). Por lo tanto, los productos tales como frutas y verduras que son sometidos a un método de secado se ven afectados en la calidad causando que los nutrientes y propiedades fisicoquímicas puedan ser volatilizados por causa de la sensibilidad al calor (Tirado et al., 2016).

Las tecnologías que combinan sistemas de secado infrarrojo y convectivo son más eficientes, en transferencia de masa y calor, optimización en tiempos de secado con costos de energía reducidos, teniendo mejoras de calidad en el producto tanto de grado alimenticio como no alimenticio (Kocabiyik, Pan, y Atungulu, 2011). Los secadores con infrarrojos tienen como ventaja temperaturas estables por aire caliente, reduciendo el tiempo de secado y acelerando el calentamiento interno del producto (Vuarant, 2013).

El producto final se caracteriza por ser de excelente calidad, dado a que las temperaturas a las cuales son sometidas se mantienen estables, por esta razón se hará una investigación previa para el secado aplicándolo en materiales biológicos de plantas aromáticas tales como

la menta y el orégano. Los materiales biológicos se los define como multifuncionales que poseen varias propiedades, que pueden proceder de un ser vivo (Calafat, 2001).

Ecuador se caracteriza por ser un país diverso en plantas medicinales descubriéndose alrededor de 500 especie, y tan solo 288 son registradas por ser más utilizadas, sin embargo, solo se comercializan 125 especies. Estudios realizados recientemente permiten conocer información científica de las propiedades químicas y de cómo obtener o transformar la materia prima para mejorar la demanda del producto (Turismo., 2010).

Las plantas recién cosechadas poseen una gran cantidad de agua en todas sus estructuras principalmente en las hojas con un 60 y 90%. Este contenido de agua es importante ya que es vehículo fundamental para la proliferación de bacterias y hongos (Muñoz, 2002).

El escritor Fernando Muñoz (2002), prescriba que la temperatura de secado en épocas antiguas se preconizaba a 30 y 60°C para plantas medicinales, mientras que flores y hojas de 20 a 40°C, sin embargo, para la conservación de los principios activos se estima que deberá de ser de 25 a 30°C, considerándose que el secado expuesto a rayos infrarrojos en plantas medicinales puede alterar los principios activos.

Las plantas aromáticas o medicinales el hombre las utiliza por sus características organolépticas que poseen, transmitiendo a los alimentos y bebidas, aroma, sabor y color, haciéndolos más exquisitos para el paladar, estas también pueden ser utilizadas como condimentarías para procesos industriales alimenticios (Muñoz, 2002). Las plantas aromáticas están constituidas de 0,66% de principios activos de esencia, en relación a la planta medicinal (Muñoz, 2002).

Las plantas medicinales pueden estar sometidas a temperaturas de 30 a 40°C, ni mayores ni menores ya que esto produciría una pérdida total del producto, con llevando a la quema del producto o como fuente de crecimiento microbiano, perdidas de calidad en cuanto al sabor y propiedades de la misma, por ende, esta debe tener un secado óptimo para alcanzar el grado de humedad requerido para el almacenamiento y transporte (Muñoz, 1996).

Las partes de las plantas deberán secarse perfectamente hasta alcanzar el porcentaje de humedad óptimo con el fin de que al momento de almacenar y transportar esta no se vea afectada en su color y fragancia (Muñoz, 1996).

Las plantas cultivadas en forma consecutivas deber procurar ser secadas a temperaturas moderadas aplicando energía solar o aire caliente generado por electricidad, las temperaturas

de secado tienen que estar por debajo de 100°F (37°C), sin embargo, las flores y especias deben de ser sometidas a temperaturas menores para evitar pérdidas de aceites volátiles (Bedón, 2006).

El secado por infrarrojo es uno de los métodos más estudiados y aplicados a numerosos productos como vegetales, granos, frutas, entre otros. Actualmente se han realizado trabajos de carácter científico aplicando secados con infrarrojo para numerosos productos alimenticios tales como Jitomates deshidratados (Gómez, Mosqueda, Juárez, y Sosa, 2016), descartes de limón (Puentes, Echegaray, Castro, y Di Scala, 2013), pulpa de mango (Ocampo, 2006).

La luz halógena se caracteriza por ser incandescente compuesta de filamentos de tungsteno ubicado dentro de un gas inerte con pequeñas cantidades de halógeno de yodo y bromo, el cual refleja una luz nítida y clara, esta luz soporta calores extremos, emitiendo hasta el 30% de luz (Chinen, 2014). La luz halógena se ha usado como estudio para el contenido de humedad para matrices alimentarias considerándose no invasivo, preciso y rápido, disminuyendo los gastos energéticos (Tirado, Correa, y Montero, 2015).

Estudios realizados científicamente por los autores Fernández, Gruital, Zelaya, y Martínez, (2013), sobre la aplicación de secado con luz halógena en granos de maíz nixtamalizados obtuvo una temperatura de 50°C por 2 horas con el fin de reducir el grado de humedad del maíz que puedan ser destinados para la molienda húmeda o seca.

1.1 PLANTAMIENTO DEL PROBLEMA.

El proceso de secado de forma natural es tardío y delicado, ya que de ello depende el desarrollo de reacciones enzimáticas que concentran el contenido fenólico y aceites esenciales. Este tipo de proceso tiene como desventajas la proliferación de microorganismos, cambio de color, sabores no agradables para el consumidor y mayor tiempo de secado en temporadas de lluvias o días nublados, para esto se establece temperaturas de 30 a 40°C el cual no destruye los compuestos volátiles de las hierbas aromáticas.

1.2 JUSTIFICACIÓN.

En Ecuador el consumo de hierbas aromáticas es tradicional siendo comercializadas sin ningún tratamiento previo, afectando la vida útil del producto. Estas plantas son utilizadas en gran manera por su contenido de aceites esenciales, sin embargo, en algunas industrias se

usan por su agente curativo y aromatizante aplicando procesos de conservación para los principios activos.

La humedad es un parámetro no favorable para productos secos, por lo tanto, las industrias aplican diferentes tipos de secados con el objetivo de fomentar la exportación de estos productos no mitológicos, y por ende disminuyendo los costos de operación. Mediante esta investigación se realizó el secado de estos dos materiales biológicos aplicando luz infrarrojo y halógeno con el fin de conservar sus principios activos y reducir su contenido de humedad aplicando temperaturas de 30 a 40°C.

1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo influye la variabilidad de la temperatura en el proceso de secado del orégano (*Origanum vulgare L*) y menta (*Mentha piperita L*)?

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivos generales

Aplicar un proceso de secado con energías alternativas (luz infrarroja y halógena) en materiales biológicos como orégano (*Origanum vulgare l*) y menta (*Mentha piperita l*).

1.4.2 Objetivos específicos

1. Determinar el contenido de humedad de los materiales biológicos húmedos como orégano y menta.
2. Realizar el secado del material biológico utilizando diferentes fuentes de energías alternativas (luz infrarrojo y halógeno).
3. Determinar el contenido de humedad retirado de los materiales biológicos después del secado.

CAPITULO II

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.

2.1 DEFINICIÓN DE SECADO

El secado se considera un proceso de intercambio de calor y masa, implicando la transferencia del líquido procedente de un sólido húmedo a una fase gaseosa saturada, para lo cual el material húmedo es atravesado con una corriente de aire con restricciones de temperatura, velocidad y humedad (AGRO, 2013).

El secado es un método de conservación que prolonga la vida útil de toda la gama de productos, por esta razón se debe tener en cuenta el tipo de secado, la cantidad de la materia prima y diseño del equipo. Este proceso permite la reducción de masa y volumen beneficiando el envasado, almacenado y distribuido (Aguilar, 2012).

En la Tabla 1 se describe las temperaturas y tiempos que se deben emplear en el proceso de secado aplicado a alimentos tales como frutas, verduras, hierbas y especias, pescado y carne.

Tabla 1. Temperaturas y tiempos de secado para diferentes alimentos

Alimento	Temperaturas	Tiempos
Hierbas y especias	30 – 40 °C	4 – 6 h
Verduras	55 °C	6 – 10 h
Frutas	55 °C	8 – 10 h
Carnes y pescados	60 °C	4 – 6 h

Fuente: (Ezidri., 2018)

El secado puede contener más de 2,5% de contenido de humedad, sin embargo, el deshidratado contiene menos de 2,5% de humedad. El código alimentario también lo define como: “frutos desecados son los que se someten a secado en condiciones ambientales naturales y frutos deshidratados son los que se han sometido principalmente a la acción del calor artificial por empleo de distintos procesos controlados, para privarlos de la mayor parte del agua que contienen” (Vuarant, 2013).

2.1.1 Condiciones de secado

En la guía secado solar (AGRO, 2013) manifiesta que las condiciones de secado son muy importantes ya que estas definen la calidad del producto final, debiéndose tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- Condiciones del producto: contenido inicial y final de la humedad a obtener del producto, teniendo en cuenta el estado físico como la superficie, forma y tamaño.

- Condiciones meteorológicas: la temperatura, velocidad del viento, humedad relativa, precipitación, entre otros.
- Condiciones del secador: la cantidad del material y el tipo de secador.

Temperatura de secado

El autor (Muñoz, 1996) manifiesta que para el secado de plantas medicinales o aromáticas se emplea temperaturas medias de 30 a 40°C, mientras que a temperaturas de 20 a 40°C son sometidas las flores, hojas y órganos más frágiles, pero para la conservación de los principios activos se recomienda temperaturas de 25 a 30°C con la aplicación de una fuerte ventilación.

Según el manual (Fundación Celestina, 2005) especifica que para los secaderos solares el tiempo de secado dependen de:

- Tipo de producto (mayor contenido de agua, mayor tiempo).
- Tamaño de los trozos del producto (más grande, menor tiempo).
- Velocidad del aire (más elevada, menor tiempo).
- Temperatura del aire (más elevada, menor tiempo).
- Humedad relativa del aire (más elevada, menor tiempo).

Ventajas

Según (Rojas, 2014) manifiesta que el secado de manera industrial es muy importante para la fabricación de cualquier producto, ya que de esta manera se puede obtener un producto vendible, obteniendo como ventaja las siguientes pautas:

- Prolonga la vida útil en anaquel.
- El secado crea una capa protectora exterior que evita la penetración de bacterias y microorganismos que deterioran el alimento.
- Es aplicable a cualquier alimento.
- A temperaturas adecuadas mantiene las propiedades nutricionales del alimento.
- Menor espacio de almacenamiento, manipulación y transporte.

Desventaja

El material biológico secado inadecuadamente mediante un tratamiento de secado produce daño y deterioro en la calidad de los productos teniendo en cuenta las siguientes desventajas (Ochoa, 2018).

- Endurecimiento. - es producido por la exposición de velocidad de secado cuando es muy alta, formando una capa interior húmeda y una capa exterior seca e impermeable impidiendo el secado y evaporación.
- Deshidratación química. – es la eliminación del agua contenida en la estructura molecular del producto, producido por la alta velocidad de secado.
- Desnaturalización. – alteración de las proteínas en el producto.

El secado conlleva cambios químicos, físicos y sensoriales en el alimento, por eso se debe tomar en cuenta la severidad del método de secado estos cambios pueden ser en el sabor, textura, color, valor nutritivo entre otros (Bruno, Delgadillo, y Rivas, 2015).

El secado libera de la superficie del sólido el contenido de agua transformándola en vapor en condiciones externas de flujo, temperatura, área de superficie del material, humedad del aire y presión. La transferencia de energía ocurre por medio de convección, conducción y radiación o por combinación (Ratti y Mujumdra, 2006).

En la siguiente ilustración se especifica de manera gráfica la transferencia de energía por medio de la convección, conducción y radiación.

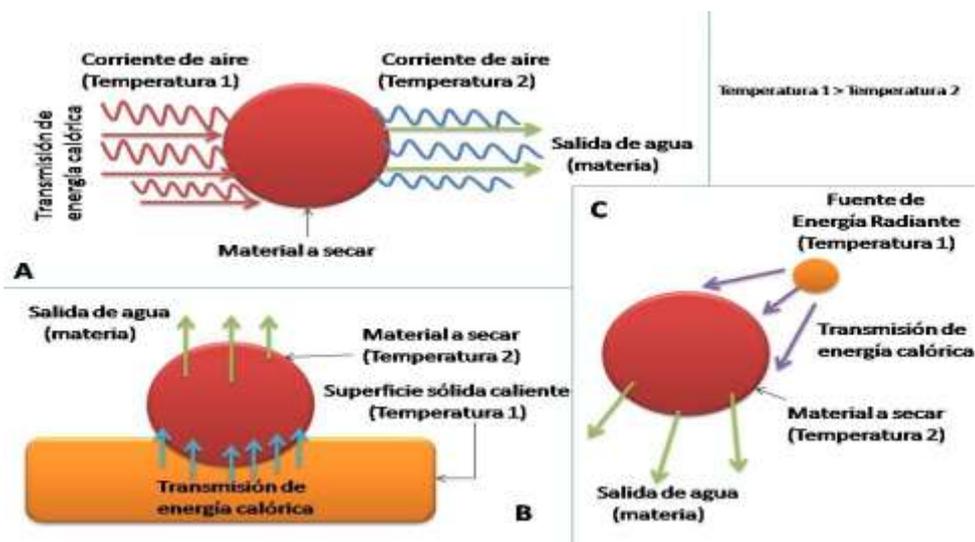


Figura 1. Representación de los mecanismos de transferencia de calor en convección, conducción y radiación.

Fuente: (Espinoza 2011).

2.1.2 Tipos de Secadores

Según sea la naturaleza, forma y tamaño del material biológico a secar, se debe emplear un secador que facilite la manipulación y control del mismo. A continuación, la clasificación de algunos secadores aplicados a la industria.

2.1.2.1 Convección

Ibarz y Barbosa (2005), manifiestan que la convección es la transferencia de calor por movimiento de masa o circulación dentro de la sustancia, sólo se produce en líquidos y gases donde los átomos y moléculas son libres de moverse en el medio. El movimiento de las partículas transporta calor por convección, ya sea de forma natural o forzada.

Convección forzada: tiene lugar cuando una fuerza motriz exterior mueve un fluido con una cierta velocidad sobre una superficie que se encuentra sobre una temperatura mayor o menor que la temperatura ambiente (Holman, 2008).

- **Secadores rotativos**

El producto húmedo es expuesto a una cámara cilíndrica rotativa atravesándola con aire caliente, manteniendo el producto en agitación. Por este método la pared de la cámara se calienta, por medio de instalaciones de tubos en el interior del cilindro, el aire al que está expuesta fluye en contracorriente o paralela en dependencia a la dirección del movimiento de los sólidos.(McCabe, Smth, y Harriott, 2011)

- **Secadores de rodillo**

“Es un equipo de desecación por contacto, con una superficie caliente, la cual aporta calor transfiriendo al sólido húmedo a través de una pared de retención”, son secadores sencillos de calefacción indirecta o directa empleados para artículos en forma de hoja continua, tales como el tejido, papel, entre otros (Acosta y Burgos, 2012).

- **Secadores de bandejas o compartimientos**

Este secador está compuesto de una cabina aislante con un ventilador con el fin de circular el aire por medio de un calentador, el aire caliente sale en dirección horizontal hacia las bandejas ajustadas por una rejilla laminar. Los calentadores pueden ser de resistencia eléctrica, quemadores directos o serpentines (Calle y Aparicio, 2011).

- **Secadero de túnel**

Comprende una cabina en forma de túnel de allí su nombre, por una parte, por el túnel ingresa la materia prima y por el otro extremo se recibe el producto deshidratado, el aire caliente es trasladado en dirección a los calentadores, llegando así de forma horizontal a las bandejas (Treybal, 2008).

- **Secadores de cintas transportadoras**

“Son secadores continuos con circulación de aire a través del material o paralelo a este, que se traslada sobre un transportador de cinta perforada. Esta cinta suele ser de malla metálica o de lámina de acero perforada”(Espinoza 2011).

- **Secadero de tolva**

Es un secador constituido por un recipiente cilíndrico de fondo falso de rejilla, con un ventilador que circula el aire caliente sobre el calentador y viceversa hacia el producto (Vuarant, 2013).

- **Secadero de tornillo sin fin**

Este secador es de tipo continuo de calentamiento indirecto que posee un tornillo sin fin horizontal por dentro de la carcasa. La materia prima se transporta a la zona caliente extrayendo el producto seco por el otro extremo. El vapor generado es extraído por un conducto que está localizada en la parte superior (Vuarant, 2013).

- **Secadero de lecho fluidizado**

El aire caliente circula por un lecho de sólidos que se encuentran suspendidos en el aire pudiendo operar de forma continua o discontinua, con altas o bajas presiones. Este método se limita al uso de productos no frágiles y que puedan ser fluidizados por su alta velocidad de secado (Vuarant, 2013).

2.1.2.2 Conducción

El calor de evaporación se transmite por medio de superficies calentadas que se aplican directamente a la materia prima, mientras que el vapor se elimina por una operación al vacío o gas. “La conducción se considera como la transferencia de energía de las partículas más energética a las menos energéticas de un medio sólido, dentro de un fluido en reposo o entre dos cuerpos que están en contacto físico”(Holman, 2008).

- **Secado por contacto directo**

Este tipo de secado tiene una superficie caliente el cual se suministra por conducción (Vuarant, 2013).

2.1.2.3 Radiación

“La radiación es la energía emitida por la materia en forma de ondas electromagnéticas (o fotones) como resultado de los cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas, que no requiere de la presencia de un medio interventor” (Y. Cengel, 2007).

- **Secado continuo de infrarrojo**

El producto se traslada por medio de una cinta continua a una fuente de infrarrojo de onda corta que atraviesa los productos que son sensibles al calor (Vuarant, 2013).

- **Secado por microondas**

Es el secado con ondas de alta frecuencia que tienen como ventaja el calentamiento dado por convección o conducción sobre el producto expuesto evitando pérdidas de calor (Ibarz y Barbosa, 2005).

2.2 FUENTES DE ENERGÍAS

2.2.1 Energía solar

El secado por radiación solar es la principal fuente de energía entendiéndose como el método más antiguo de conservación por medio de una corriente de aire, siendo el principal objetivo reducir el contenido de humedad. Antiguamente se exponía la materia prima al sol extendiéndolo en grandes superficies con la finalidad de esperar a que el contenido de agua se eliminara por medio del aire (AGRO, 2013).

Para el secado solar se requería de la energía radiante procedente del sol. Este sistema se considera un proceso no contaminante usando energía renovable, sin embargo, en procesos de gran magnitud, el secado solar posee grandes desventajas limitando su uso, es decir para la utilización de grandes superficies, mano de obra, dificultad de control de la velocidad de secado y grandes pérdidas por causa de ataques de insectos, contaminaciones microbianas y animales. La energía renovable o convencional aprovecha los medios naturales de energía del planeta, constituyéndose como una fuente de flujo energético de baja escasez. Esta energía proveniente del sol es emitida constantemente las 24 horas, 365 días al año, llegando en forma de radiación a la tierra con longitudes de onda corto de 0,45 a 4,0 μm , rango

utilizado para la reacción de la fotosíntesis (Figura 2). La emisión que se genera es de 3.8×10^{23} kW, mientras que en la tierra solo se genera 1.7×10^{14} kW. El 30 % de la radiación solar es recibida por longitud de ondas, la atmosfera absorbe el 47% el cual provoca un aumento de temperatura y el 23% se concentran en océanos y ríos (Medina, 2015).



Figura 2. Longitudes de onda de la luz solar.

Fuente: (Hydro Environment, 2019)

2.2.2 Calor

El calor se define como la energía relacionada por vibración directa de las molecular, dado que cuando estas están sometidas a una fuente de calor estas se mueven rápidamente generando energía, por el contrario si estas son enfriadas su movimiento será más lento (Y. Cengel y Boles, 2006). Todos los cuerpos desprenden una forma de energía ya sea de menor o mayor grado.

La siguiente ecuación del calor es:

$$Q_{nec} = m * c_p * (T_2 - T_1) \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

m= cantidad del aire a calentar (kg), c_p = calor específico del fluido (kJ/kg °C), T_2 = temperatura del fluido caliente (°C), T_1 = temperatura del fluido frío (°C)

Calor sensible. - Es la cantidad de calor que absorbe o libera un cuerpo sin que en él ocurran cambios en su estado físico (cambio de fase) (Espinoza 2013).

Calor latente. - Es el calor que genera un cambio de fase a cierta temperatura (Espinoza 2013).

2.2.3 Lámparas infrarrojas

La energía emitida por infrarrojo es radiada por medio del aire en forma de ondas electromagnéticas de forma direccional, enfocada, reflejada y absorbida por el cuerpo que está en contacto.

Su transmisión no es dependiente del aire y es transformada en calor por medio de la absorción al material al cual está expuesta. La radiación térmica contiene mayor longitud de onda que la luz visible con rangos de 0,7 hasta 100 micrómetros (μm). Estos autores (Krishnamurthy, Khurana, Irudayaraj, y Demirci, 2008) manifiestan que “la radiación infrarroja es emitida por cualquier cuerpo cuya temperatura sea mayor que 0 kelvin, es decir, $-273,15^\circ\text{C}$ ”.

Esta radiación se clásica en tres regiones, near (NIR), mid (MIR) y far (FIR).

Radiación RI onda corta (near): 0,75 a 1,4 μm

Radiación RI onda media (mid): 1,4 a 3 μm

Radiación RI onda larga (far): 3 a 1000 μm

En la siguiente ilustración se representa la clasificación de las tres regiones antes mencionadas.

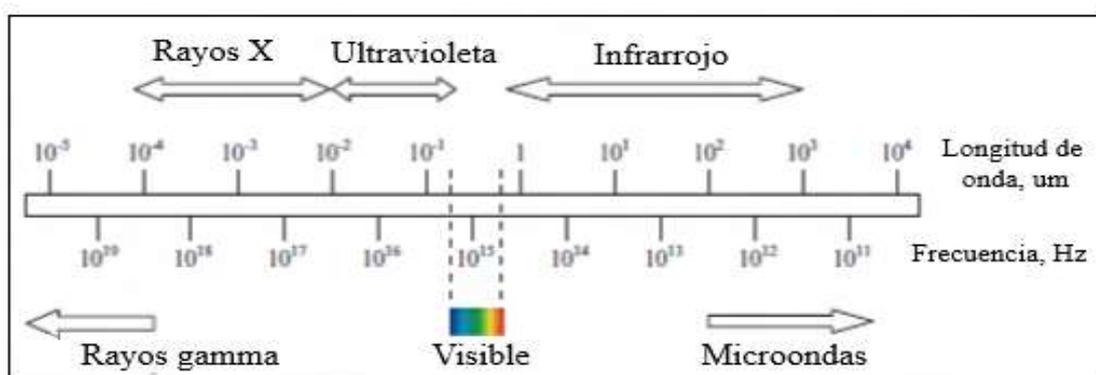


Figura 3. Espectro de ondas electromagnéticas: corta, media y larga.

Fuente: (Espinoza 2011)

La cantidad de energía emitida por una fuente de calor es proporcional a la temperatura de la superficie y emisividad del material, conforme lo describe la ley de Stefan Boltzmann,

cuanto más alta sea la temperatura, mayor será la radiación que emitirá por ende mayor será la eficiencia (Espinoza 2013).

Ecuación de la Ley de Stefan Boltzmann:

$$\rho + \alpha + \tau = 1 \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde:

ρ = reflexión, α = absorción, τ = transmisión

En la siguiente ilustración se representa de forma gráfica según la ecuación de la ley de Stefan Boltzmann.

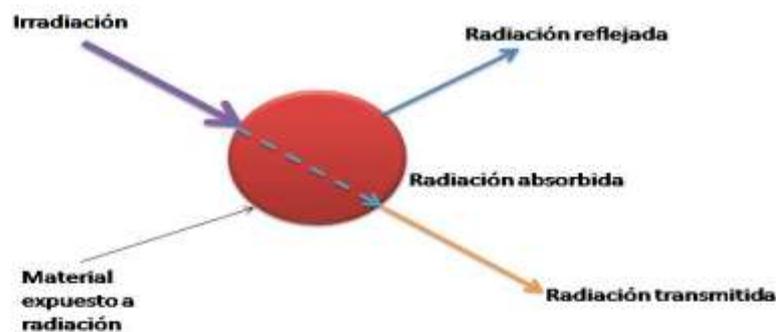


Figura 4. Representación gráfica de la extinción de la radiación (absorción, transmisión y reflexión).

Fuente: (Espinoza 2011)

Un cuerpo opaco se caracteriza por no permitir que la radiación penetre en él, teniendo una transmisión igual a cero. Mientras que un cuerpo negro se lo considera ideal para absorber la energía sin tener que reflejarla o transmitirla siendo igual a 1, todo esto depende de la naturaleza y características del material. Cuando la radiación se ve expuesta al alimento esta puede provocar cambios vibracionales y moleculares. Por tal motivo el agua absorbe la energía infrarroja de forma rotacional por lo que causa la evaporación del agua (Ratti y Mujumdra, 2006).

El secado combinado con fuentes de infrarrojo es importante ya que reduce costos de producción, tiempos y temperatura de secado siendo beneficioso para las industrias, por lo tanto, el calentamiento que se genera en el material hace que aumente el movimiento de la humedad hacia la superficie. La aplicación de este tipo de secado en diferentes gamas de

productos no demuestran cambios en cuanto al color, textura y composición química (Espinoza 2011).

2.2.4 Luz halógena

La luz que refleja la lámpara halógena es clara y nítida. Este tipo de luz posee ventajas en cuanto al tiempo de vida útil, emiten calor y reducción de espacio. Tiene una longitud de onda de 0,38- 0,75 μm el cual se asemeja a la luz del sol (Figura 5). La luz halógena es utilizada para iluminación del hogar, hoteles y centros comerciales por su espectro de luz blanca en comparación con otros tipos de luz es mucho mejor.

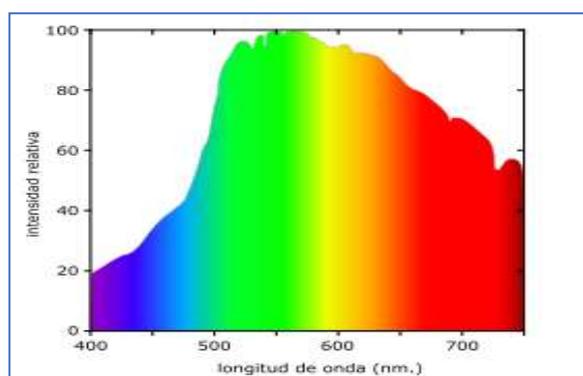


Figura 5. Longitud de onda de la luz halógeno

Fuente: (Pérez & Girón, 2012)

2.3 PLANTAS AROMÁTICAS

Las plantas aromáticas se caracterizan por sus aromas, mientras que otras también poseen propiedades curativas, esta depende de la composición química al cual pertenezca la especie, esta se clásica en tres tipos (Muñoz, 2002).

- Medicinales
- Aromáticas
- Condimentarías

La normativa INEN 2392: 2017, establece que “las hierbas aromáticas comprenden ciertas plantas o partes de ellas (raíces, rizomas, bulbos, hojas, corteza, flores, frutos y semillas) que contienen sustancias aromáticas (aceites esenciales), y que, por sus aromas y sabores característicos se destinan a la preparación de infusiones”, con un contenido de humedad de hasta el 12%.

Las plantas aromáticas se someten a secado con el fin de conservar los componentes nutritivos e inhibir el crecimiento microbiano el cual puedan afectar las características del producto final (Tonguino, 2011).

2.3.1 Orégano

Es una planta originaria de Europa central y Asia central, el orégano por sus aceites esenciales difiere en su sabor por cuanto carece de compuestos fenólicos (Tonguino, 2011).

Pertenece a la familia herbácea de estructura con tallos erectos, vellosos, ramificados, de una altura de 0,30 a 0,70m. las hojas son ovales, verde, lisas, mientras que las flores son pequeñas de 2 a 3 milímetros de longitud (Muñoz, 2002).

En la siguiente Tabla 2 se especifica cómo está clasificada la taxónoma del orégano.

Tabla 2. Clasificación taxonómica del orégano

Reino:	Planta
División:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida
Orden:	Lamiales
Familia:	Lamiaceae
Género:	Origanum
Especie:	O. vulgare
Nombre binomial:	OriganumvulgareL.
Nombre común:	Orégano, Mejorana silvestre, Orenga

Fuente: elaboración propia

2.3.1.1 Características

El orégano es una planta aromática compuesta principalmente de aceites esenciales y de compuestos activos como los fenoles (timol, carvacrol), concentraciones de compuestos fenólicos 912 mg AG/g en el secado convencional y esteropteno, que se utilizan como tónico y digestivo, también es considerado antiespasmódico, antimicrobiana y como antioxidante (Acevedo, Navarro, y Monroy, 2013). Se recomienda que su secado sea a temperaturas de 20 a 40°C, mientras que el almacenamiento de la materia prima es de 2 a 40°C en cuartos fríos para prevenir el envejecimiento (Bedón, 2006).

2.3.2 Menta

Muñoz, (1996), la menta es una especie herbácea, vivaz, con tallos erectos, cuadrangulares muy ramificados, que puede alcanzar una altura de 80 cm que nace de un rizoma subterráneo del que brota un extenso sistema radicular, hojas opuestas pecioladas, lanceoladas o agudas,

con brotes aserrados, color verde oscuro en la cara superior y más claro en el inferior, flores agrupadas en tirsos densos, color purpura, los estolones son de sección cuadrangular y crecen bajo y sobre la superficie del suelo en todas direcciones.

La Tabla 3 especifica la clasificación taxónoma de la menta.

Tabla 3. Clasificación taxónoma de la menta

Reino:	Plantae
División:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida
Orden:	Lamiales
Familia:	Lamiaceae
Género:	Mentha
Especie:	M. Piperita
Nombre binomial:	Mentha piperita
Nombre común:	Menta

Fuente: (Osorio, 2009)

2.3.2.1 Características

La Menta es un amortiguante para la sensación de dolor estomacal, antiespasmódicas, anticoléricas por sus propiedades de esencia a mentol (Sánchez, García, Carballo, y Crespo, 1996), esta planta es reconocida por sus aceites esenciales que están presente en las glándulas situadas bajo la epidermis de las hojas el mentol de 60%, la mentona 12%, el aceite de 0,3 a 0,4% hasta el 1%, contenido fenólico 246.9+-31,02 mg AG/g en secado convencional, entre otros derivados terpénicos. Se recomienda que la menta se someta a temperaturas de secado de 20 a 40°C (Tonguino, 2011).

Durante su almacenamiento las plantas deben de ser evaluadas según su estabilidad a los procesos de envejecimiento, por este motivo deben de ser almacenadas en cuartos fríos con temperaturas de 2 a 40°C (Tonguino, 2011).

CAPITULO III

3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 LOCALIZACIÓN

El trabajo experimental de esta investigación se llevó a cabo en el Laboratorio de Agroindustria de la Universidad Estatal Amazónica, ubicada en el km. 2 1/2 vía Puyo- Napo en la ciudad de Puyo, provincia de Pastaza.

3.1.1 Condiciones meteorológicas

La Tabla 4 describe las condiciones meteorológicas que menciona la estación meteorológica INAMHI que se encuentran en la provincia de Pastaza, tales como la altitud, temperatura, humedad relativa, pluviosidad.

Tabla 4. Condiciones meteorológicas de la provincia de Pastaza.

Parámetros	Medida
Altitud	954 m.s.n.m
Humedad relativa	85%
Temperatura	25,9°C
Pluviosidad	4500mm/año

Fuente: (INAMHI, 2015)

3.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN

En la presente investigación se utilizó un nivel descriptivo porque es necesario describir y evaluar el método de secado con fuentes de energías alternativas como la luz infrarroja y halógena, realizándose una búsqueda y un análisis de información y datos provenientes a la medición del contenido de humedad retirada del producto seco y también un nivel experimental ya que se empleó un software que permita calcular el ángulo incidencia de cada gradiente de temperatura en estudio.

3.3 MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

Para el avance de la investigación se sugirió los siguientes pasos que se especificaran en la Figura 6:

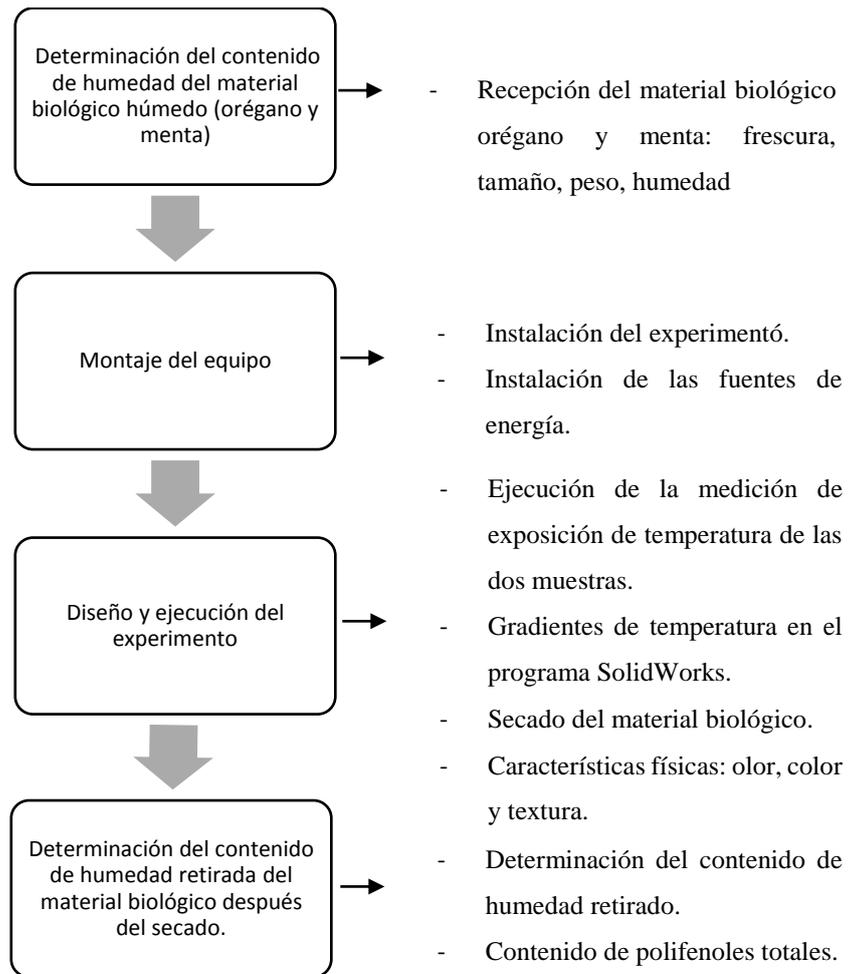


Figura 6. Diagrama de flujo para llevar a cabo en el proyecto de investigación.

Fuente: elaboración propia

3.3.1 Determinación del contenido de humedad del material biológico húmedo (orégano y menta)

En el desarrollo de la investigación se utilizó hojas de orégano y menta el cual se obtuvo en la provincia de Pastaza, cantón Pastaza, parroquia Puyo.

Una vez que se obtuvo las plantas aromáticas, se procedió a registrar el peso total, seguidamente se mantuvo en conservación a 4°C para mantenerla fresca y evitar que se marchite, para luego utilizar.

El análisis se llevó a cabo en el laboratorio de química de la institución, se lavó las muestras y se dejó 30 minutos de escurrido, luego se inspecciono la frescura de las hojas, posteriormente se pesó 50g de muestra y se sometió a secado.

El método que se empleó para la obtención del contenido de humedad inicial es por secado en estufa modificado por la NTE INEN- ISO 1573:2014, permitiendo extraer la humedad

del sólido, este método es aplicable para cualquier alimento. Para esto se pesó 50g de las muestras (p_i) y se utilizó una estufa a 40°C por 24 horas, luego se dejó reposar la muestra durante 30 minutos en el desecador y luego se procedió al pesado, se repitió el proceso durante 1 hora hasta obtener pesos constantes (p_f). Para la determinación del porcentaje de humedad se aplicó la siguiente ecuación (Ecuación 3), según (Tonguino, 2011).

$$\%humedad = \frac{p_i - p_f}{p_i} * 100 \quad (\text{Ecuación 3})$$

Las muestras sometidas a las dos fuentes de energía luz infrarroja y halógena, primero, se inspecciona su frescura seguido de un lavado y escurrido, luego se mide el tamaño de las 25 hojas tanto de menta como de orégano usando un calibrador pie de rey marca Vernier de acero inoxidable, posteriormente se realizó el peso de cada una por medio de una balanza digital, en donde se aplicó los siguientes pasos: se pesó la muestra (orégano y menta), se sometió a secado por 24 horas en el equipó diseñado con luz halógena e infrarroja, transcurrido el tiempo se dejó reposar la muestra por 30 minutos en el desecador y luego se pesó y se repitió el secado por 24 horas más hasta obtener un peso constante, se expresó los resultados mediante la ecuación 3

3.3.2 Montaje de la instalación experimental

El montaje se realizó con un pliego de cartulina simulando una lámina de vidrio de medidas de 90cm x 60cm y un soporte de tubo de plástico para las fuentes de energía luz infrarrojo y halógeno, manteniendo las lámparas a una altura predeterminada con el fin de mantener la temperatura de 30 a 40°C, (Figura 7). Se usó una lámpara de luz infrarroja Marca MAVIJU, modelo R125, 110V, potencia 250W, y una lámpara de luz halógenas de la marca VICA, modelo MR16, 50W, 120V.

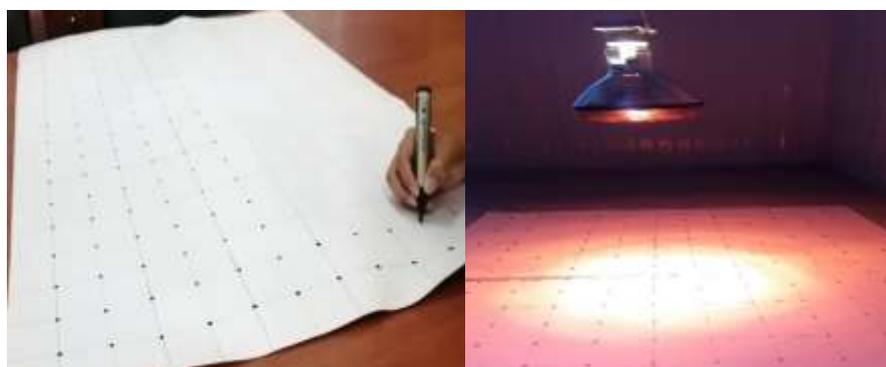


Figura 7. Instalación experimental

3.3.3 Proceso de Secado del material biológico

Como parámetro específico para el experimento se ejecutó el control de la temperatura con una pistola termómetro infrarrojo en cada punto de la malla, mientras que para medir la altura se utilizó una cinta métrica (figura 8), este control se realiza con el fin de que las muestras no se sientan afectadas ya que no pueden ser sometidas a temperaturas mayores de 40°C. Se utilizaron dos lámparas una de infrarrojo y otra de halógeno a temperaturas de 30 a 40°C.

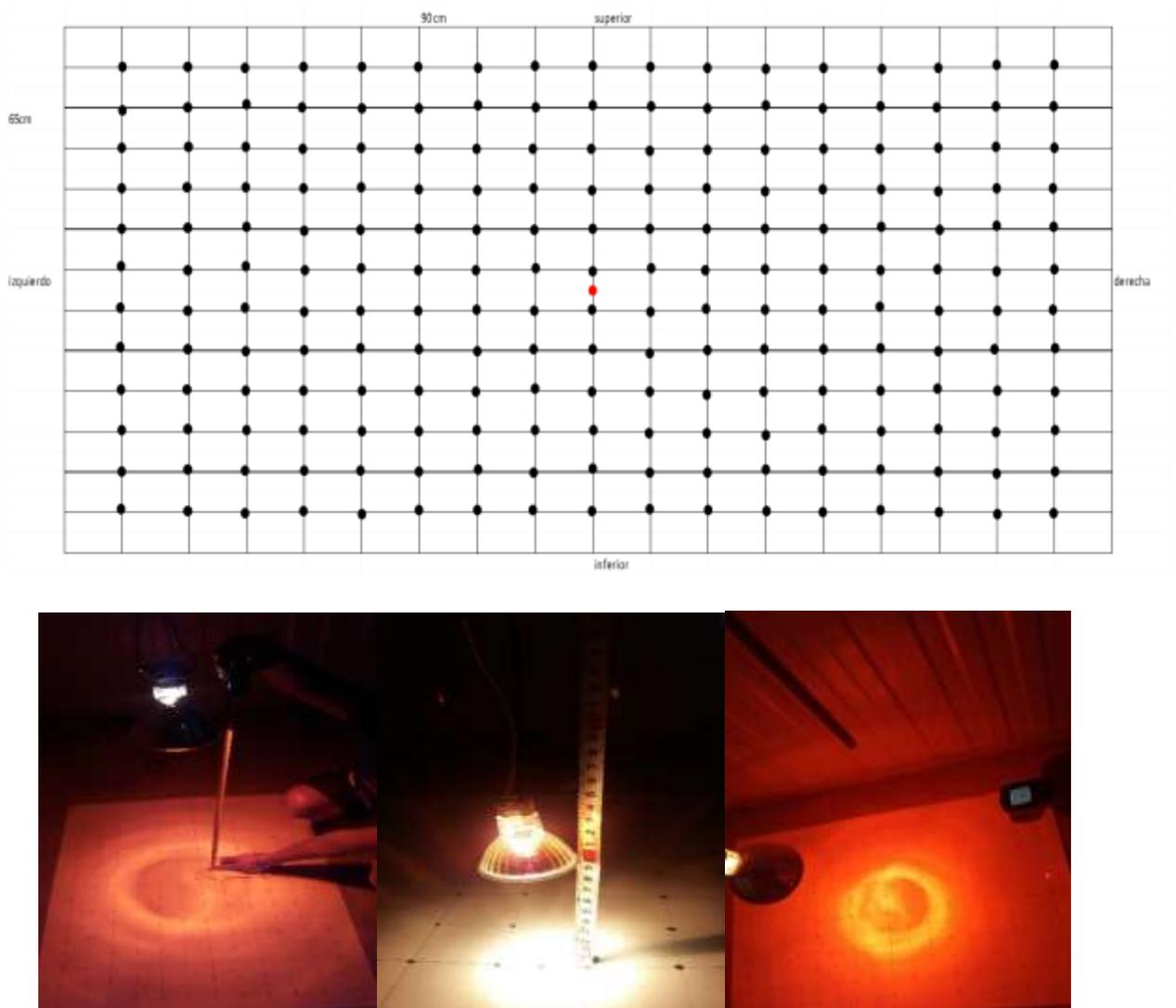


Figura 8. Diseño de la malla y Medición de la altura y temperatura.

El comportamiento que tiene cada gradiente de temperatura en estudio se llevó a cabo por medio del programa SolidWorks, con el fin de poder calcular los ángulos para cada zona, aplicando las siguientes ecuaciones.

Formulas:

$$\tan \beta = \frac{\text{opuest}}{\text{adyacente}} = \frac{b}{a} \quad (\text{Ecuación 4})$$

$$A = \frac{\pi(\text{Diámetro})^2}{4} \quad (\text{Ecuación 5})$$

El material biológico fue distribuido de la siguiente manera, se colocó cada hoja de menta en forma de cruz con códigos desde A1 hasta A25 como se encuentran ubicados y marcados en la malla con color rojo (Figura 9), así mismo las hojas de orégano en forma de asterisco codificado desde B1 hasta B25, marcados de color verde.

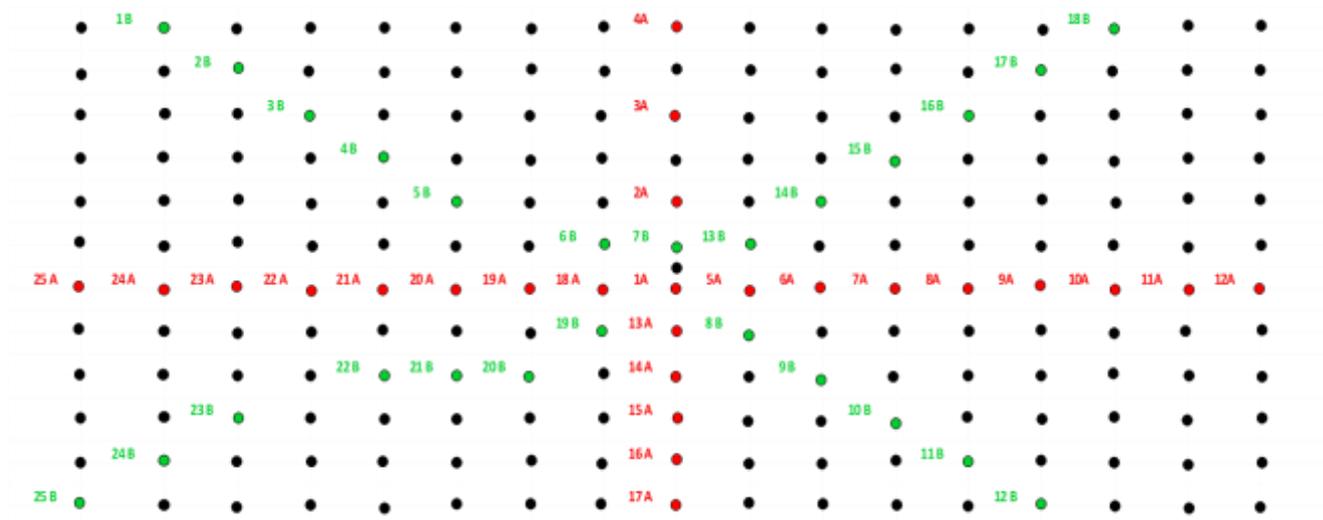


Figura 9. Ubicación y codificación de las muestras.

Fuente: elaboración propia

3.3.4 Determinación del contenido de humedad retirado del material biológico después del secado

Se analizó el contenido de humedad retirado después del secado del producto en el laboratorio de química, mediante el secado con luz halógena e infrarroja, aplicando la ecuación 3 del apartado 3.3.1. Una vez obtenido el contenido de humedad retirado de los dos materiales biológicos se procedió a cuantificar el contenido de fenólicos totales por el método de Folin- Ciocalteu empleado por (Barberán, T., 2001) , con el fin de observar cuál de las dos fuentes de energía se obtiene una mejor concentración, para lo cual se procedió a pesar 0,5g de muestra seca triturada, se colocó en un balón de 100 ml y mezclar con 25ml de etanol al 95%, luego se introdujo la muestra en el ultrasonido a temperatura ambiente por 20 minutos, transcurrido los 20 minutos se filtró la muestra se pipeteo 0,3ml del extracto (muestra) se puso en un tubo de ensayo y se colocó 0,5ml del reactivo Folin y se reposo en oscuridad por 5 minutos, posteriormente se añadió 0,5ml de carbonato de sodio al 20%, se aforo la muestra a 3ml con agua destilada, agitando durante 15 segundos y se dejó reposar la muestra por 30 minutos en un lugar oscuro a temperatura ambiente, se procedió a leer la absorbancia de la muestra en el espectrofotómetro a un rango de 760nm.

CAPITULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DEL MATERIAL BIOLÓGICO HÚMEDO

Las características físicas que se tomaron en cuenta en el material biológico antes del secado en estufa, fueron la frescura, tamaño, peso y el contenido de humedad usando la metodología que se describe en el epígrafe 3.3.1, obteniendo como resultado los datos descritos en la Tabla 5.

Tabla 5. Características físicas del material biológico húmedo.

Material biológico	Características	Muestra húmeda
Menta	Peso (g)	50
	Humedad inicial	86,98
Orégano	Peso (g)	50
	Humedad inicial	77,32

Fuente: elaboración propia

La Tabla 6 especifica las características físicas del material biológico antes del secado expuesto a las dos fuentes de energía en estudio, tomándose en cuenta el contenido de humedad mencionados en la tabla 5.

Tabla 6. Características físicas de la menta en las dos fuentes de energía.

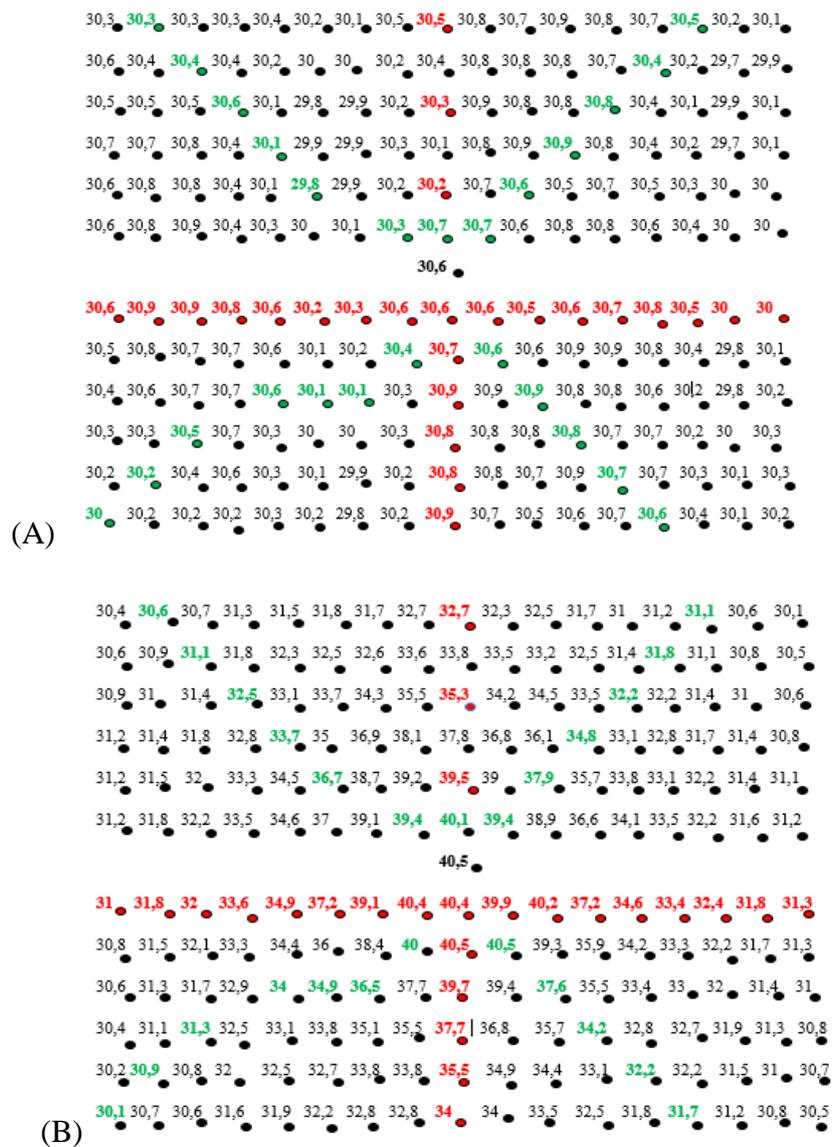
Características físicas del material biológico								
Menta Código	Infrarrojo 30°C		Infrarrojo 40°C		Halógeno 30°C		Halógeno 40°C	
	Tamaño (cm)	Peso inicial (g)	Tamaño (cm)	Peso inicial (g)	Tamaño (cm)	Peso inicial (g)	Tamaño (cm)	Peso inicial (g)
A1-A25	5,3	0,2284	3,1	0,0750	2,9	0,0586	3,3	0,1067
Orégano Código	Infrarrojo 30°C		Infrarrojo 40°C		Halógeno 30°C		Halógeno 40°C	
	Tamaño (cm)	Peso inicial (g)	Tamaño (cm)	Peso inicial (g)	Tamaño (cm)	Peso inicial (g)	Tamaño (cm)	Peso inicial (g)
B1-B25	2,3	0,0403	1,7	0,0214	1,5	0,0130	1,2	0,0092

Fuente: elaboración propia

4.2 DISEÑO Y EJECUCIÓN DEL EXPERIMENTO

En la primera experimentación se utilizó la luz infrarroja a una temperatura de 30°C con una altura de 120 cm, para esto se dejó transcurrir 24 horas con el fin de establecer la temperatura sobre una hoja mallada, seguidamente se procedió a controlar la temperatura mediante una pistola termómetro en cada punto observando así su comportamiento, los punto

representados de color negro son los puntos de medición, mientras tanto los de color rojo son donde se distribuyó la menta y el color verde el orégano (Figura 9), colocando las hojas de forma perpendicular a la luz que están sometidas (Figura 10 A). En la segunda experimentación con luz infrarroja se bajó la altura a 50 cm para lograr una temperatura de 40°C, el cual se dejó reposar por 2 horas antes de proceder a controlar la temperatura y colocar las muestras (Figura 10 B). En la Figura 10 (C) se especifica el comportamiento de la temperatura a 30°C con la luz halógena a una altura de 18 cm, dejando reposar 24 horas para que se establezca, seguidamente se procedió a colocar las muestras en las mismas posiciones. La temperatura de 40°C a una altura de 10cm con luz halógena el cual se dejó transcurrir 2 horas para poder medir la temperatura y colocar las muestras (Figura 10 D).



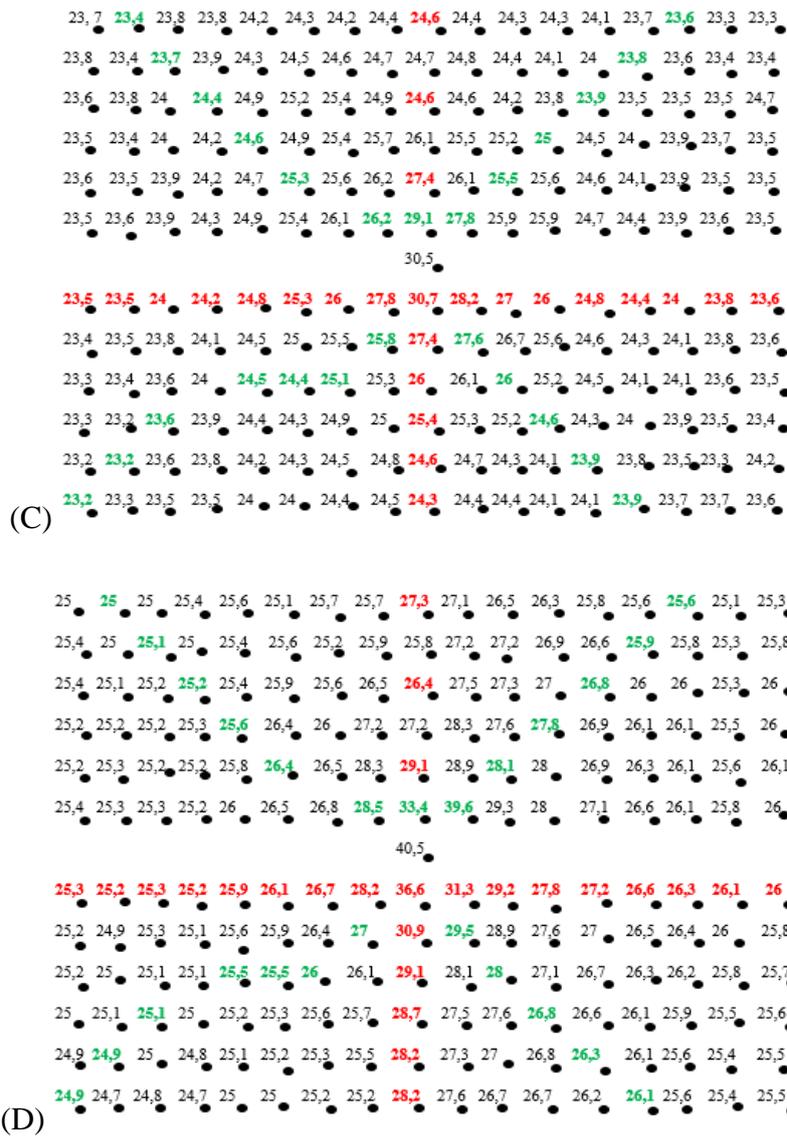


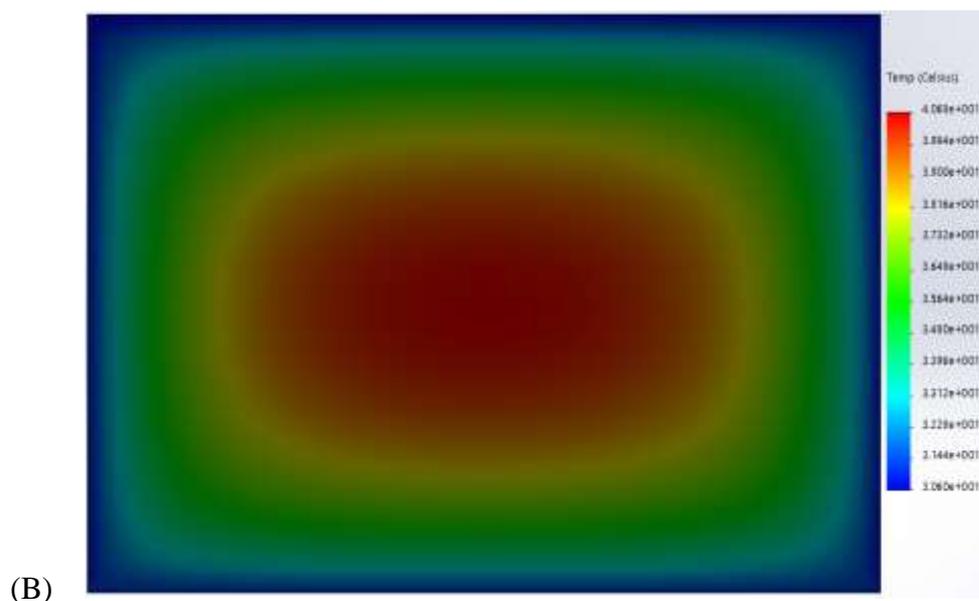
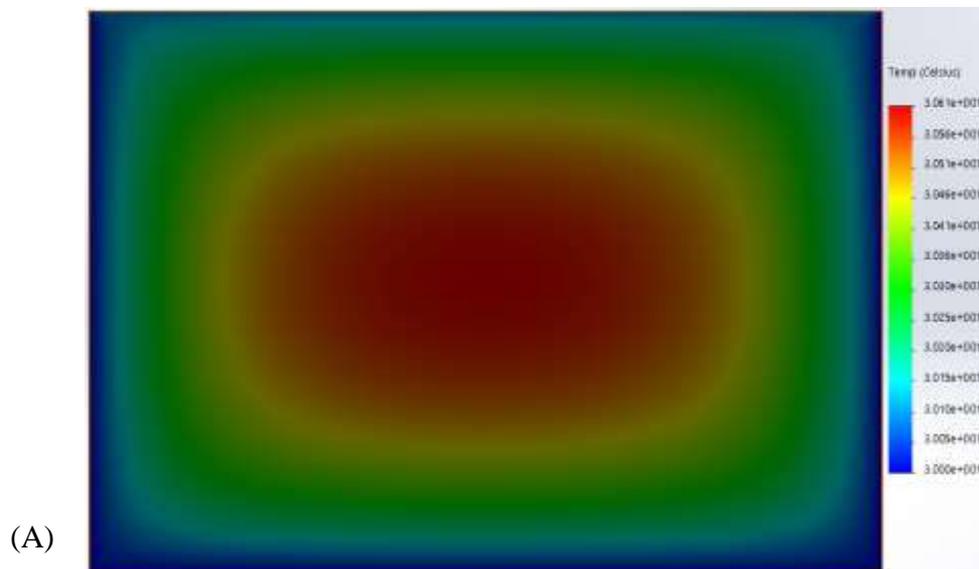
Figura 10. Comportamiento de la temperatura en la malla para las dos fuentes de energía a las dos temperaturas de trabajo. (A) Infrarrojo 30°C, (B) infrarrojo 40°C, (C) halógeno 30°C, (D) halógeno 40°C.

Fuente: elaboración propia

Una vez que se mantuvo las temperaturas estables se registraron los datos para posteriormente editar en un programa llamado SolidWorks llevándose a cabo los gradientes de temperatura tomando en cuenta los datos experimentales, en donde la temperatura variaba entre 30 a 40 grados Celsius para toda la malla con dimensiones de 90cm x 60cm, como se visualiza en las figuras en donde demuestra el comportamiento del gradiente de temperaturas.

En la Figura 11 (A), se estableció una altura de 120cm con la utilización de un foco infrarrojo de 250W, demostrándose que en el punto medio representado de color rojo llego a una

temperatura de 30,6°C, mientras que en los extremos representado de color azul está a temperaturas de 30°C caracterizándose como zona más frías o lejanas al calor. Figura 11 (B), el foco infrarrojo se encuentra a una altura de 50cm de la lámina alcanzando temperaturas de 40,6°C en el centro representado de color rojo, el color verde desde 37,3 a 34,8°C como zona cálida, mientras que el color azul se encuentra desde 32,2°C a 30,6°C como zona fría. Figura 11 (C), esta Figura se caracteriza por que el foco utilizado es halógeno llegando a alturas muy bajas dado que su potencial calórico es bajo, para poder alcanzar temperaturas de 30°C se estableció una altura de 18cm, por ende, la zona caliente será más reducido y en los extremos será más frío. Figura 11 (D), la altura establecida para alcanzar temperatura de 40°C fue de 10cm con luz halógena.



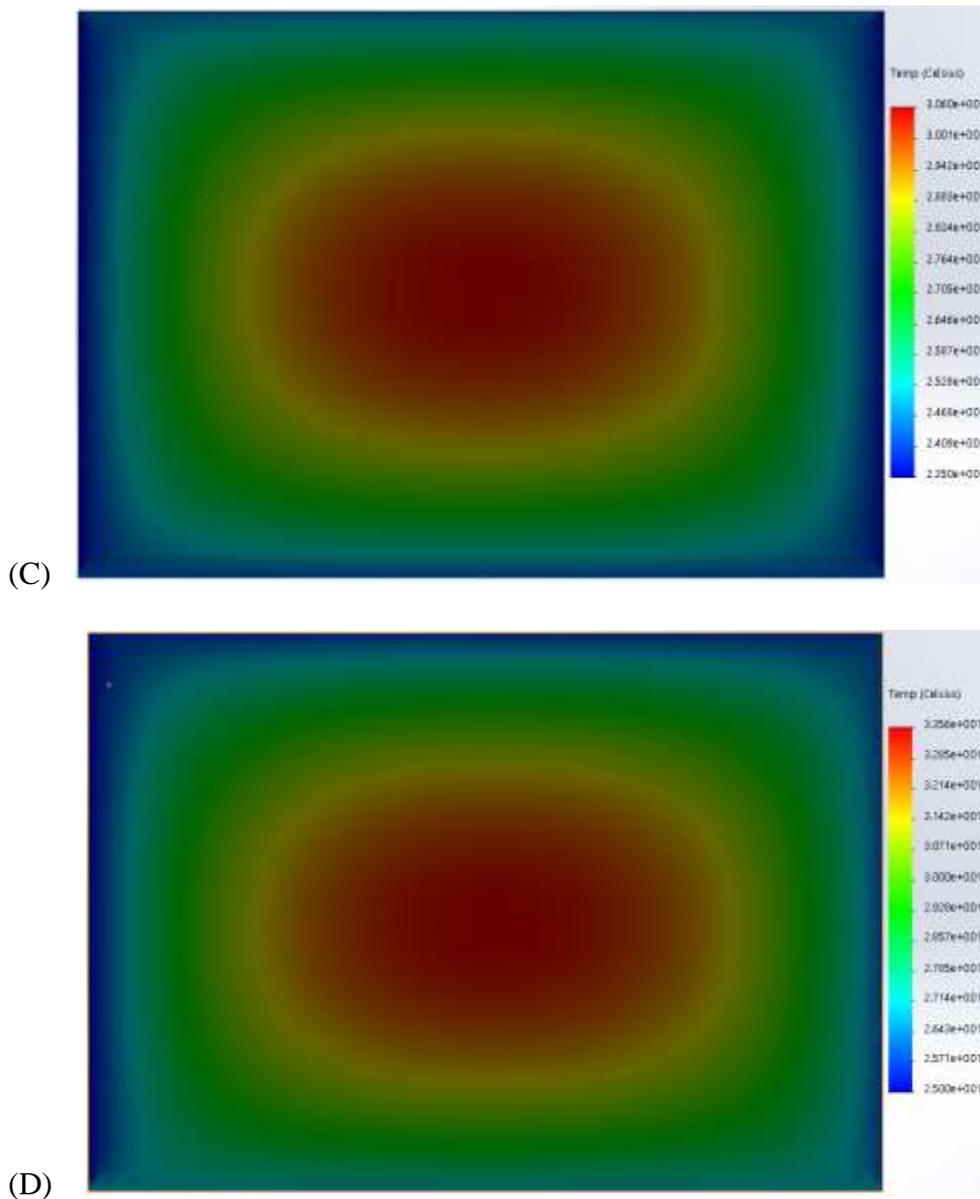


Figura 11. Gradientes de temperaturas con las dos fuentes de energía a las dos temperaturas de trabajo. (A) Luz infrarroja 30°C, (B) luz infrarroja 40°C, (C) luz halógena 30°C, (D) luz halógena 40°C.

Fuente: elaboración propia

Cada gradiente de temperatura tiene diferentes mediciones de altura, esto se hizo con el fin de calcular los ángulos que se formaban en los cuatro anillos de colores representados en la Figura 11, para posterior a ello calcular la distancia requerida para mantener las condiciones de temperaturas que son de 30 a 40°C.

La tabla 7 muestra los resultados obtenidos mediante la altura y temperaturas que fueron obtenidas. La luz infrarroja a 30°C tuvo comportamientos distintos para cada gradiente de temperatura representados de la siguiente manera: en el rojo con un ángulo de 11,97°,

amarillo de 2,65°, verde 4,62° y azul de 1,32° con una altura de 120cm, obteniendo un incremento de la temperatura desde 0,008 hasta 0,152, para la luz infrarroja a 40°C se obtuvo en el color rojo un ángulo de 26,18°, amarillo 6,51°, verde 6,51° y en el azul 2,75° con una altura de 50 cm, con un incremento de 0,064 hasta 1,222.

Sin embargo, para la luz halógena a 30°C se establece a una altura de 18 cm manteniendo así su comportamiento en los distintos gradientes de temperatura. En el caso del color rojo se calculó un ángulo de 49°, amarillo 8,48°, verde 8,04° y en el color azul 2,68°, mientras que la luz halógena a 40°C obtuvo una altura de 10cm con un ángulo en el color rojo de 62,33°, amarillo 7,14°, verde 6,38°, en el color azul de 1,62°, obteniendo un incremento de la temperatura desde 0,023 hasta 1,759.

Tabla 7. Determinación del ángulo de incidencia en los gradientes para las dos fuentes de energía a las dos temperaturas de trabajo.

(h)

distancia

r: rojo, a: amarillo, v: verde, az: azul, h, altura

Calculó de los gradientes de temperatura

Tipo de fuente de energía	Temp (°C)	h (cm)	Gradiente de Temp (°C)	Distancia del gradiente de Temp (cm)	Angulo (°)	Variación de la Temp (cm)	Incremento de la Temp con respecto al Angulo (cm/°)	
Luz infrarrojo	30	120	(r)	30,61-30,51	25,44	11,97	0,10	
			(a)	30,51-30,41	31,3	2,65	0,10	
			(v)	30,41-30,25	41,87	4,62	0,16	
			(az)	30,20-30,00	45	1,32	0,20	
	40	50	(r)	40,68-39,00	24,58	26,18	1,68	0,064
			(a)	39,00- 38,16	32,14	6,51	0,84	0,129
			(v)	37,32- 34,80	40,84	6,51	2,52	0,387
			(az)	33,96- 30,60	45	2,75	3,36	1,222
Luz halógena	30	18	(r)	30,61- 29,42	20,71	49	1,19	0,024
			(a)	29,42- 28,85	28,24	8,48	0,57	0,067
			(v)	28,24- 26,46	39,54	8,04	1,78	0,221
			(az)	25,87- 23,50	45	2,68	2,37	0,884
	40	10	(r)	33,56- 32,14	19,07	62,33	1,42	0,023
			(a)	32,14- 31,42	26,70	7,14	0,72	0,101
			(v)	30,71- 28,57	39,66	6,38	2,14	0,335
			(az)	27,85- 25,00	45	1,62	2,85	1,759

Temp: temperatura

Fuente: elaboración propia

El material seco debe constar de características físicas cualitativas de color uniforme, semiquebradiza y olor característico de la planta, realizada mediante una evaluación de percepción del investigador haciendo uso de los órganos sensoriales, olfato, vista y tacto, así mismo las características cuantitativas que forman parte fundamental en esta investigación como el contenido de humedad retirado después del secado.

Color del material biológico seco. - las observaciones en el transcurso del secado de las muestras tanto de orégano como menta se visualizaron que su color se tornó a un verde oscuro opaco (Figura 12).

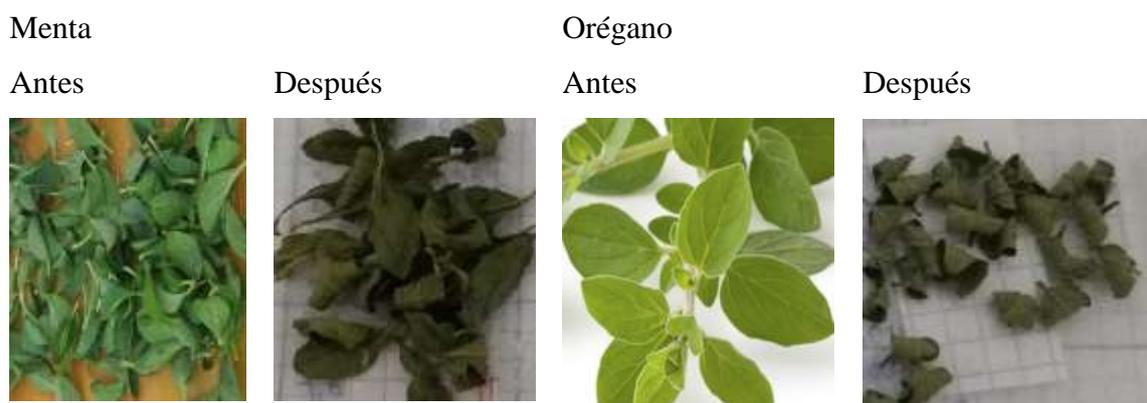


Figura 12. Color de las muestras frescas y secas.

Semiquebradizo del material biológico seco. – las muestras tenían la facilidad de quebrarse al tacto (Figura 13).

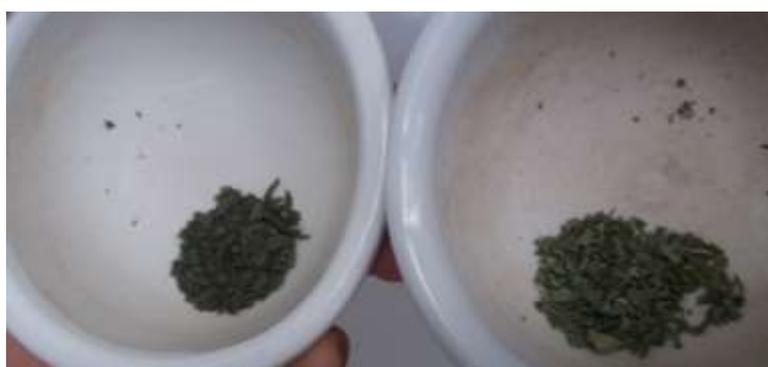
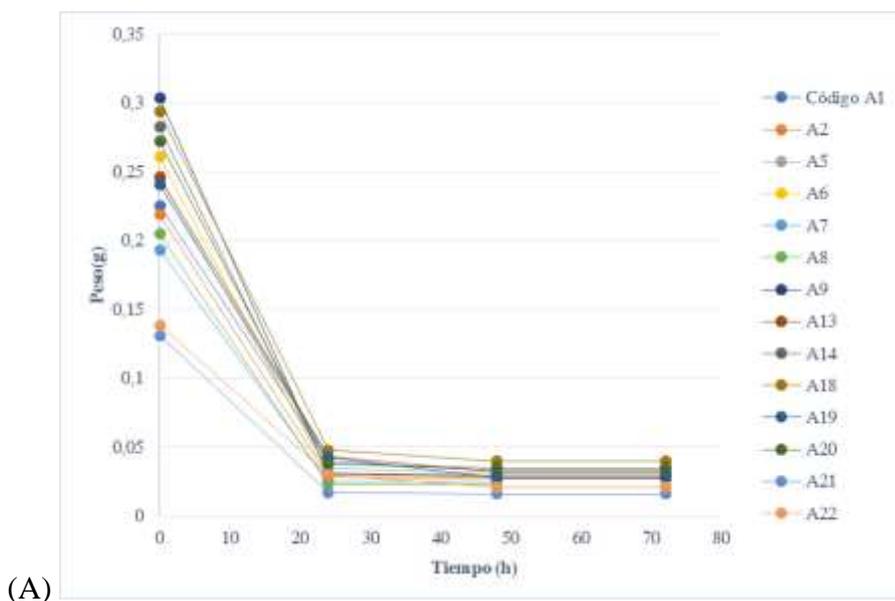


Figura 13. Semiquebradizo de la muestra seca.

Olor del material biológico seco. – tanto como la menta y el orégano obtuvieron el olor característico de la planta.

4.3 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD RETIRADO DEL MATERIAL BIOLÓGICO DESPUÉS DEL SECADO

La menta de acuerdo a la posición en la que se encuentra según el gradiente de temperatura visualizado en la Figura 11 (A, B, C, D), en el primer experimento a una temperatura de 30°C expuesto a la luz infrarroja las 14 hojas con códigos de A1, A2, A5, A9, A13, A14, A18 hasta A22 ubicadas en el centro representado de color rojo obtuvieron un tiempo de secado de 72 horas, mientras que A6 hasta A8 se secaron en 48 horas (Figura 14 A). En el color amarillo están 4 muestras con códigos de A3, A10, A15 secadas en 72 horas, sin embargo, la A23 se secó en 48 horas (Figura 14 B). Cuatro muestras más de código A4 Y A16 con 72 horas y A11 y A24 en 48 horas representadas en el gradiente de temperatura de color verde (Figura 14 C). Las muestras restantes ubicadas en la zona fría o color azul A12 y A25 duraron 72 horas y la A17 duro 48 horas de secado con la luz infrarroja (Figura 14 D). Estas muestras obtuvieron características físicas en cuanto al color se tornaron verde oscuro con pintas café, olor característico de la menta y textura quebradiza.



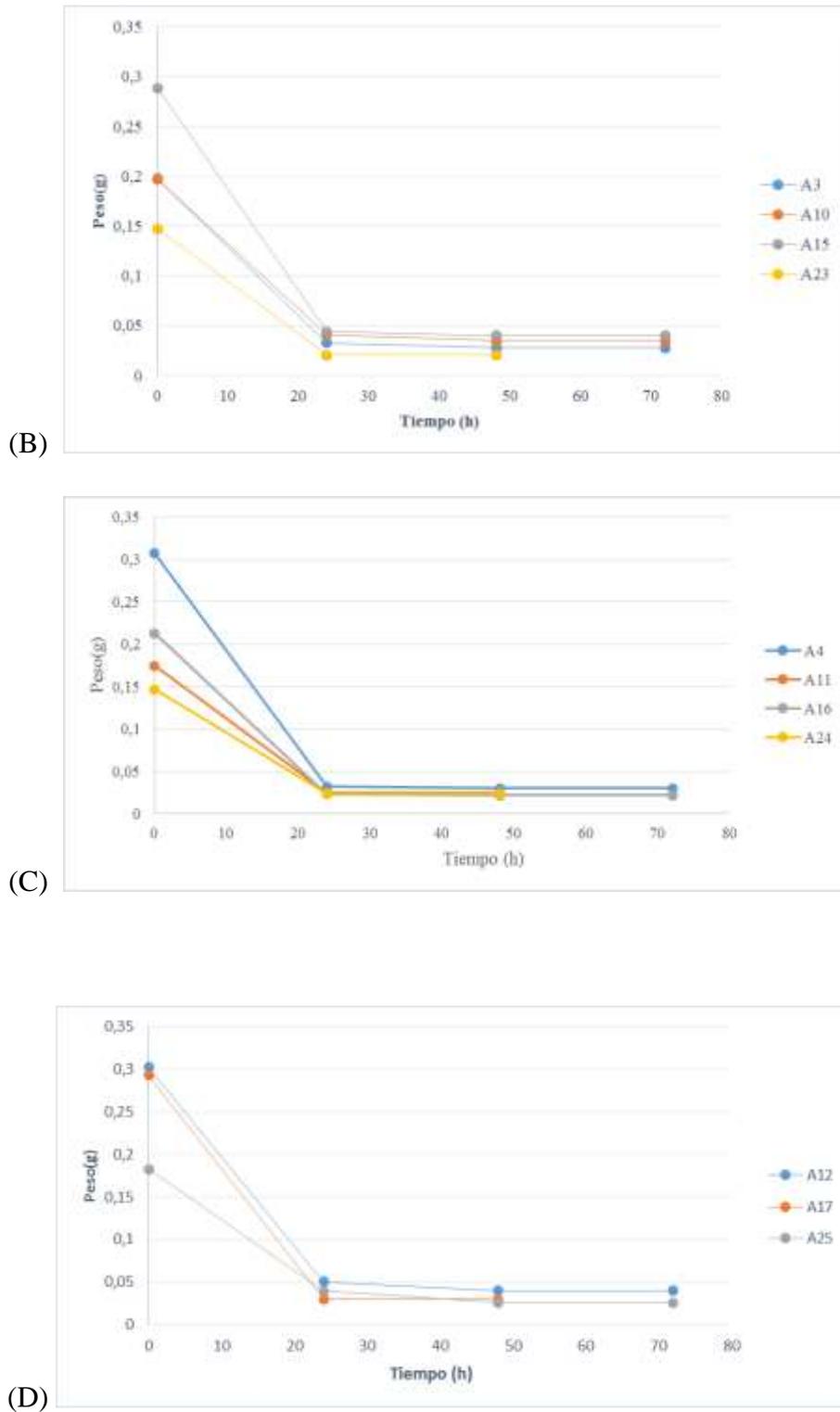
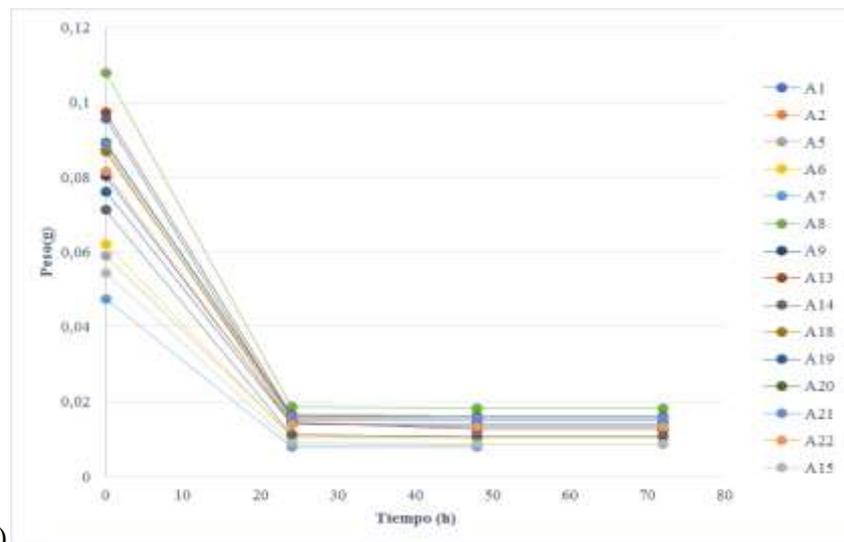


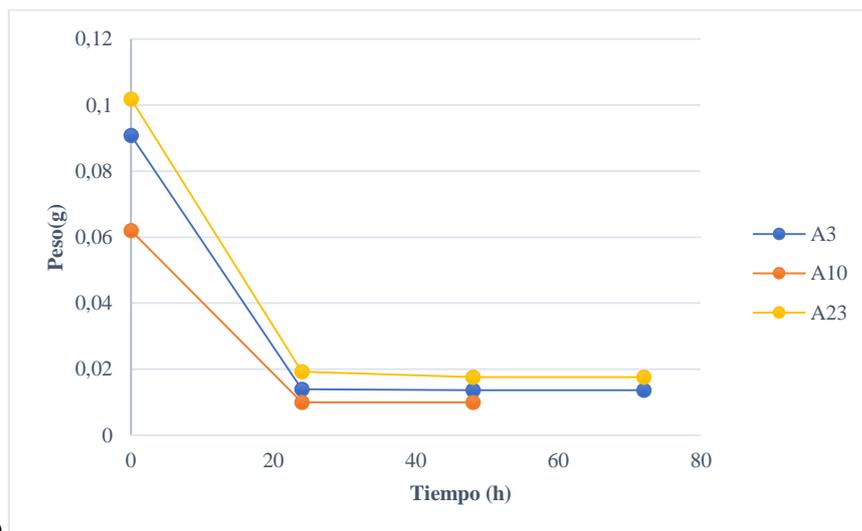
Figura 14. Curvas de secado en la menta expuestas a luz infrarroja a 30°C. (A) Anillo rojo, (B) anillo amarillo, (C) anillo verde, (D) anillo azul

Fuente: elaboración propia

El experimento 2 a temperatura de 40°C en infrarrojo para la zona caliente o color rojo según el gradiente de temperatura se encuentran 15 muestras (hojas), pero tan solo 13 se secan a 72 horas con códigos de A1, A2, A5, A6, A8, A9, A13-A15, A19 hasta A22 y las dos restantes A7y A18 se secan en 48 horas (Figura 15 A). El color amarillo tiene 2 muestras secadas a 72 horas A3 y A23 y 1 muestra secada a 48 horas A10 (Figura 15 B), mientras tanto en el color verde se encuentran las muestras A11, A16, A17 y A24 en un tiempo de secado de 72 horas (Figura 15 C), por último en la zona fría las muestras A4, A12 y A25 obtuvieron el mismo tiempo de secado de las expuestas en el color verde (Figura 15 D), por lo tanto estas muestras tienen características de color verde oscuro, olor característico y textura semiquebradiza.



(A)



(B)

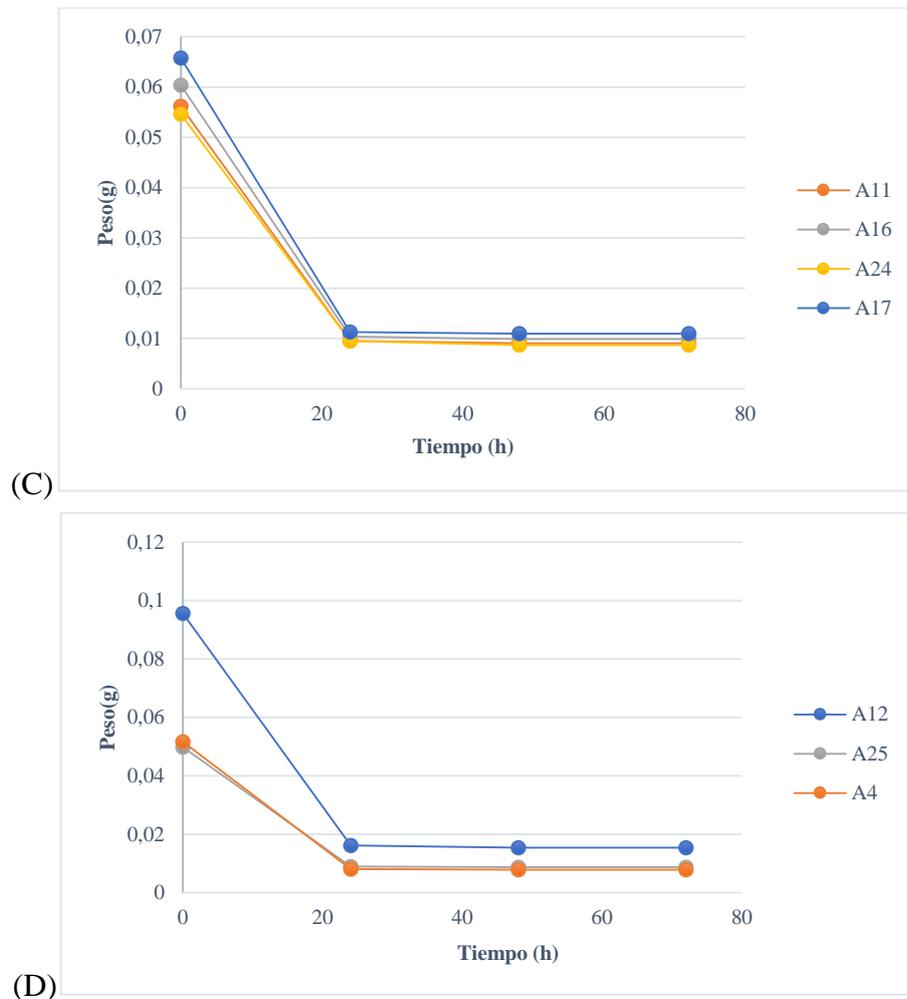
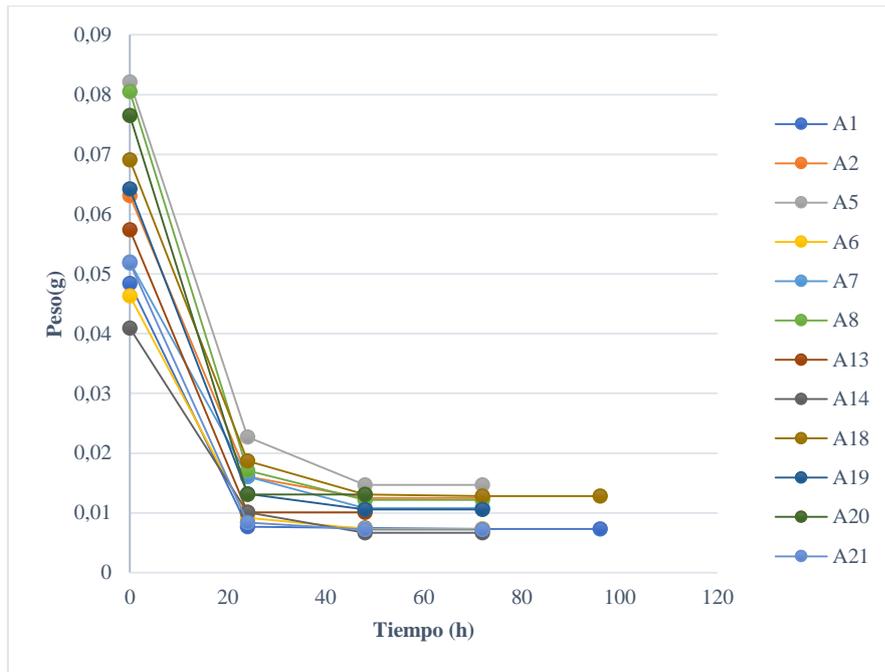


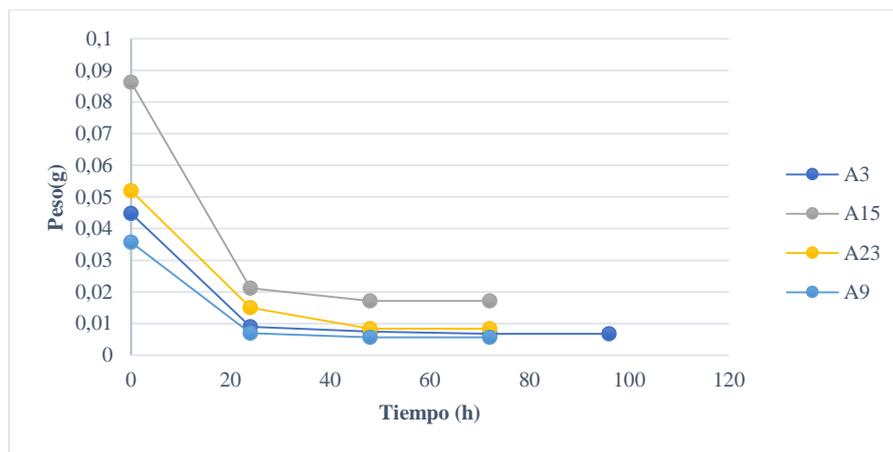
Figura 15. Curvas de secado en la menta expuesta a luz infrarroja a 40°C. (A) Anillo rojo, (B) anillo amarillo, (C) anillo verde, (D) anillo azul.

Fuente: elaboración propia

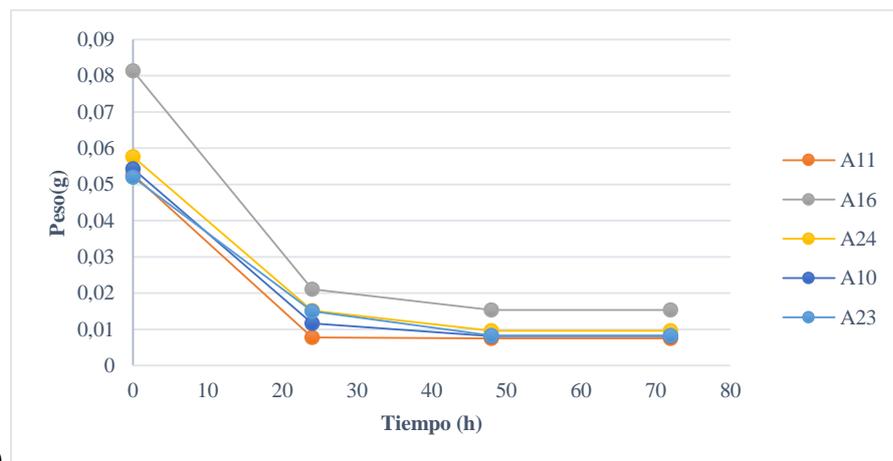
Experimento 3 expuesto a luz halógena a 30°C altura establecida a 18cm en donde se encuentran codificadas las muestras con la letra A desde la 1 hasta la 25, se encuentran distribuidas según el gradiente de temperatura de la siguiente manera, en la zona caliente o centro de la malla existen 12 muestras de menta, dos (A1 y A18) de ellas se secan en 96 horas mientras que el resto se seca en 72 horas (Figura 16 A), para las cuatro que se encuentran en el color amarillo A3 y A22 con rango de secado de 96 horas y las dos más en 72 horas (Figura 16 B). En la zona verde están 5 hojas de mentas todas secadas en un rango de 72 horas (Figura 16 C). Las muestras en la zona fría son cuatro sin embargo una de ellas (A4) se encuentra expuesta hasta 96 horas (Figura 16 D). Estas muestras se caracterizan por tener un color verde opaco, olor más significativo y textura semiquebradiza.



(A)



(B)



(C)

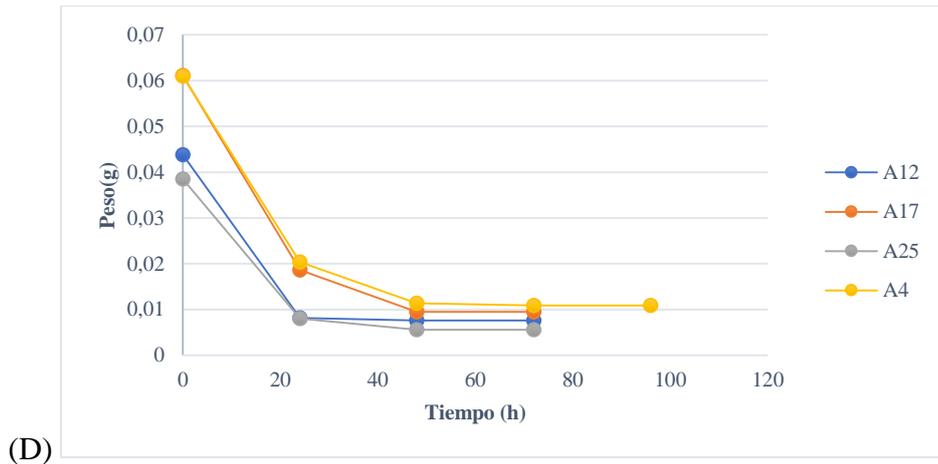
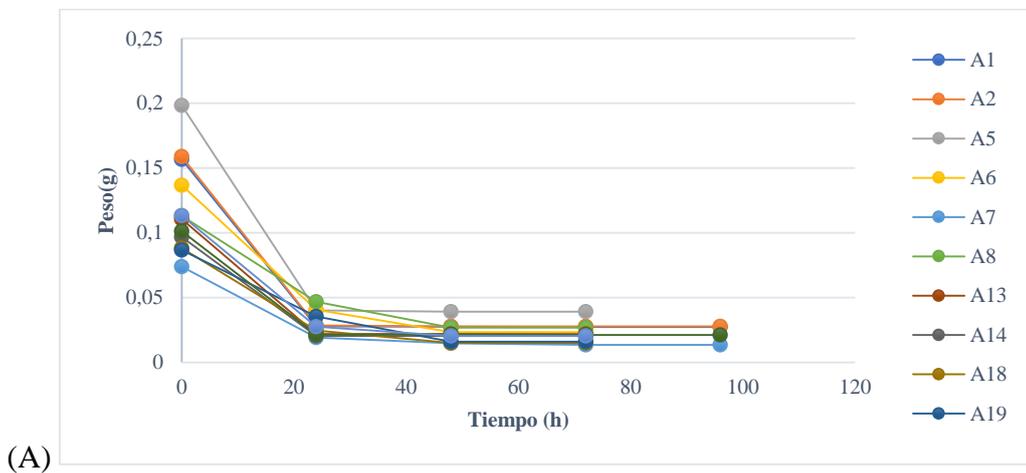


Figura 16. Curvas de secado en la menta expuesta a luz halógena a 30°C. (A) Anillo rojo, (B) anillo amarillo, (C) anillo verde, (D) anillo azul.

Fuente: elaboración propia

El experimento 4 con luz halógena a 40°C se obtiene en la zona caliente 12 muestra en un tiempo entre 72 y 96 horas (Figura 17 A). En el color amarillo están 5 muestras secadas en un tiempo de 72 horas (Figura 17 B). En el color verde se encuentran cuatro muestras entre 72 y 96 horas de secado (Figura 17 C). El secado en el color azul se encuentra en 72 horas con cuatro muestras. Las mentas tienen características de color verde opaco, olor característico a menta, textura suave no quebradiza.



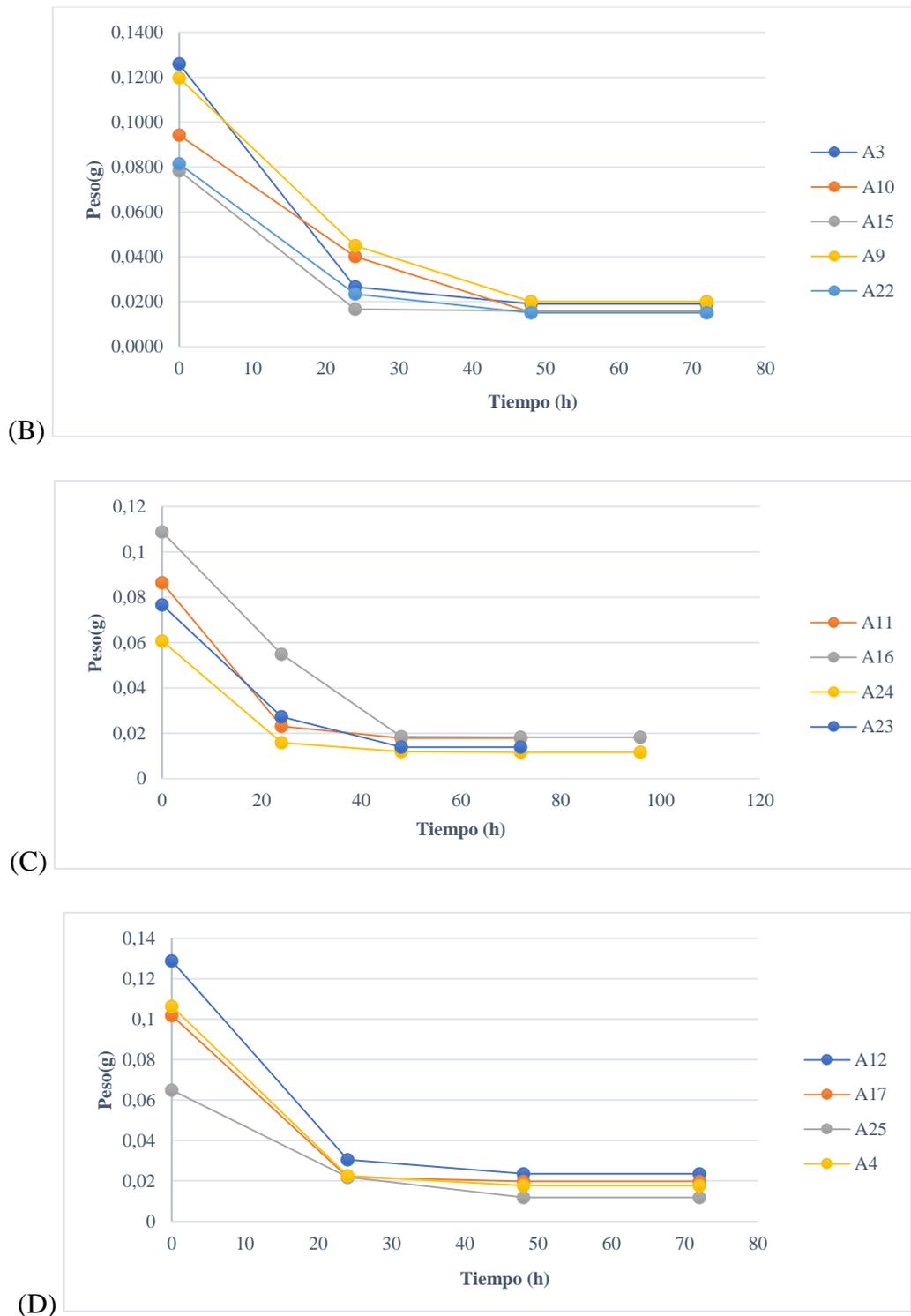
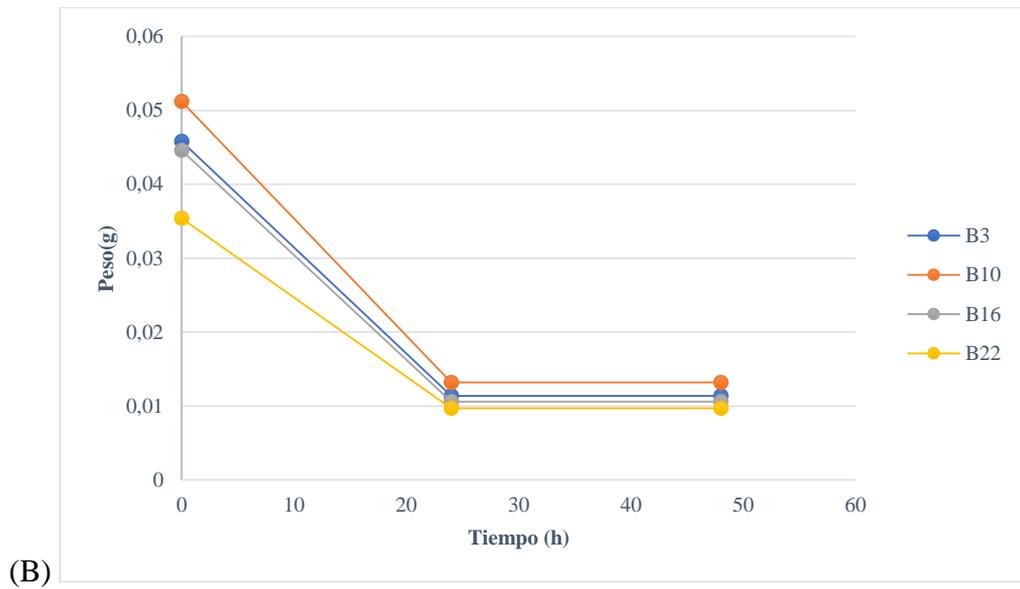
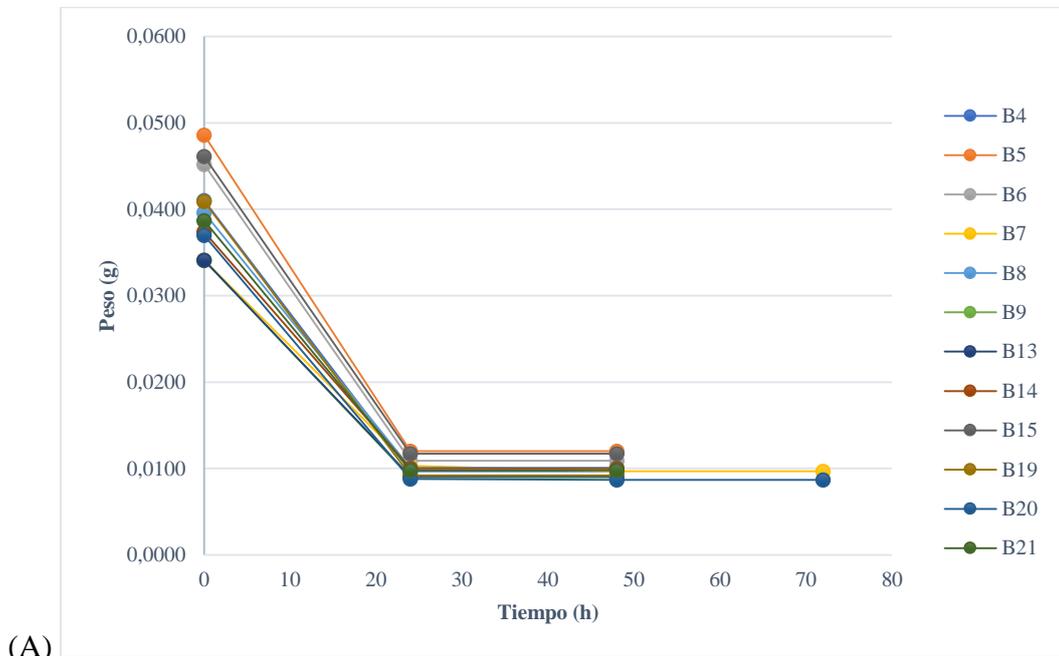


Figura 17. Curvas de secado en la menta expuesta a luz halógena a 40°C. (A) Anillo rojo, (B) anillo amarillo, (C) anillo verde, (D) anillo azul.

Fuente: elaboración propia

Para las muestras de orégano se codificaron con la letra B desde el 1 hasta el 25 colocadas en forma de asterisco, para estas se obtuvieron 12 muestras en la zona centro con un tiempo de secado entre 48 a 72 horas con luz infrarroja a 30°C (Figura 18 A). En la zona amarilla se

obtuvieron 4 muestras en tiempo de 48 horas (Figura 18 B), posteriormente en el color verde se encuentran 4 muestras con tiempos de secado entre 48 a 72 horas (Figura 18 C). En el color azul se encuentran 5 muestras en tiempos de 48 a 72 horas (Figura 18 D). Estas muestras poseen color verde oscuro, olor característico, textura quebradiza.



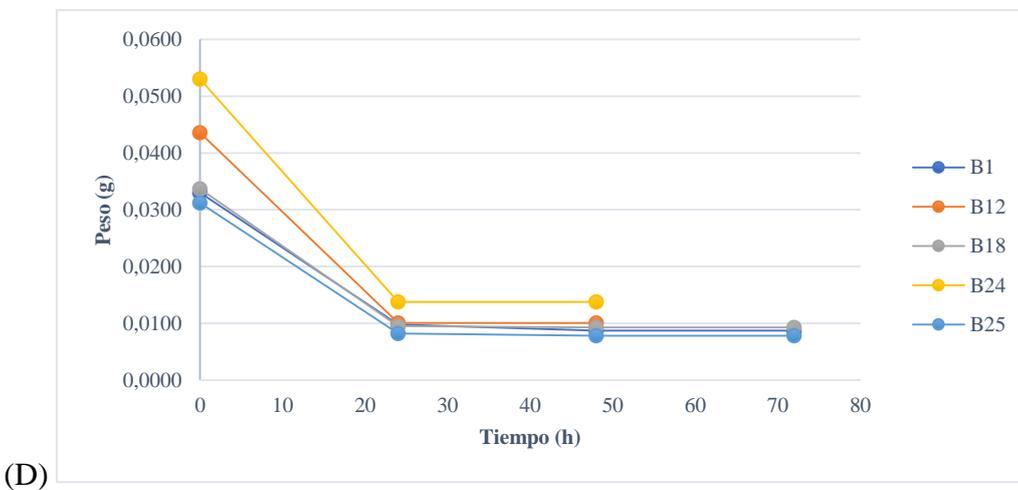
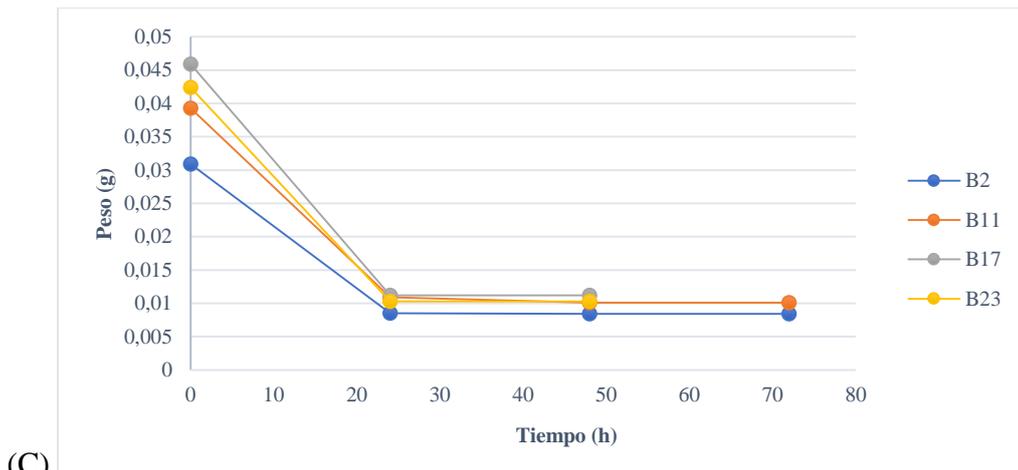
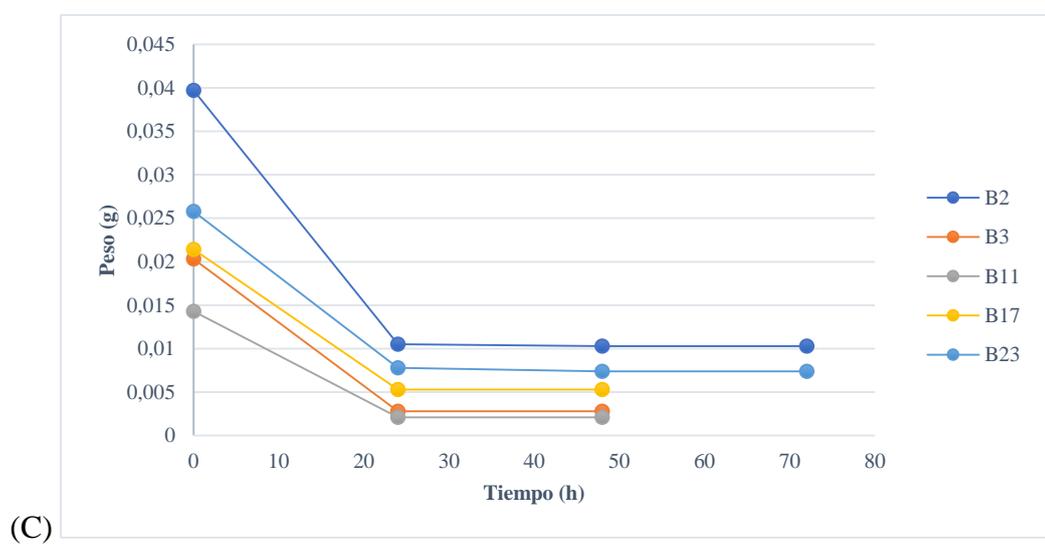
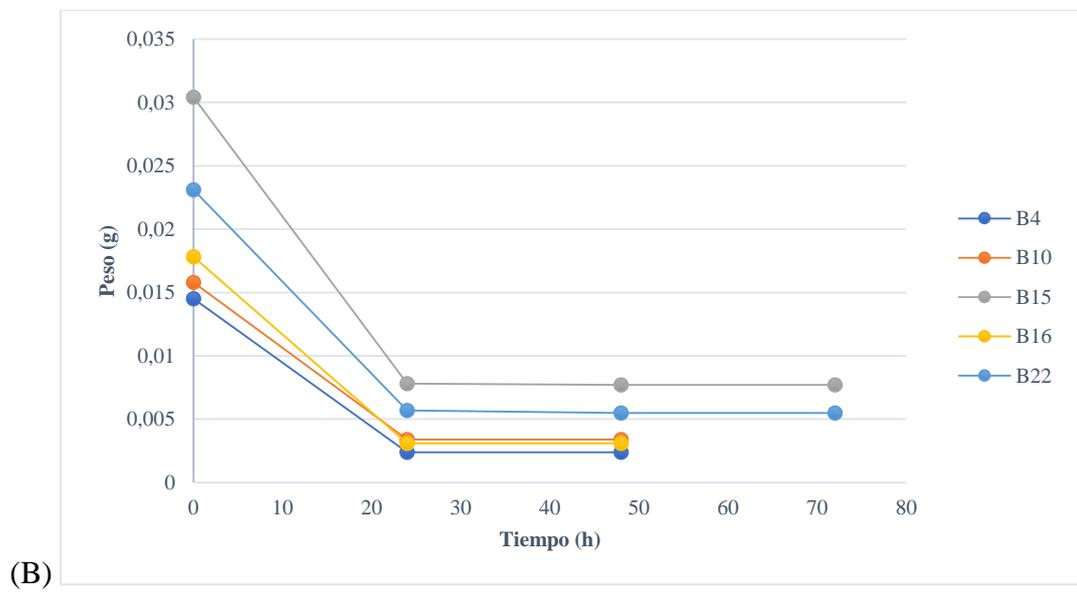
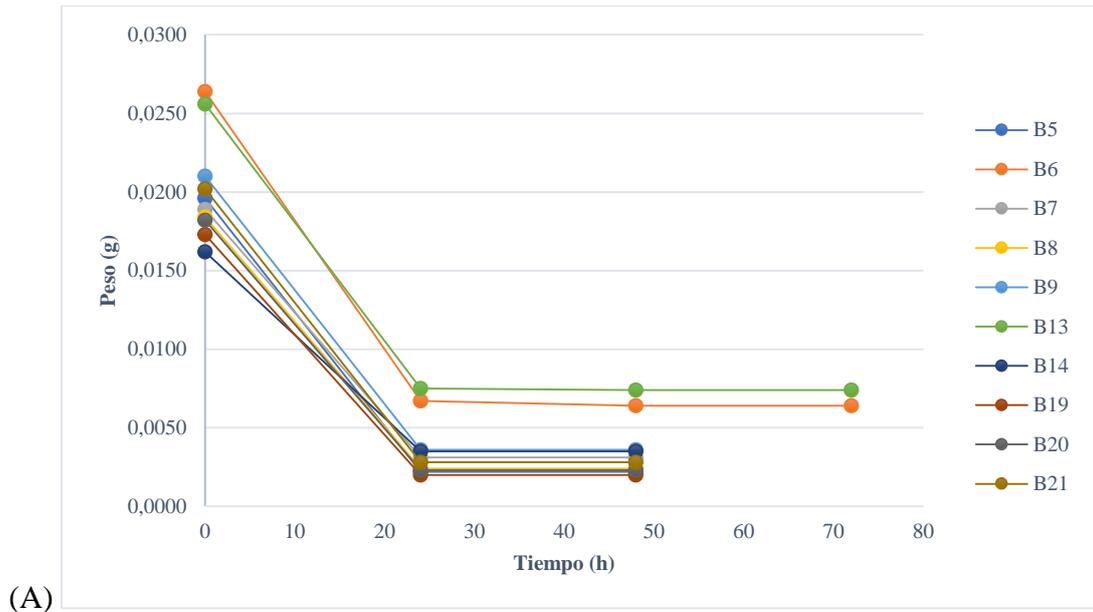


Figura 18. Curvas de secado del orégano expuesto a luz infrarroja a 30°C. (A) Anillo rojo, (B) anillo amarillo, (C) anillo verde, (D) anillo azul.

Fuente: elaboración propia

Experimento 2 de orégano, en la zona centro color rojo se encuentran 10 muestras a una temperatura de 40°C en un rango de 48 a 72 horas (Figura 19 A). En la zona amarilla hay 5 muestras con rangos de 48 a 72 horas (Figura 19 B), mientras tanto para la zona verde se encuentran 5 muestras con los mismos rangos de la zona amarilla (Figura 19 C), en la zona azul se encuentran 5 muestras con rangos de 48 a 72 horas (Figura 19 D). Las muestras obtuvieron las mismas características físicas que el experimento 1 de luz infrarroja a 30°C.



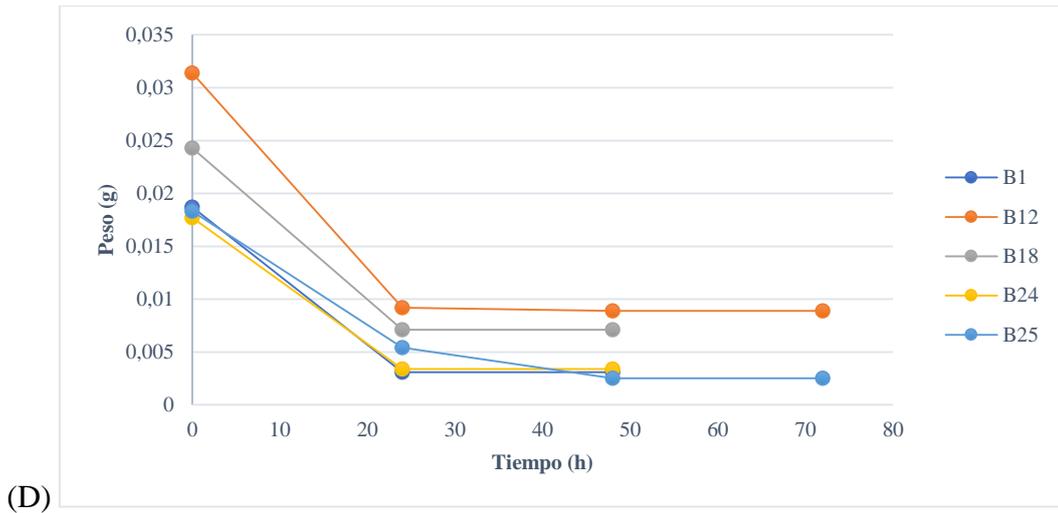
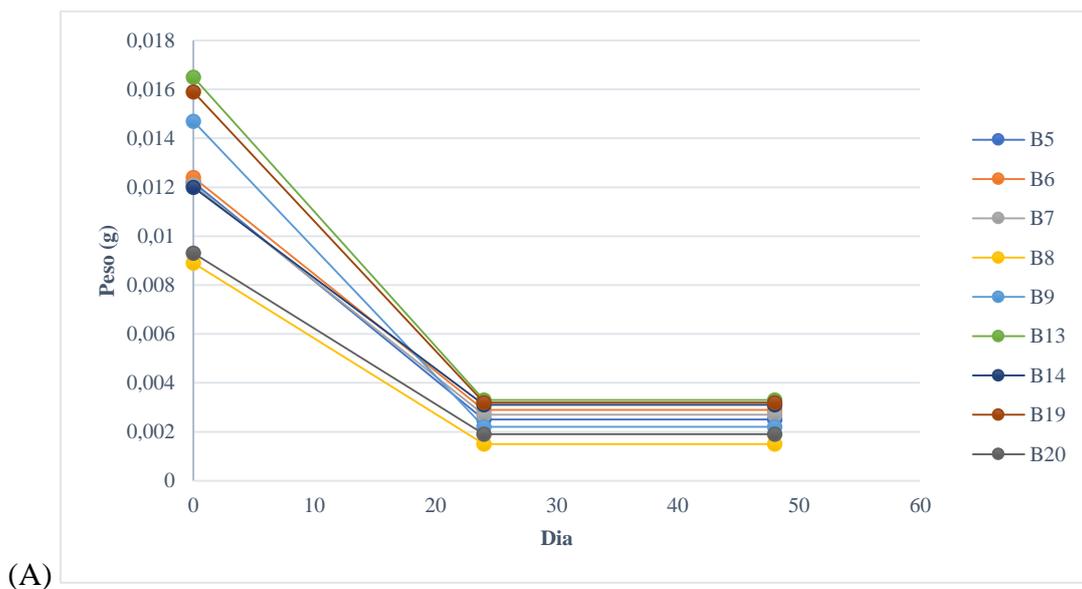


Figura 19. Curvas de secado del orégano expuesto a luz infrarroja a 40°C. (A) Anillo rojo, (B) anillo amarillo, (C) anillo verde, (D) anillo azul.

Fuente: elaboración propia

El experimento 3 está compuesta por luz halógeno a 30°C con 9 muestras en el centro de la malla con tiempo de 48 horas (Figura 20 A). Las cuatro muestras localizadas en la zona amarilla se encuentran en rango de 48 a 72 horas (Figura 20 B), sin embargo, las muestras B2 y B3 tienen 72 horas de secado y las muestras B10, B11, B16, B17 y B23 poseen 48 horas de secado (Figura 20 C), mientras que para las muestras localizadas en la zona azul tienen 48 horas de secado (Figura 20 D). Estas muestras tienen características físicas tales como el color verde oscuro, olor no significativo y textura no quebradiza.



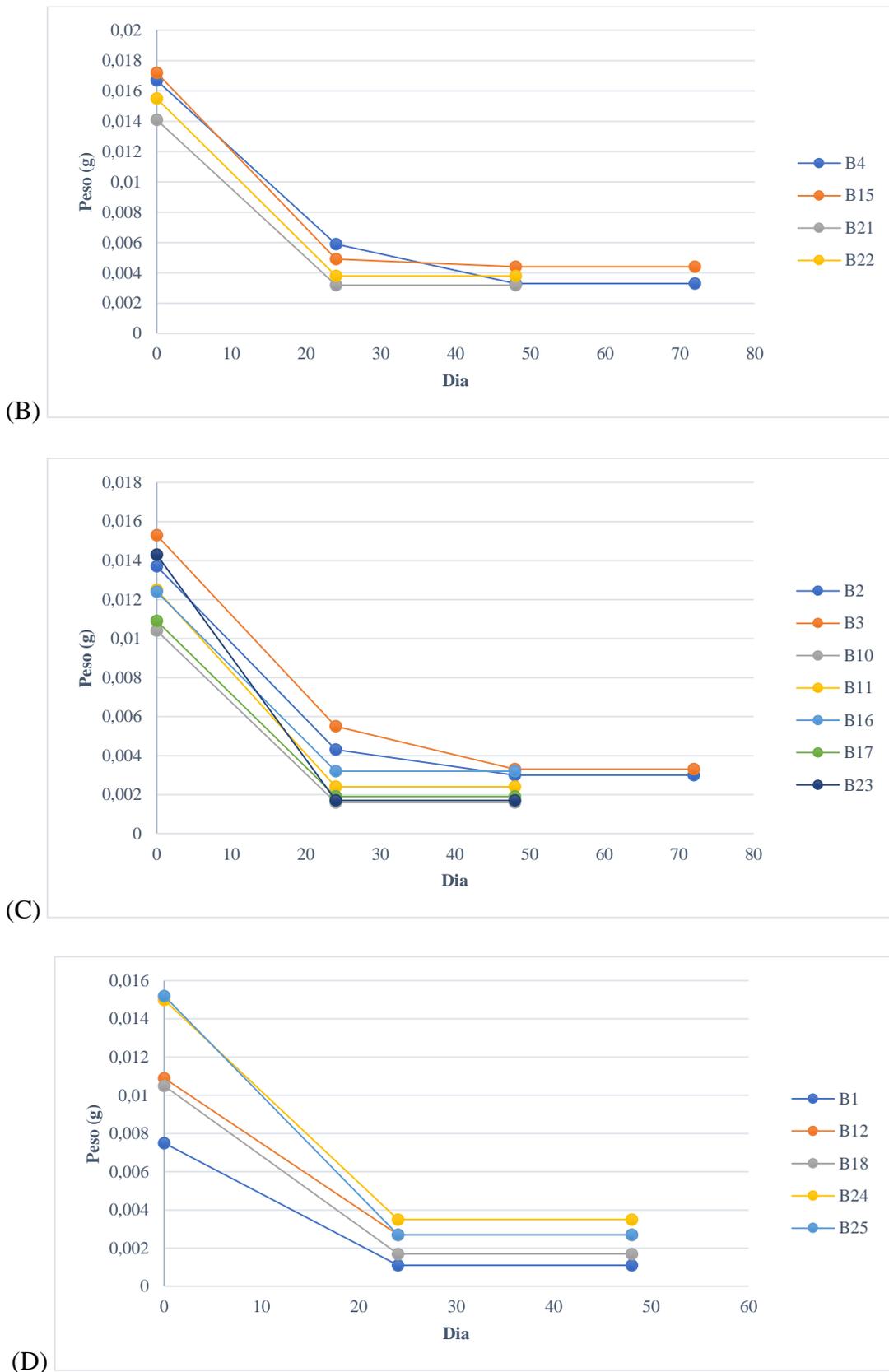
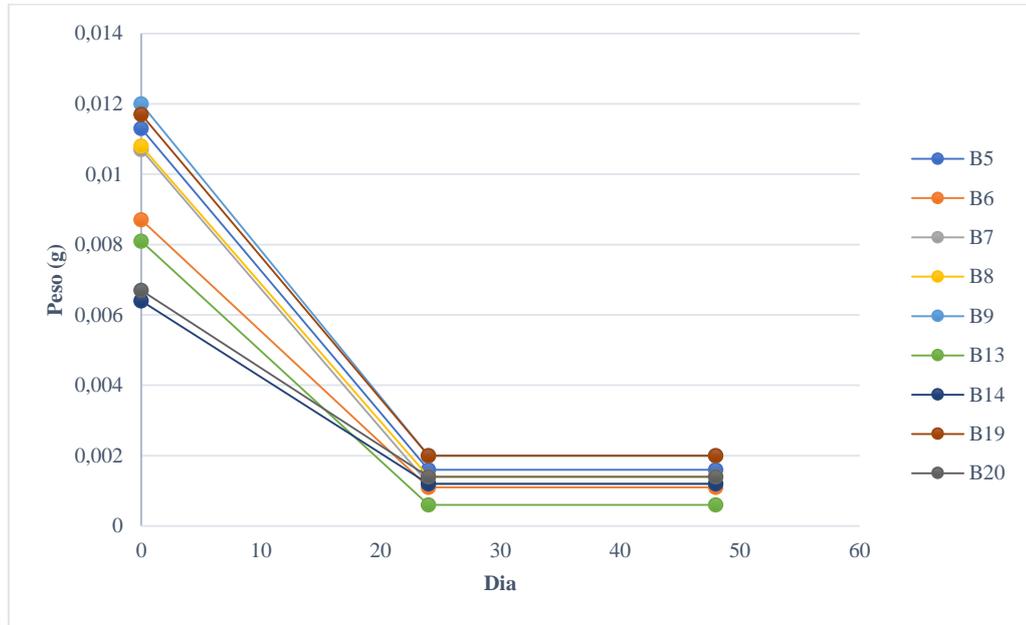


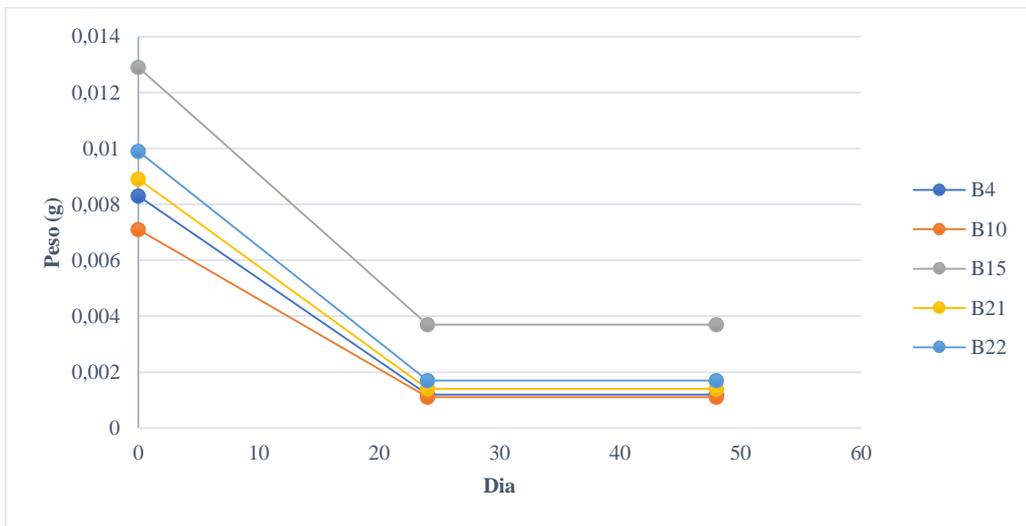
Figura 20. Curvas de secado del orégano expuesto a luz halógena a 30°C. (A) Anillo rojo, (B) anillo amarillo, (C) anillo verde, (D) anillo azul.

Fuente: elaboración propia

Experimento cuatro de orégano con luz halógena a 40°C, conformada por 4 colores en el primer color rojo se encuentran 9 muestras (Figura 21 A). En el color amarillo hay 5 muestras (Figura 21 B), color verde tiene 5 muestras (Figura 21 C) y el color azul tiene 6 muestras (Figura 21 D) todas con rangos de 48 horas. Las características físicas en cuanto al color son verdes opacos, olor característico a orégano y textura no quebradiza.



(A)



(B)

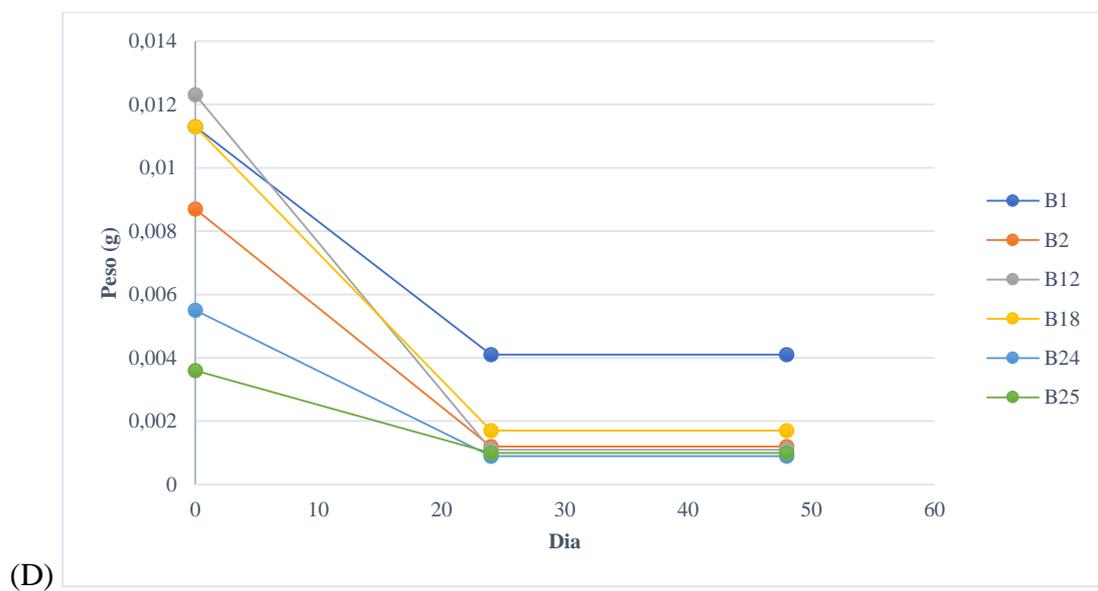
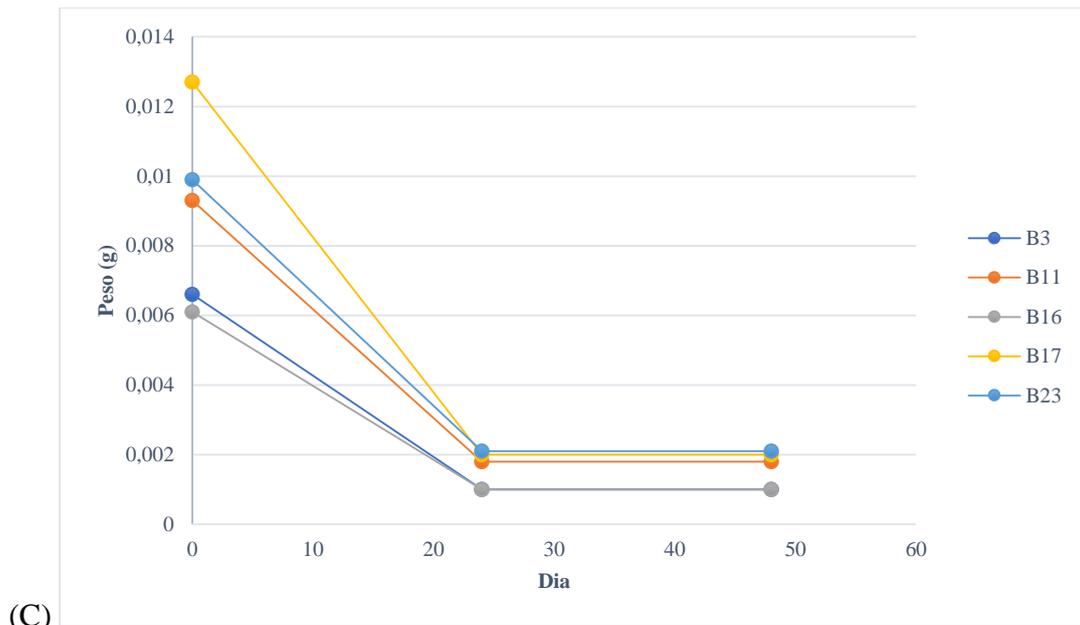


Figura 21. Curvas de secado del orégano expuesto a luz halógena a 40°C. (A) Anillo rojo, (B) anillo amarillo, (C) anillo verde, (D) anillo azul.

Fuente: elaboración propia

La tabla 8 especifica el promedio general y la reducción del peso de las 25 hojas tanto de la menta y el orégano en todas las zonas del gradiente de temperatura para las dos fuentes de energía en estudio, siendo esta reducción de su peso de 0,1996 g para la menta expuesta a la luz infrarroja a 30°C y el orégano de 0,0077g expuesto a la luz halógena de 40°C.

Tabla 8. Promedio de reducción del peso del material biológico seco según la curva de secado para las dos fuentes de estudio.

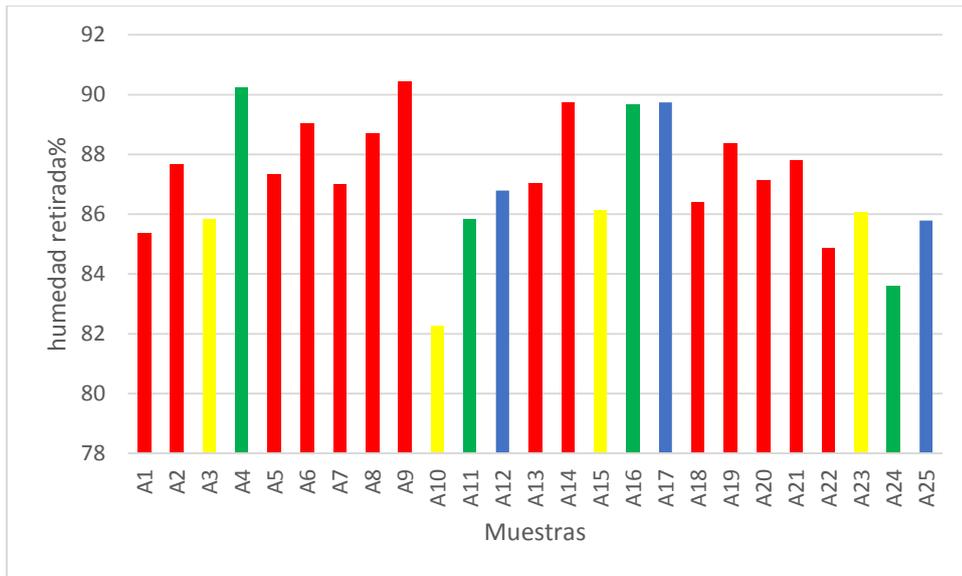
Reducción del peso del material biológico						
	Menta			Orégano		
Fuente de energía	pi (g)	pf (g)	R. peso (g)	pi (g)	pf (g)	R. peso (g)
Luz infrarroja 30°C	0,2284	0,0287	0,1996	0,0403	0,0102	0,0301
Luz infrarroja 40°C	0,0750	0,0124	0,0626	0,0214	0,0044	0,0170
Luz halógena 30°C	0,0586	0,0099	0,0487	0,0130	0,0027	0,0104
Luz halógena 40°C	0,1067	0,0197	0,0870	0,0092	0,0016	0,0077

Fuente: elaboración propia

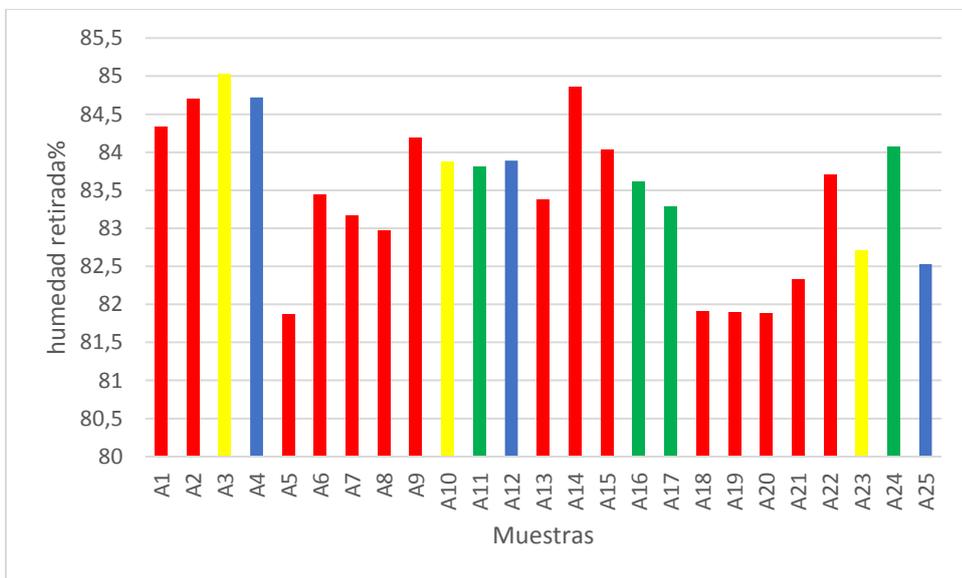
El contenido de humedad para cualquier tipo de alimento seco es fundamental ya que determina la calidad y durabilidad el producto, previniendo la proliferación de microorganismos que causan el deterioró del mismo.

En el experimentó las muestras fueron sometidas en una malla con fuentes de luz infrarroja y halógena cada 24 horas hasta obtener pesos constantes, reduciendo así el mayor contenido de humedad después del secado de las muestras.

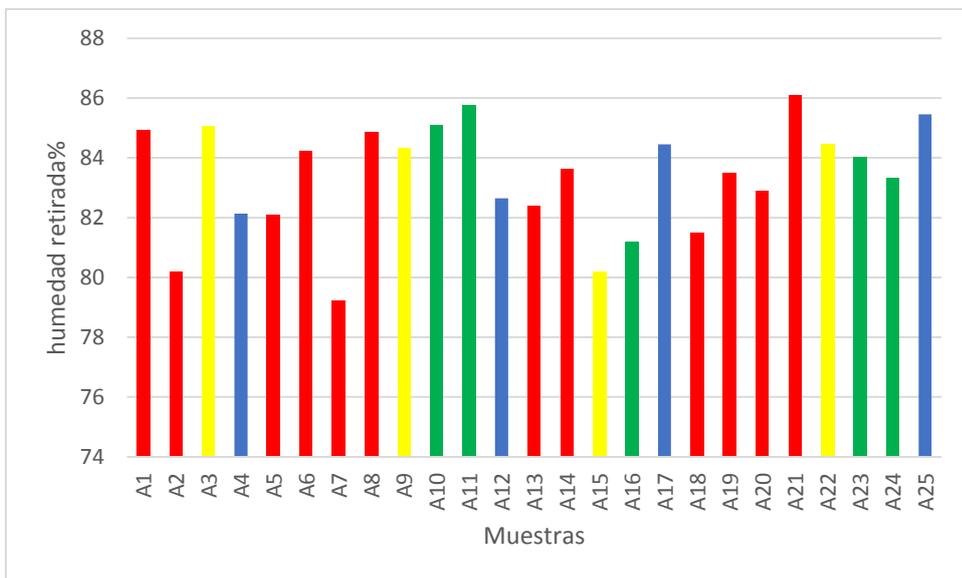
Para el primer experimento con menta a 30°C en infrarrojo se determina el contenido de humedad retirado de la menta y de acuerdo a la posición en cada zona, las barras color rojo pertenecen a la zona caliente o centro con rangos de 84 a 90% de humedad retirada con un promedio de 87%, el color amarillo se encuentra en rangos de 82 a 86% de humedad retirada, las barras verde en rangos de 83 a 90% de humedad retirada y las barras azules en rangos de humedad de 85 a 89% de humedad retirada (Figura 22 A), siendo la mejor muestra en cuanto a la perdida de humedad las que se encontraban en la zona centro de color rojo. Para las muestras de mentas a 40°C en infrarrojo se determina el contenido de humedad retirada especificadas por colores, sin embargo, el color de las barras demuestra que el rango de humedad para todas las zonas esta de 81 a 84% (Figura 22 B). Las muestras expuestas a la luz halógeno a 30°C, demuestran que las hojas de mentas tienen rangos de humedad liberada de 79 a 86% (Figura 22 C. Para la misma muestra utilizando luz halógena a 40 grados Celsius, se demuestra gráficamente que no se reduce más del 85% de humedad (Figura 22 D).



(A)



(B)



(C)

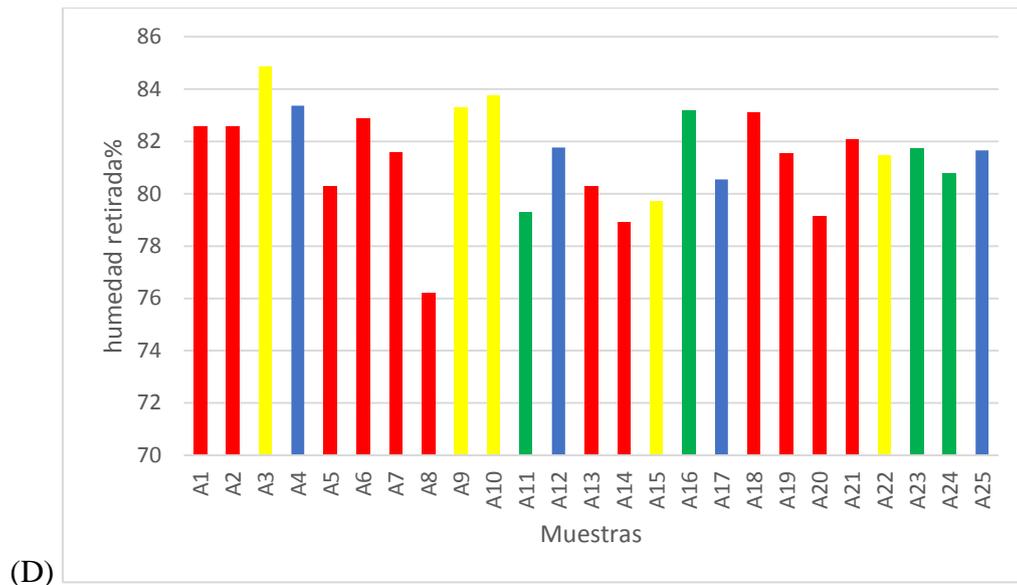
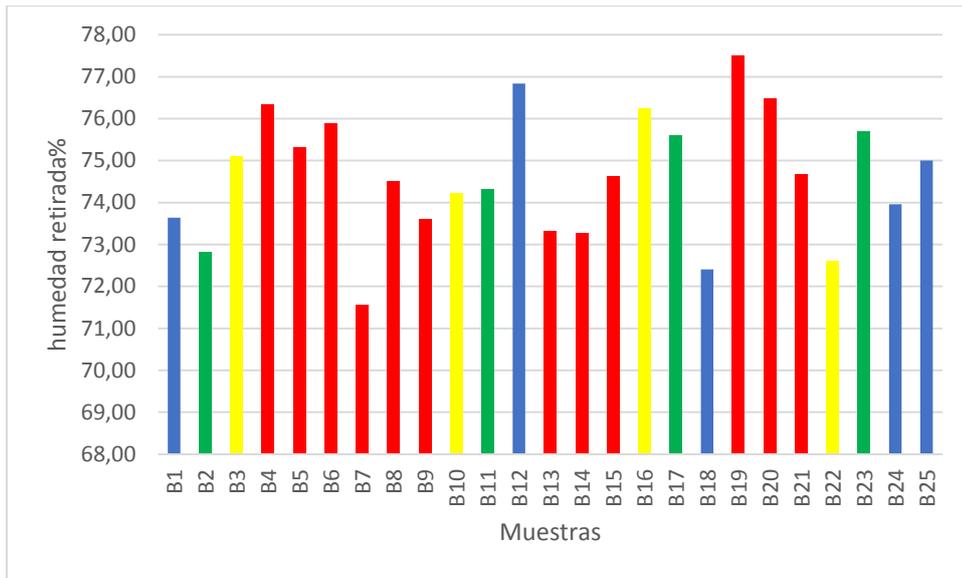


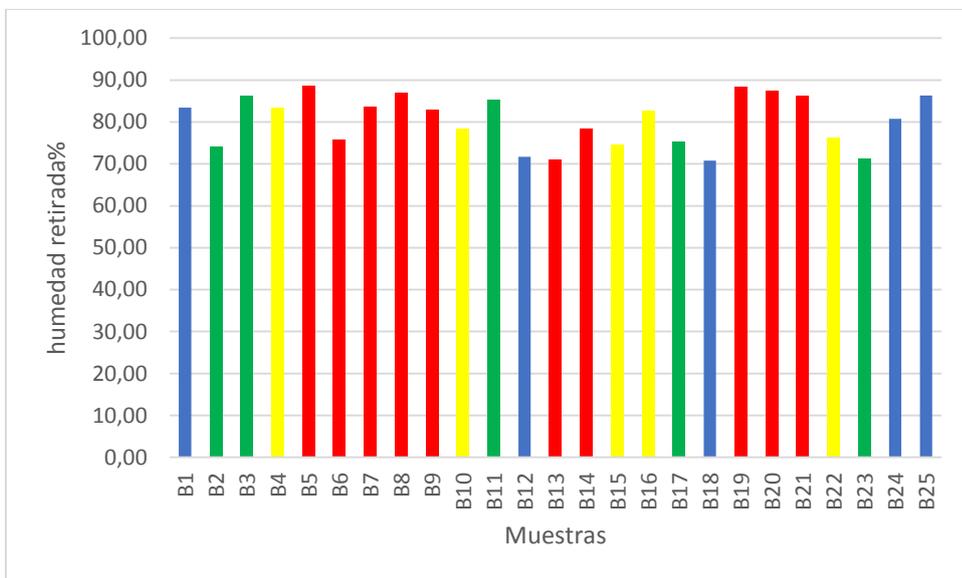
Figura 22. Contenido de humedad retirado después del secado de las muestras de menta para las dos fuentes de energía a las dos temperaturas de trabajo. (A) Infrarrojo 30°C, (B) infrarrojo 40°C, (C) halógeno 30°C, (D) halógeno 40°C.

Fuente: elaboración propia

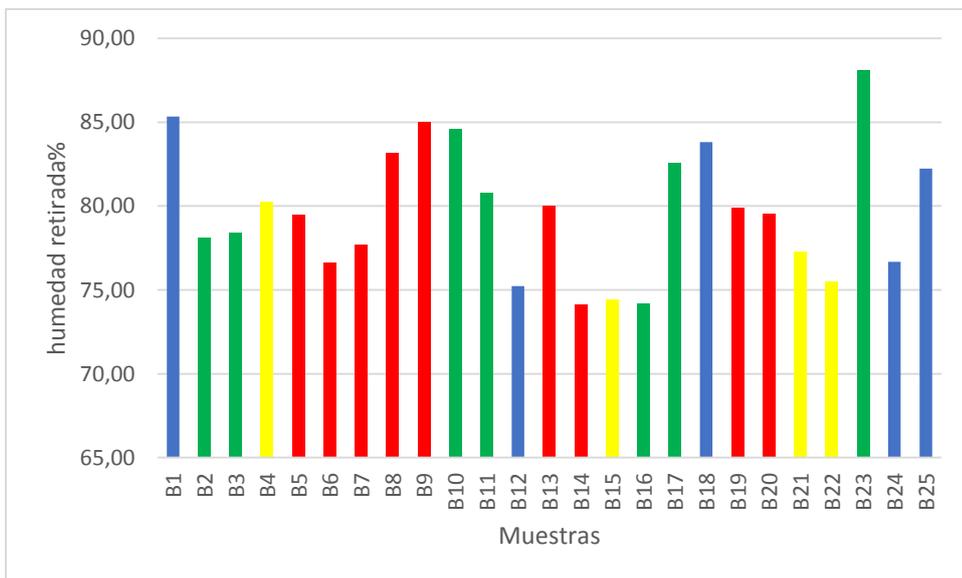
En las muestras de orégano se experimenta con dos fuentes de energía con el fin de determinar el contenido de humedad. Experimento uno se caracteriza por poseer luz infrarroja a 30°C, las muestras con codificaciones con letra B1 hasta B25 cada una con su color específico de acuerdo a las zonas en donde se encuentre, el cual llegan a un contenido de humedad reducido del 74% (Figura 23 A). El segundo experimento expuesto por la misma fuente de energía a una temperatura de 40°C tiene un rango de humedad de 70 a 88% (Figura 23 B). Tercer experimento expuesto a luz halógena a temperatura de 30°C se encuentra en rangos desde 74 hasta 88% de humedad reducida con un óptimo de 81% (Figura 23 C). El último experimento con la misma fuente de energía a temperatura de 40°C contiene humedades desde 63 hasta 92% en donde la zona roja es recomendada ya que se mantienen con la humedad de 79 hasta 92% con un promedio de 85,5% de reducción de humedad (Figura 23 D).



(A)



(B)



(C)

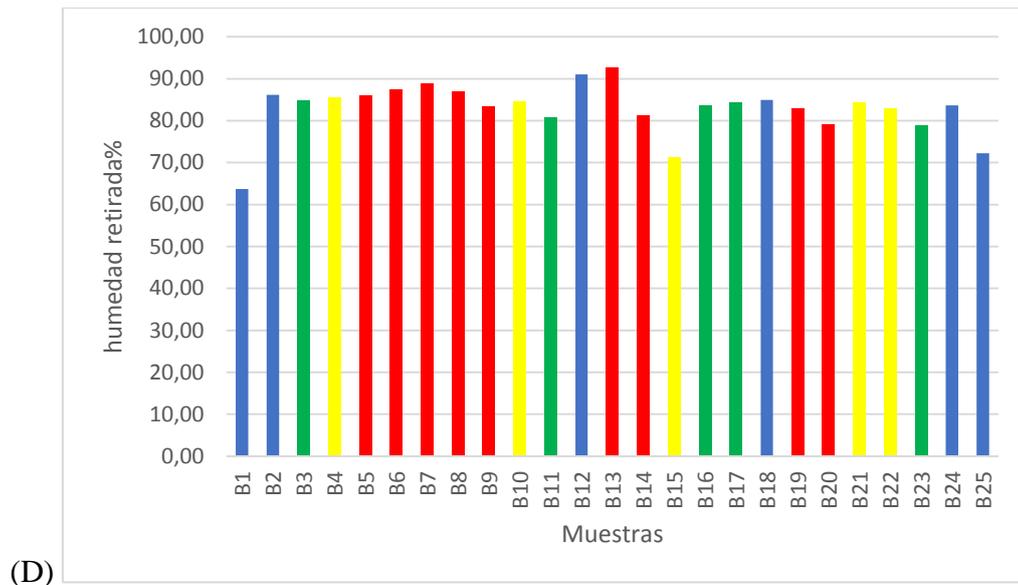


Figura 23. Contenido de humedad retirado después del secado de las muestras de orégano para las dos fuentes de energía a las dos temperaturas de trabajo. (A) Infrarrojo 30°C, (B) infrarrojo 40°C, (C) halógeno 30°C, (D) halógeno 40°C.

Fuente: Elaboración propia

Con el fin de conocer las concentraciones de compuestos fenólicos en los dos materiales biológicos secos, se obtuvo la concentración en el tubo de ensayo en donde visualmente se distingue la coloración de las muestras, posteriormente se realiza las lecturas en el espectrofotómetro a 760nm, comparándolas con muestras secadas por el método convencional según se describe en la literatura. En la Figura 24 se demuestra que las concentraciones de fenoles son relativamente altas en el caso de la menta la que obtuvo mayor concentración de 748,62 mg AG/g fue la muestra expuesta a la luz halógena a 40°C, mientras que en la luz infrarroja a 30°C tuvo un valor inferior de 96,51 mg AG/g. En el caso del orégano la mejor concentración fenólica es de 606,62 mg AG/g de muestra seca en la luz halógena a 30°C y la menor concentración de fenólicos es la expuesta a la luz halógeno 40°C con 393,38 mg AG/g de muestra.

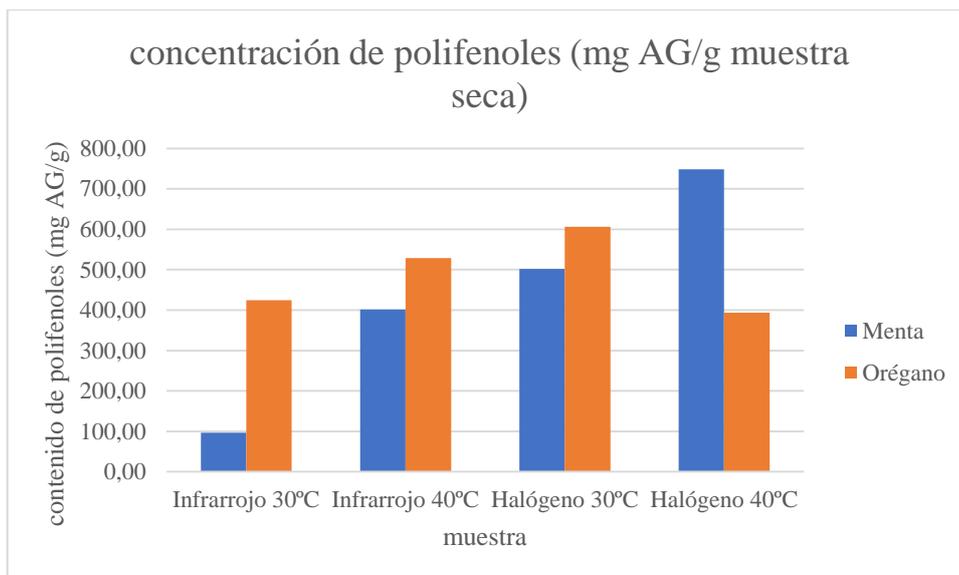


Figura 24. Concentración de compuesto fenólicos en el material biológico seco en las dos fuentes de energía.

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

1. El contenido de humedad inicial del orégano fue de 77,32% y la menta 86,98%, con un peso inicial de 50 gramos, utilizando el método de estufa a una temperatura de 40°C por 24 horas con el objetivo de evitar pérdidas de compuestos volátiles.
2. Se realizó el secado del material biológico expuesto a la luz infrarroja y halógena con temperaturas de 30 a 40°C en lapsos de cada 24 horas, con el fin de obtener el peso constante mediante la curva de secado, dando como resultado una reducción del peso de la menta de 0,1996 g en la luz infrarroja a 30°C, mientras que para el orégano fue de 0,0077 g expuesto a la luz halógena de 40°C.
3. El contenido de humedad retirado después del secado para las muestras en los dos materiales biológicos es para: el orégano con 85,5% expuesto a la luz halógena de 40°C con un tiempo de 48 horas y la menta con 87% expuesto con luz infrarrojo a 30°C con un rango de 48 a 72 horas, para las zonas rojas. Sin embargo, para el contenido de polifenoles los mejores son: el orégano con 606,62mg AG/g de muestra seca expuesta a la luz halógena a 30°C y la menta con 748, 62mg AG /g de muestra seca expuesta con luz halógena 40°C.

5.2 RECOMENDACIONES

1. Que se realicen nuevas investigaciones donde:
 - a. Se utilicen comparaciones con distintos métodos de secado en cuanto a las características físicas y tiempo de secado.
 - b. Se cuantifique el contenido de microorganismos en los materiales biológicos con el propósito de determinar su efecto en las dos fuentes de energía.
 - c. Se estimen los costos de producción en los experimentos realizados.
2. Que se realice la extracción de aceite para las dos muestras para así determinar su rendimiento y verificar si es rentable a gran escala.
3. Que se diseñe y construya el equipo para verificar y escalar la tecnología para el secado validando así los resultados obtenidos.

CAPITULO VI

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acevedo, D., Navarro, M., y Monroy, L. (2013). Composición Química del Aceite Escencial de Hojas de Orégano (*Origanum vulgare*) %J Información tecnológica. 24, 43-48.
- Acosta, A., y Burgos, J. (2012). *Condiciones de operación de un secador de rodillos en la deshidratación de residuos de tomate(Lycopersicum esculentum Mill)*. (Ingeniero en alimentos Experimental), Universidad del Valle, Santiago de cali- valle. Retrieved from <http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/10893/4165/4/CB-0460922.pdf>
- AGRO, W. (2013). Secado solar Retrieved from <http://www.agrowaste.eu/wp-content/uploads/2013/02/SECADO-SOLAR.pdf>
- Aguilar, J. (2012). Métodos de conservación de alimentos. Primera Retrieved from http://www.aliat.org.mx/BibliotecasDigitales/economico_administrativo/Metodos_de_conservacion_de_alimentos.pdf
- Bedón, E. (2006). *Diseño y construcción de un secador experimental de hierbas aromáticas con el empleo de energía solar, capacidad de 5 kg.* . Escuela politécnica del ejército, Sangolquí- Ecuador
- Bruno, M., Delgadillo, D., y Rivas, C. (2015). *Diseño y construcción de un deshidratador de manzana por el método de convección forzada empleando la técnica de secado por energía radiante* (Ingeniero en comunicaciones y Electrónica Experimental), Instituto Politécnico Nacional México. Retrieved from <https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/21242/1/DISE%20C3%91O%20Y%20CONSTRUCCI%20C3%93N%20DE%20UN%20DESHIDRATADOR%20DE%20MANZANA%20POREL%20M%20C3%89TODO%20DE%20CONVECCI%20C3%93N%20FORZADA%20EMPLEANDO.pdf>
- Calafat, M. (2001). Materiales Biologicos y Biomateriales *Real Academia de Ciencias*, 1-13.
- Calle, R., y Aparicio, J. (2011). *Diseño de una planta de deshidratación de hierbas aromáticas*. (Ingeniero Mecánicos), Escuela Superior Politécnica del Litoral Guayaquil- Ecuador Retrieved from <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/16919/3/TESIS%20FINAL.pdf>

- Cengel, Y. (2007). *Transferencia de Calor y Masa* (McGraw-Hill Ed. Tercera ed.). México: Delgado, A.
- Cengel, Y., y Boles, M. (2006). *Termodinámica* (McGraw-Hill Ed. quinta ed.). México.
- Chinen, M. (2014). Fichas estándar de familia del catálogo de bienes, servicios y obras del MEF Retrieved from https://www.mef.gob.pe/contenidos/doc_siga/catalogo/ctlogo_familias_lampara_halogena.pdf
- Espinoza , J. (2011). *Aplicación de un proceso de secado asistido infrarrojo para la deshidratación del fruto de murtila (ugni molinae turcz).* (Aplicación de un proceso de secado asistido infrarrojo para la deshidratación del fruto de murtila (ugni molinae turcz).), universidad de chile Santiago Chile.
- Espinoza , J. (2013). *Estudio del proceso de secado con lámparas infrarrojas y su influencia sobre la determinación del grado de humedad en cubetas de cartón de huevos producidas en la fábrica avícola ubicada en samanga.* (Ingeniero Mecánico Estudio), Universidad Técnica de Ambato, Ambato- Ecuador.
- Ezidri. (2018). blog Retrieved from <https://www.deshidratadordealimentos.cl/como-deshidratar-alimentos/>
- Estudio del proceso de secado en un secador de halógeno de los granos de maíz nixtamalizados (2013).
- Fundación Celestina, P. (2005). Guía de uso de secaderos solares para frutas, legumbres, hortalizas, plantas medicinales y carne. Retrieved from <http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/FIELD/Montevideo/pdf/ED-Guiasecaderosolar.pdf>
- Gómez, A., Mosqueda, G., Juárez, A., y Sosa, M. (2016). Aplicación de radiación infrarroja como método de deshidratación en Jitomate Cherry México, 1-10.
- Holman, J. (2008). *Transferencia de calor* (Octava ed.).
- Ibarz, A., y Barbosa, G. (2005). *Operaciones Unitarias en la Ingeniería de alimentos* (M.-. Prensa Ed. primera ed.). España: Grupo Mundi- Prensa.
- INAMHI. (2015). Red de estaciones automáticas hidrometeorológicas. Retrieved from <http://186.42.174.236/InamhiEmas/>
- Jangam, S., Law, C., y Mujumdar, A. (2011). *Drying of Foods, vegetables and fruits* (Vol. 2).

- Kocabiyik, H., Pan, Z., y Atungulu, G. (2011). *Combined infrared and hot air drying. Infrared heating for food and agricultural processing*. Boca Ratón
- Krishnamurthy, K., Khurana, H., Irudayaraj, J., y Demirci, A. (2008). Infrared heating in food processing: an overview. *comprehensive reviews in food sciences and food safety*. 7, 12. doi:1541-4337
- McCabe, W., Smth, J., y Harriott, P. (1998). *Secado de sólidos: En: Operaciones unitarias en Ingeniería Química*. (McGraw-Hill Ed. Cuarta ed.). Madrid.
- McCabe, W., Smth, J., y Harriott, P. (2011). *Operaciones unitarias en Ingeniería Química* (McGraw-Hill Ed. cuarta ed.). España
- Medina, C. (2015). *Estudio del proceso de deshidratación de alimentos frutihortícolas: empleo de microondas y energía solar*. (Magister en Tecnología e Higiene de los Alimentos Estudio), Universidad nacional de la Plata La plata- Buenos Aires. Retrieved from http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/46496/Documento_completo.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- Menéndez, J., y Moreno, A. (2017). *Aplicaciones industriales del calentamiento con energía microondas*. (U. T. d. Cotopaxi Ed.). Latacunga- Ecuador
- Muñoz, F. (1996). *Plantas Medicinales y Aromáticas; estudio, cultivo y procesado*. (M. p. S.A Ed.). Madrid-España.
- Muñoz, F. (2002). *Plantas medicinales y aromáticas: Estudio, cultivo y procesado* (Vol. 4 edición). España.
- Ocampo, A. (2006). Modelo cinético del secado de la pulpa de mango. *Revista EIA*, 5, 119-128.
- Ochoa, S. (2018). *Secado*. Retrieved from <http://sgpwe.izt.uam.mx/files/users/uami/sho/Secado.pdf>
- Osorio, J. (2009). *Aspectos Básicos de Farmacognosia* (U. d. Antioquia Ed.). Antioquia: Universidad de Antioquia
- Puentes, D., Echegaray, P., Castro, M., y Di Scala, K. (2013). Aplicación de moledos matemáticos al proceso de secado asistido por infrarrojos de descartes de limón *redalyc.org*, 80, 91-97.
- Ratti, C., y Mujumdra, A. (2006). *Infrared drying. Handbook of Industrial Drying*.
- Rojas, M. (2014). *Determinación de un modelo de ratio de secado en manzana y manzanilla para lograr la eficiencia de secado del producto en la provincia de Chimborazo* (Ingeniero Agroindustrial Investigativa), Universidad Nacional de Chimborazo,

- Riobamba. Retrieved from <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/653/1/UNACH-EC-IET-2014-0006.pdf>
- Sánchez, E., García, D., Carballo, C., y Crespo, M. (1996). Estudio farmacognóstico de *Mentha x piperita* L. (toronjil de menta) %J Revista Cubana de Plantas Medicinales. *1*, 40-45.
- Tirado, F., Correa, A., y Montero, M. (2015). Estudio comparativo de métodos empleados para la determinación de humedad de varias matrices alimentarias *scielo*, *26*, 1-8. doi:10.4067/S0718-07642015000200002
- Tirado, F., Correa, A., y Montero, M. (2016). "Secado de rodajas de fruto del árbol del pan mediante la técnica de ventana refractiva". *Tecno Lógicas*, *19*, 103-111.
- Tonguino, M. (2011). *Determinación de las condiciones óptimas para la deshidratación de dos plantas aromáticas menta y orégano* Universidad Técnica del norte, Ibarra-Ecuador.
- Treybal, E. (2008). *Operaciones de transferencia de masa* (segunda ed.). México.
- Turismo., M. d. (2010). Estudios etnobotánicos Retrieved from www.turismo.gob.ec
- Vuarant, C. (2013). *Optimización del proceso de secado de arándanos por infrarrojos* (Tesis Doctoral), Universidad Politécnica de valencia Valencia. Retrieved from <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/43771/VUARANT%20-%20Optimizaci%C3%B3n%20del%20proceso%20de%20secado%20de%20ar%C3%A1ndanos%20por%20infrarrojos..pdf?sequence=1>

CAPITULO VII

7. ANEXOS

Anexo 1. Características físicas de la menta en las dos fuentes de energía.

Cód.	Infrarrojo 30°C		Infrarrojo 40°C		Halógeno 30°C		Halógeno 40°C	
	Tamaño (cm)	Peso inicial (g)	Tamaño (cm)	Peso inicial (g)	Tamaño (cm)	Peso inicial (g)	Tamaño (cm)	Peso inicial (g)
A1	5,10	0,2255	3,50	0,0957	3,00	0,0484	3,90	0,1567
A2	4,80	0,2190	3,70	0,0876	2,80	0,0631	4,00	0,1588
A3	4,80	0,1978	3,60	0,0908	3,00	0,0448	4,00	0,1260
A4	6,30	0,3075	3,10	0,0517	2,40	0,0610	3,50	0,1064
A5	5,20	0,2449	2,60	0,0590	3,20	0,0821	3,80	0,1984
A6	6,00	0,2610	2,70	0,0622	2,80	0,0463	3,70	0,1367
A7	5,20	0,1936	2,90	0,0475	2,50	0,0520	2,90	0,0738
A8	5,10	0,2050	3,20	0,1080	3,80	0,0805	2,80	0,1130
A9	6,60	0,3035	3,40	0,0803	2,50	0,0357	3,50	0,1197
A10	4,30	0,1971	2,90	0,0620	3,20	0,0543	3,20	0,0942
A11	4,30	0,1744	3,10	0,0562	3,00	0,0527	3,20	0,0865
A12	5,80	0,3028	3,10	0,0956	2,80	0,0438	3,70	0,1289
A13	5,20	0,2464	3,20	0,0974	3,10	0,0574	3,20	0,1105
A14	6,30	0,2827	3,30	0,0713	2,50	0,0409	3,50	0,0967
A15	5,60	0,2885	3,00	0,0545	2,50	0,0863	3,00	0,0783
A16	5,20	0,2127	2,90	0,0604	3,10	0,0813	3,50	0,1088
A17	6,30	0,2933	3,20	0,0658	3,10	0,0611	3,10	0,1018
A18	5,50	0,2937	3,00	0,0868	2,60	0,0691	2,90	0,0881
A19	6,00	0,2406	3,00	0,0762	3,00	0,0642	3,00	0,0866
A20	5,70	0,2721	3,30	0,0894	3,70	0,0765	3,30	0,1012
A21	4,10	0,1312	3,10	0,0888	3,00	0,0518	3,50	0,1133
A22	4,00	0,1388	3,10	0,0816	3,00	0,0630	3,10	0,0815
A23	4,40	0,1472	3,20	0,1018	2,70	0,0520	3,00	0,0767
A24	4,60	0,1468	2,90	0,0546	3,00	0,0576	2,60	0,0608
A25	5,00	0,1830	2,80	0,0498	2,50	0,0385	2,70	0,0649

Anexo 2. Características físicas del orégano en las dos fuentes de energía.

Cód.	Infrarrojo 30°C		Infrarrojo 40°C		Halógeno 30°C		Halógeno 40°C	
	Tamaño (cm)	Peso inicial (g)	Tamaño (cm)	Peso inicial (g)	Tamaño (cm)	Peso inicial (g)	Tamaño (cm)	Peso inicial (g)
B1	2,20	0,0330	1,40	0,0187	1,30	0,0075	1,20	0,0113
B2	2,00	0,0309	2,00	0,0397	1,70	0,0137	1,10	0,0087
B3	2,30	0,0458	1,50	0,0203	1,70	0,0153	1,10	0,0066
B4	2,10	0,0410	1,50	0,0145	1,70	0,0167	1,00	0,0083
B5	2,40	0,0486	1,70	0,0196	1,40	0,0122	1,30	0,0113
B6	2,50	0,0452	1,90	0,0264	1,40	0,0124	1,20	0,0087
B7	2,10	0,0341	1,60	0,0189	1,40	0,0121	1,20	0,0107
B8	2,40	0,0396	1,80	0,0184	1,30	0,0089	1,30	0,0108
B9	2,30	0,0341	1,90	0,021	1,70	0,0147	1,10	0,0120
B10	2,40	0,0512	1,50	0,0158	1,50	0,0104	1,20	0,0071
B11	2,50	0,0393	1,60	0,0143	1,50	0,0125	1,10	0,0093
B12	2,40	0,0436	2,00	0,0314	1,40	0,0109	1,20	0,0123
B13	2,30	0,0341	1,90	0,0256	1,70	0,0165	1,20	0,0081
B14	2,20	0,0374	1,70	0,0162	1,60	0,0120	1,10	0,0064
B15	2,40	0,0461	2,10	0,0304	1,70	0,0172	1,30	0,0129
B16	2,10	0,0446	1,50	0,0178	1,50	0,0124	1,10	0,0061
B17	2,30	0,0459	1,70	0,0214	1,50	0,0109	1,20	0,0127
B18	2,20	0,0337	2,10	0,0243	1,30	0,0105	1,30	0,0113
B19	2,10	0,0409	1,60	0,0173	1,70	0,0159	1,40	0,0117
B20	2,10	0,0370	1,50	0,0182	1,50	0,0093	1,20	0,0067
B21	2,30	0,0387	1,80	0,0202	1,60	0,0141	1,10	0,0089
B22	2,30	0,0354	1,70	0,0231	1,50	0,0155	1,20	0,0099
B23	2,10	0,0424	2,00	0,0258	1,60	0,0143	1,10	0,0099
B24	2,50	0,0530	1,80	0,0177	1,50	0,0150	1,00	0,0055
B25	1,90	0,0312	1,90	0,0183	1,40	0,0152	1,00	0,0036

Anexo 3. Tiempo de secado en la menta con luz infrarroja 30°C

Tiempo (h)	0	24	48	72
Código	Peso inicial (g)	Ps (g)	Ps (g)	Ps (g)
A1	0,2255	0,0396	0,0330	0,0330
A2	0,2190	0,0287	0,0270	0,0270
A3	0,1978	0,0328	0,0280	0,0280
A4	0,3075	0,0319	0,0300	0,0300
A5	0,2449	0,0350	0,0310	0,0310
A6	0,2610	0,0286	0,0286	
A7	0,1936	0,0252	0,0252	
A8	0,2050	0,0232	0,0232	
A9	0,3035	0,0305	0,0290	0,0290
A10	0,1971	0,0412	0,0350	0,0350
A11	0,1744	0,0247	0,0247	
A12	0,3028	0,0506	0,0400	0,0400
A13	0,2464	0,0430	0,0320	0,0320
A14	0,2827	0,0311	0,0290	0,0290
A15	0,2885	0,0444	0,0400	0,0400
A16	0,2127	0,0231	0,0220	0,0220
A17	0,2933	0,0301	0,0301	
A18	0,2937	0,0478	0,0400	0,0400
A19	0,2406	0,0427	0,0280	0,0280
A20	0,2721	0,0377	0,0350	0,0350
A21	0,1312	0,0171	0,0160	0,0160
A22	0,1388	0,0303	0,0210	0,0210
A23	0,1472	0,0205	0,0205	
A24	0,1468	0,0241	0,0241	
A25	0,1830	0,0395	0,0260	0,0260

Anexo 4. Tiempo de secado en la menta con luz infrarroja 40°C

Tiempo (h)	0	24	48	72
código	Peso inicial (g)	Ps (g)	Ps (g)	Ps (g)
A1	0,0957	0,0152	0,0150	0,0150
A2	0,0876	0,0145	0,0134	0,0134
A3	0,0908	0,0139	0,0136	0,0136
A4	0,0517	0,0081	0,0079	0,0079
A5	0,0590	0,0111	0,0107	0,0107
A6	0,0622	0,0105	0,0103	0,0103
A7	0,0475	0,0080	0,0080	
A8	0,1080	0,0187	0,0184	0,0184
A9	0,0803	0,0145	0,0127	0,0127
A10	0,0620	0,0100	0,0100	
A11	0,0562	0,0095	0,0091	0,0091
A12	0,0956	0,0162	0,0154	0,0154
A13	0,0974	0,0165	0,0162	0,0162
A14	0,0713	0,0112	0,0108	0,0108
A15	0,0545	0,0089	0,0087	0,0087
A16	0,0604	0,0104	0,0099	0,0099
A17	0,0658	0,0113	0,0110	0,0110
A18	0,0868	0,0157	0,0157	
A19	0,0762	0,0141	0,0138	0,0138
A20	0,0894	0,0164	0,0162	0,0162
A21	0,0888	0,0161	0,0157	0,0157
A22	0,0816	0,0140	0,0133	0,0133
A23	0,1018	0,0193	0,0176	0,0176
A24	0,0546	0,0095	0,0087	0,0087
A25	0,0498	0,0089	0,0087	0,0087

Anexo 5. Tiempo de secado en la menta con luz halógena 30°C

Tiempo (h)	0	24	48	72	96
código	Peso inicial (g)	Ps (g)	Ps (g)	Ps (g)	Ps (g)
A1	0,0484	0,0077	0,0075	0,0073	0,0073
A2	0,0631	0,0161	0,0125	0,0125	
A3	0,0448	0,0089	0,0074	0,0067	0,0067
A4	0,0610	0,0204	0,0114	0,0109	0,0109
A5	0,0821	0,0227	0,0147	0,0147	
A6	0,0463	0,0092	0,0073	0,0073	
A7	0,0520	0,0161	0,0108	0,0108	
A8	0,0805	0,0171	0,0122	0,0122	
A9	0,0357	0,0069	0,0056	0,0056	
A10	0,0543	0,0116	0,0081	0,0081	
A11	0,0527	0,0078	0,0075	0,0075	
A12	0,0438	0,0082	0,0076	0,0076	
A13	0,0574	0,0101	0,0101		
A14	0,0409	0,0101	0,0067	0,0067	
A15	0,0863	0,0212	0,0171	0,0171	
A16	0,0813	0,0211	0,0153	0,0153	
A17	0,0611	0,0186	0,0095	0,0095	
A18	0,0691	0,0187	0,0131	0,0128	0,0128
A19	0,0642	0,0132	0,0106	0,0106	
A20	0,0765	0,0131	0,0131		
A21	0,0518	0,0084	0,0072	0,0072	
A22	0,0630	0,0186	0,0101	0,0098	0,0098
A23	0,0520	0,0150	0,0083	0,0083	
A24	0,0576	0,0152	0,0096	0,0096	
A25	0,0385	0,0080	0,0056	0,0056	

Anexo 6. Tiempo de secado en la menta con luz halógena 40°C

Tiempo (h)	0	24	48	72	96
código	Peso inicial (g)	Ps (g)	Ps (g)	Ps (g)	Ps (g)
A1	0,1567	0,0279	0,0275	0,0273	0,0273
A2	0,1588	0,0285	0,0279	0,0277	0,0277
A3	0,1260	0,0266	0,0191	0,0191	
A4	0,1064	0,0226	0,0177	0,0177	
A5	0,1984	0,0401	0,0391	0,0391	
A6	0,1367	0,0407	0,0234	0,0234	
A7	0,0738	0,0191	0,0147	0,0136	0,0136
A8	0,1130	0,0467	0,0269	0,0269	
A9	0,1197	0,0451	0,0200	0,0200	
A10	0,0942	0,0401	0,0153	0,0153	
A11	0,0865	0,0231	0,0179	0,0179	
A12	0,1289	0,0305	0,0235	0,0235	
A13	0,1105	0,0219	0,0218	0,0218	
A14	0,0967	0,0204	0,0204	0,0204	
A15	0,0783	0,0167	0,0159	0,0159	
A16	0,1088	0,0549	0,0185	0,0183	0,0183
A17	0,1018	0,0219	0,0198	0,0198	
A18	0,0881	0,0246	0,0149	0,0149	
A19	0,0866	0,0354	0,0160	0,0160	
A20	0,1012	0,0213	0,0216	0,0211	0,0211
A21	0,1133	0,0275	0,0203	0,0203	
A22	0,0815	0,0234	0,0151	0,0151	
A23	0,0767	0,0274	0,0140	0,0140	
A24	0,0608	0,0159	0,0120	0,0117	0,0117
A25	0,0649	0,0218	0,0119	0,0119	

Anexo 7. Tiempo de secado del orégano con luz infrarroja 30°C

Tiempo (h)	0	24	48	72
Código	Peso inicial (g)	Ps (g)	Ps (g)	Ps (g)
B1	0,0330	0,0098	0,0087	0,0087
B2	0,0309	0,0085	0,0084	0,0084
B3	0,0458	0,0114	0,0114	
B4	0,0410	0,0097	0,0097	
B5	0,0486	0,0120	0,0120	
B6	0,0452	0,0109	0,0109	
B7	0,0341	0,0103	0,0097	0,0097
B8	0,0396	0,0101	0,0101	
B9	0,0341	0,0090	0,0090	
B10	0,0512	0,0132	0,0132	
B11	0,0393	0,0109	0,0101	0,0101
B12	0,0436	0,0101	0,0101	
B13	0,0341	0,0091	0,0091	
B14	0,0374	0,0100	0,0100	
B15	0,0461	0,0117	0,0117	
B16	0,0446	0,0106	0,0106	
B17	0,0459	0,0112	0,0112	
B18	0,0337	0,0095	0,0093	0,0093
B19	0,0409	0,0092	0,0092	
B20	0,0370	0,0088	0,0087	0,0087
B21	0,0387	0,0098	0,0098	
B22	0,0354	0,0097	0,0097	
B23	0,0424	0,0103	0,0103	
B24	0,0530	0,0138	0,0138	
B25	0,0312	0,0082	0,0078	0,0078

Anexo 8. Tiempo de secado del orégano con luz infrarroja 40°C

Tiempo (h)	0	24	48	72
Código	Peso inicial (g)	Ps (g)	Ps (g)	Ps (g)
B1	0,0187	0,0031	0,0031	
B2	0,0397	0,0105	0,0103	0,0103
B3	0,0203	0,0028	0,0028	
B4	0,0145	0,0024	0,0024	
B5	0,0196	0,0022	0,0022	
B6	0,0264	0,0067	0,0064	0,0064
B7	0,0189	0,0031	0,0031	
B8	0,0184	0,0024	0,0024	
B9	0,021	0,0036	0,0036	
B10	0,0158	0,0034	0,0034	
B11	0,0143	0,0021	0,0021	
B12	0,0314	0,0092	0,0089	0,0089
B13	0,0256	0,0075	0,0074	0,0074
B14	0,0162	0,0035	0,0035	
B15	0,0304	0,0078	0,0077	0,0077
B16	0,0178	0,0031	0,0031	
B17	0,0214	0,0053	0,0053	
B18	0,0243	0,0071	0,0071	
B19	0,0173	0,0020	0,0020	
B20	0,0182	0,0023	0,0023	
B21	0,0202	0,0028	0,0028	
B22	0,0231	0,0057	0,0055	0,0055
B23	0,0258	0,0078	0,0074	0,0074
B24	0,0177	0,0034	0,0034	
B25	0,0183	0,0054	0,0025	0,0025

Anexo 9. Tiempo de secado del orégano con luz halógena 30°C

Tiempo (h)	0	24	48	72
Código	Peso inicial (g)	Ps (g)	Ps (g)	Ps (g)
B1	0,0075	0,0011	0,0011	
B2	0,0137	0,0043	0,0030	0,0030
B3	0,0153	0,0055	0,0033	0,0033
B4	0,0167	0,0059	0,0033	0,0033
B5	0,0122	0,0025	0,0025	
B6	0,0124	0,0029	0,0029	
B7	0,0121	0,0027	0,0027	
B8	0,0089	0,0015	0,0015	
B9	0,0147	0,0022	0,0022	
B10	0,0104	0,0016	0,0016	
B11	0,0125	0,0024	0,0024	
B12	0,0109	0,0027	0,0027	
B13	0,0165	0,0033	0,0033	
B14	0,0120	0,0031	0,0031	
B15	0,0172	0,0049	0,0044	0,0044
B16	0,0124	0,0032	0,0032	
B17	0,0109	0,0019	0,0019	
B18	0,0105	0,0017	0,0017	
B19	0,0159	0,0032	0,0032	
B20	0,0093	0,0019	0,0019	
B21	0,0141	0,0032	0,0032	
B22	0,0155	0,0038	0,0038	
B23	0,0143	0,0017	0,0017	
B24	0,0150	0,0035	0,0035	
B25	0,0152	0,0027	0,0027	

Anexo 10. Tiempo de secado del orégano con luz halógena 40°C

Tiempo (h)	0	24	48
Código	Peso inicial (g)	Ps (g)	Ps (g)
B1	0,0113	0,0041	0,0041
B2	0,0087	0,0012	0,0012
B3	0,0066	0,0010	0,0010
B4	0,0083	0,0012	0,0012
B5	0,0113	0,0016	0,0016
B6	0,0087	0,0011	0,0011
B7	0,0107	0,0012	0,0012
B8	0,0108	0,0014	0,0014
B9	0,0120	0,0020	0,0020
B10	0,0071	0,0011	0,0011
B11	0,0093	0,0018	0,0018
B12	0,0123	0,0011	0,0011
B13	0,0081	0,0006	0,0006
B14	0,0064	0,0012	0,0012
B15	0,0129	0,0037	0,0037
B16	0,0061	0,0010	0,0010
B17	0,0127	0,0020	0,0020
B18	0,0113	0,0017	0,0017
B19	0,0117	0,0020	0,0020
B20	0,0067	0,0014	0,0014
B21	0,0089	0,0014	0,0014
B22	0,0099	0,0017	0,0017
B23	0,0099	0,0021	0,0021
B24	0,0055	0,0009	0,0009
B25	0,0036	0,0010	0,0010

Anexo 11. Porcentajes de humedad en la menta, en las dos fuentes de energía a temperatura de 30 a 40°C

Cód.	infrarrojo 30°C				infrarrojo 40°C				halógeno 30°C				halógeno 40°C			
	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Hum (%)	Sólido (g)	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Hum (%)	Sólido (g)	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Hum (%)	Sólido (g)	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Hum (%)	Sólido (g)
A1	0,2255	0,0330	85,37	14,63	0,0957	0,0150	84,33	15,67	0,04	0,0073	84,92	15,08	0,1567	0,027	82,58	17,4
A2	0,2190	0,0270	87,67	12,33	0,0876	0,0134	84,71	15,30	0,063	0,0125	80,19	19,81	0,1588	0,027	82,56	17,44
A3	0,1978	0,0280	85,85	14,16	0,0908	0,0136	85,02	14,98	0,045	0,0067	85,05	14,96	0,1260	0,019	84,84	15,16
A4	0,3075	0,0300	90,25	9,756	0,0517	0,0079	84,72	15,28	0,061	0,0109	82,13	17,87	0,1064	0,018	83,37	16,64
A5	0,2449	0,0310	87,34	12,66	0,0590	0,0107	81,86	18,14	0,082	0,0147	82,10	17,91	0,1984	0,039	80,29	19,71
A6	0,2610	0,0286	89,04	10,96	0,0622	0,0103	83,44	16,56	0,046	0,0073	84,23	15,77	0,1367	0,023	82,88	17,12
A7	0,1936	0,0252	86,98	13,02	0,0475	0,0080	83,16	16,84	0,052	0,0108	79,23	20,77	0,0738	0,014	81,57	18,43
A8	0,2050	0,0232	88,68	11,32	0,1080	0,0184	82,96	17,04	0,081	0,0122	84,85	15,16	0,1130	0,027	76,20	23,81
A9	0,3035	0,0290	90,45	9,555	0,0803	0,0127	84,18	15,82	0,036	0,0056	84,31	15,69	0,1197	0,020	83,29	16,71
A10	0,1971	0,0350	82,24	17,76	0,0620	0,0100	83,87	16,13	0,054	0,0081	85,08	14,92	0,0942	0,015	83,76	16,24
A11	0,1744	0,0247	85,84	14,16	0,0562	0,0091	83,81	16,19	0,053	0,0075	85,77	14,23	0,0865	0,018	79,31	20,69
A12	0,3028	0,0400	86,79	13,21	0,0956	0,0154	83,89	16,11	0,044	0,0076	82,65	17,35	0,1289	0,024	81,77	18,24
A13	0,2464	0,0320	87,01	12,99	0,0974	0,0162	83,37	16,63	0,057	0,0101	82,40	17,59	0,1105	0,022	80,27	19,73
A14	0,2827	0,0290	89,74	10,26	0,0713	0,0108	84,85	15,14	0,041	0,0067	83,62	16,38	0,0967	0,020	78,90	21,10
A15	0,2885	0,0400	86,14	13,87	0,0545	0,0087	84,04	15,96	0,086	0,0171	80,19	19,82	0,0783	0,016	79,69	20,31
A16	0,2127	0,0220	89,66	10,34	0,0604	0,0099	83,61	16,39	0,081	0,0153	81,18	18,82	0,1088	0,018	83,18	16,82
A17	0,2933	0,0301	89,74	10,26	0,0658	0,0110	83,28	16,72	0,061	0,0095	84,45	15,55	0,1018	0,020	80,55	19,45
A18	0,2937	0,0400	86,39	13,62	0,0868	0,0157	81,91	18,09	0,069	0,0128	81,48	18,52	0,0881	0,015	83,09	16,91
A19	0,2406	0,0280	88,36	11,64	0,0762	0,0138	81,89	18,11	0,064	0,0106	83,49	16,51	0,0866	0,016	81,52	18,48
A20	0,2721	0,0350	87,14	12,86	0,0894	0,0162	81,88	18,12	0,077	0,0131	82,88	17,13	0,1012	0,021	79,15	20,85
A21	0,1312	0,0160	87,80	12,20	0,0888	0,0157	82,32	17,68	0,052	0,0072	86,10	13,90	0,1133	0,020	82,08	17,92
A22	0,1388	0,0210	84,87	15,13	0,0816	0,0133	83,70	16,30	0,063	0,0098	84,44	15,56	0,0815	0,015	81,47	18,53
A23	0,1472	0,0205	86,07	13,93	0,1018	0,0176	82,71	17,29	0,052	0,0083	84,04	15,96	0,0767	0,014	81,75	18,25
A24	0,1468	0,0241	83,58	16,42	0,0546	0,0087	84,07	15,93	0,058	0,0096	83,33	16,67	0,0608	0,012	80,76	19,24

A25	0,1830	0,0260	85,79	14,21	0,0498	0,0087	82,53	17,47	0,039	0,0056	85,45	14,55	0,0649	0,012	81,66	18,34
-----	--------	--------	-------	-------	--------	--------	-------	-------	-------	--------	-------	-------	--------	-------	-------	-------

Anexo 12. Porcentajes de humedad del orégano, en las dos fuentes de energía a temperatura de 30 a 40°C

Cód.	infrarrojo 30°C				infrarrojo 40°C				halógeno 30°C				halógeno 40°C			
	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Hum (%)	Sólido (g)	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Hum (%)	Sólido (g)	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Hum (%)	Sólido (g)	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Hum (%)	Sólido (g)
B1	0,0330	0,0087	73,64	26,36	0,0187	0,0031	83,42	16,58	0,0075	0,0011	85,33	14,67	0,0113	0,0041	63,72	36,28
B2	0,0309	0,0084	72,82	27,18	0,0397	0,0103	74,06	25,94	0,0137	0,0030	78,10	21,90	0,0087	0,0012	86,21	13,79
B3	0,0458	0,0114	75,11	24,89	0,0203	0,0028	86,21	13,79	0,0153	0,0033	78,43	21,57	0,0066	0,0010	84,85	15,15
B4	0,0410	0,0097	76,34	23,66	0,0145	0,0024	83,45	16,55	0,0167	0,0033	80,24	19,76	0,0083	0,0012	85,54	14,46
B5	0,0486	0,0120	75,31	24,69	0,0196	0,0022	88,78	11,22	0,0122	0,0025	79,51	20,49	0,0113	0,0016	85,84	14,16
B6	0,0452	0,0109	75,88	24,12	0,0264	0,0064	75,76	24,24	0,0124	0,0029	76,61	23,39	0,0087	0,0011	87,36	12,64
B7	0,0341	0,0097	71,55	28,45	0,0189	0,0031	83,60	16,40	0,0121	0,0027	77,69	22,31	0,0107	0,0012	88,79	11,21
B8	0,0396	0,0101	74,49	25,51	0,0184	0,0024	86,96	13,04	0,0089	0,0015	83,15	16,85	0,0108	0,0014	87,04	12,96
B9	0,0341	0,0090	73,61	26,39	0,021	0,0036	82,86	17,14	0,0147	0,0022	85,03	14,97	0,0120	0,0020	83,33	16,67
B10	0,0512	0,0132	74,22	25,78	0,0158	0,0034	78,48	21,52	0,0104	0,0016	84,62	15,38	0,0071	0,0011	84,51	15,49
B11	0,0393	0,0101	74,30	25,70	0,0143	0,0021	85,31	14,69	0,0125	0,0024	80,80	19,20	0,0093	0,0018	80,65	19,35
B12	0,0436	0,0101	76,83	23,17	0,0314	0,0089	71,66	28,34	0,0109	0,0027	75,23	24,77	0,0123	0,0011	91,06	8,94
B13	0,0341	0,0091	73,31	26,69	0,0256	0,0074	71,09	28,91	0,0165	0,0033	80,00	20,00	0,0081	0,0006	92,59	7,41
B14	0,0374	0,0100	73,26	26,74	0,0162	0,0035	78,40	21,60	0,0120	0,0031	74,17	25,83	0,0064	0,0012	81,25	18,75
B15	0,0461	0,0117	74,62	25,38	0,0304	0,0077	74,67	25,33	0,0172	0,0044	74,42	25,58	0,0129	0,0037	71,32	28,68
B16	0,0446	0,0106	76,23	23,77	0,0178	0,0031	82,58	17,42	0,0124	0,0032	74,19	25,81	0,0061	0,0010	83,61	16,39
B17	0,0459	0,0112	75,60	24,40	0,0214	0,0053	75,23	24,77	0,0109	0,0019	82,57	17,43	0,0127	0,0020	84,25	15,75
B18	0,0337	0,0093	72,40	27,60	0,0243	0,0071	70,78	29,22	0,0105	0,0017	83,81	16,19	0,0113	0,0017	84,96	15,04
B19	0,0409	0,0092	77,51	22,49	0,0173	0,0020	88,44	11,56	0,0159	0,0032	79,87	20,13	0,0117	0,0020	82,91	17,09
B20	0,0370	0,0087	76,49	23,51	0,0182	0,0023	87,36	12,64	0,0093	0,0019	79,57	20,43	0,0067	0,0014	79,10	20,90
B21	0,0387	0,0098	74,68	25,32	0,0202	0,0028	86,14	13,86	0,0141	0,0032	77,30	22,70	0,0089	0,0014	84,27	15,73
B22	0,0354	0,0097	72,60	27,40	0,0231	0,0055	76,19	23,81	0,0155	0,0038	75,48	24,52	0,0099	0,0017	82,83	17,17
B23	0,0424	0,0103	75,71	24,29	0,0258	0,0074	71,32	28,68	0,0143	0,0017	88,11	11,89	0,0099	0,0021	78,79	21,21

B24	0,0530	0,0138	73,96	26,04	0,0177	0,0034	80,79	19,21	0,0150	0,0035	76,67	23,33	0,0055	0,0009	83,64	16,36
B25	0,0312	0,0078	75,00	25,00	0,0183	0,0025	86,34	13,66	0,0152	0,0027	82,24	17,76	0,0036	0,0010	72,22	27,78

Anexo 13. Absorbancias de las muestras a 760nm

Tabla de Absorbancia (polifenoles)						
Muestra	Muestra Húmeda	estufa 40°C	Infrarrojo 30°C	Infrarrojo 40°C	Halógeno 30°C	Halógeno 40°C
Menta	0,743	1,320	0,398	1,062	1,280	1,817
Orégano	1,904	2,098	1,111	1,338	1,508	1,044