



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Evaluación del efecto de la aplicación de radiación UV-B durante la Poscosecha en la calidad de los extractos de tomillo (*Thymus vulgaris* L.)

Rafael Andrés Ramírez Alvarado

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de ingeniería, Departamento Ingeniería Civil y Agrícola
Bogotá, Colombia

2016

Evaluación del efecto de la aplicación de la radiación UV-B durante la Poscosecha en la calidad de los extractos de tomillo (*Thymus vulgaris* L.)

Rafael Andrés Ramírez Alvarado

Tesis o trabajo de investigación presentada(o) como requisito parcial para optar al título
de:

Magister en Ingeniería Agrícola

Directora:

Ph. D., Claudia Patricia Pérez Rodríguez

Codirector:

Ph. D., Aníbal Orlando Herrera

Línea de Investigación:

Poscosecha de productos Agrícolas

Grupo de Investigación:

Poscosecha de productos Agrícolas

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de ingeniería, Departamento Ingeniería Civil y Agrícola

Bogotá, Colombia

2016

Dedicatoria

A Rafael Andrés Ramírez Bayona, fuerza y motivación de mi vida, a mis padres incentivo de éxito, sin ellos nada de esto hubiera sido posible.

"De todo éxito, por pequeño que sea, surgirá un día un esfuerzo más grande que lo completará."

Walt Whitman

Agradecimientos

Este trabajo contó con la participación del profesor asociado a la Universidad Nacional; Oscar Eduardo Suarez Moreno, quien ejerció durante el desarrollo de la tesis como director del Centro Agropecuario Marengo (CAM), aportando información referente a la estructura económica del proyecto y mecanismos de interacción empresa-universidad.

De la misma forma, la profesora asociada de la Universidad Nacional de Colombia Luz Marina Melgarejo Muñoz, quien aportó y brindó el espacio de invernaderos en la Facultad de Ciencias para llevar a cabo la fase de producción y cosecha de la especie en estudio.

A los profesores Claudia Patricia Pérez Rodríguez, directora del proyecto y artífice conceptual del mismo, por sus valiosos aportes académicos, prácticos y experimentales y al profesor Aníbal Orlando Herrera Arévalo, codirector del proyecto, quien realizó aportes a la estructura y coherencia del trabajo, facilitando también espacios necesarios para la realización de las pruebas de laboratorio.

A todas aquellas personas que de una u otra forma participaron en la construcción y logística del proyecto y que no se mencionaron en este documento.

Resumen

Se estudió la respuesta durante la poscosecha del metabolismo secundario de plantas de tomillo (*Thymus vulgaris* L.) a dos dosis de radiación UV-B: 0.05 y 0.075 W.h.m⁻², aplicadas a los tallos, hojas y flores provenientes de 1000 plantas, producidas en el invernadero de fisiología del Departamento de Biología de la Universidad Nacional de Colombia. Las muestras fueron divididas en un diseño Factorial 2⁴, con dos dosis de radiación UV-B: 0.05 y 0.075 W.h.m⁻², dos matrices de extracción, dos puntos de muestreo a los 75 días (punto de corte) y 92 días (plena floración) de acuerdo a la escala bbch y dos tiempos de adaptación.

Para la extracción se empleó el método soxhlet con recuperación de solvente (método Randall), el cual permite la extracción de ácidos grasos saturados e insaturados. Se determinaron fenoles totales, flavonoides totales, antocianinas totales, calidad de los extractos empleando el índice de Koettstorfeer y actividad antioxidante.

Los resultados permiten concluir que la aplicación de radiación UV-B en una dosis de 0.075 W.h.m⁻², incrementa el contenido de ácidos grasos saturados e insaturados en las plantas de tomillo, siendo los fenoles y las antocianinas, los compuestos que mejor respondieron al tratamiento. Se encontró a su vez que dosis elevadas de radiación UV-B pueden generar efectos nocivos en los contenidos de ácidos grasos saturados e insaturados, identificado mediante la reducción de los compuestos conocidos como flavonoides.

Palabras clave: Poscosecha, metabolismo secundario elicitor, aromáticas

Abstract

The outcome was studied during the post-harvest of thyme plants secondary metabolism (*Thymus vulgaris* L.) exposed to two doses of radiation UV-B: 0.05 and 0.075 W.h.m⁻² applied to the stem, leaves and flowers from 1000 plants, which were produced in the Biology Department's physiology greenhouse at Universidad Nacional de Colombia. The samples were divided in a factorial design 2⁴, with two doses of radiation UV-B: 0.05 and 0.075 W.h.m⁻², two extraction matrixes, two sample points within 75 days (the cut point) and 92 days (flowering stage) according to the BBCH scale and two adaptation periods.

The Soxhlet method was used for the extraction with solvent recovery (Randall method), which allows the removal of saturated and unsaturated fatty acids. Total phenols, total flavonoids, total anthocyanins were found which demonstrates quality in the extracts employing saponification number (Koettstorfer number) and antioxidant activity.

It can be concluded from the results that the application of UV-B radiation in one dose of 0.075 W.h.m⁻², increases the content of saturated and unsaturated fatty acids in thyme plants, with the phenols and anthocyanins being the compounds that best responded to the treatment. It was also found that elevated doses of UV-B radiation can produce harmful effects in the contents of saturated and unsaturated fatty acids, identified through the reduction of the compounds known as flavonoids.

Keywords: Postharvest, secondary metabolism, elicitor, aromatics.

Contenido

	Pág.
Resumen	8
Lista de figuras	12
Lista de tablas	14
Lista de ecuaciones	16
Lista de abreviaturas	17
Definición del problema	18
Introducción	19
1. Estado del arte	22
1.1 Origen y botánica del tomillo	22
1.2. Clasificación taxonómica.....	23
1.3. Variedades comerciales	23
1.4. Usos.....	24
1.5. Importancia económica del cultivo.....	24
1.6. Extractos y aceites esenciales de tomillo	25
1.7. Metabolismo secundario	30
1. 7.1. Fenoles	32
1. 7.2. Flavonoides	33
1. 7.3. Antocianinas.....	34
1.8. Métodos de obtención	35
1.9. Radiación ultravioleta	38
1. 9.1. Radiación UV-A.....	38
1. 9.2. Radiación UV-B.....	39
1. 9.3. Radiación UV-C.....	39
1. 10. Radiación ultravioleta como tecnología poscosecha	39
2. Objetivos	42
2.1. Objetivos Generales.....	42
2.2. Objetivos específicos	42
3. Metodología	43

3.1. Material vegetal	43
3.1.1. Selección de material.....	43
3.1.2. Sustrato	43
3.1.3. Manejo de la fertilización	44
3.1.4. Manejo del riego	45
3.1.5. Temperatura de desarrollo.....	46
3.1.6. Humedad relativa.....	46
3.2. Determinación de las dosis de radiación.....	46
3.3. Parámetros analizados	48
3.3.1. Materia seca	49
3.3.2. Extracción etanólica.....	49
3.3.3. Fenoles totales	50
3.3.4. Flavonoides totales	50
3.3.5. Antocianinas totales.....	51
3.3.6. Índice de saponificación.....	52
3.3.7. Actividad antioxidante	52
3.4. Diseño y análisis estadístico	53
4. Resultados y discusión.....	60
4.1. Efecto de la aplicación de radiación UV-B en el porcentaje de materia seca	60
4.2. Efecto de las dosis de radiación en el rendimiento de extracción	62
4.3. Efecto de las dosis de radiación UV-B en el contenido de fenoles.....	64
4.4. Efecto de las dosis de radiación UV-B en el contenido de flavonoides	68
4.5. Efecto de las dosis de radiación UV-B en el contenido de antocianinas.....	71
4.6. Efecto de las dosis de radiación UV-B en el índice de saponificación	75
4.7. Efecto de las dosis de radiación UV-B en la actividad antioxidante.....	76
5. Conclusiones y recomendaciones	80
5.1. Conclusiones.....	80
5.2. Recomendaciones.....	80
6. Producción académica	83
7. Bibliografía.....	84
A. Anexo A: Revisión de los compuestos identificados en los extractos de tomillo en diferentes estudios y locaciones mundiales	94
B. Anexo B: Curvas de calibración para las variables analizadas.....	105
C. Anexo C: Análisis estadísticos	105
D. Anexo D: Planos y diseño de la cámara.....	124

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1. A. Planta de tomillo desarrollada en tierra negra para ensayos, con porte erecto típico de la especie	22
Figura 1. B. Floración de las plantas de tomillo empleadas en el estudio.	22
Figura 1. C. Estructuras reproductivas del tomillo.	22
Figura 2. Diferentes quimiotipos encontrados para los aceites y extractos de tomillo.	26
Figura 3. A. Proceso de biosíntesis del ácido mevalónico.	27
Figura 3. B. Origen de IPP y DMAPP.	27
Figura 4. Formación biogenética de los terpenoides a partir de PP y DMAPP.	28
Figura 5. Estructura básica de los flavonoides.	32
Figura 6. Clasificación del espectro electromagnético emitido por el sol, con énfasis en la radiación ultravioleta, su clasificación y curva de inactivación celular.	38
Figura 7. Resumen de las propiedades físico-químicas del sustrato empleado para el desarrollo de los esquejes.	43
Figura 8 a. Registro continuo de radiación UVB aplicada mediante sonda LP 471 UVB acoplada a un radiómetro DELTHA OHM HD 2102.2.	45
Figura 8 b. Cámara de radiación UVB con material de tomillo, 1) antes de iniciar el proceso y 2) finalizado el proceso de radiación.	46
Figura 9. Curva de emisión para radiación UVB generada por el programa DeltaLog9, registrada con sonda LP 471 UVB y radiómetro DELTHA OHM HD 2102.2.	46
Figura 10. Resumen del proceso experimental en el ensayo.	47
Figura 11. Porcentaje de materia seca para plantas de tomillo a los 75 y 92 ddt.	61
Figura 12. Se presenta el porcentaje de rendimiento para tomillo en cada uno de los tratamientos.	64
Figura 13. Diagrama de barras con el resumen de los resultados obtenidos en los ensayos de fenoles totales para las plantas de tomillo irradiadas y no irradiadas (controles).	67

Figura 14. Comparación del contenido de flavonoides totales en los diferentes tratamientos y controles. 68

Figura 15. Comparación del contenido de antocianinas en los diferentes tratamientos y controles. 73

Figura 16. Coloración rojiza en el envés de las hojas de tomillo en estadios fenológicos iniciales 74

Figura 17. Comparación del índice de saponificación en los diferentes tratamientos y controles 76

Figura 18. Comparación de la actividad antioxidante en los diferentes tratamientos y controles. 78

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Clasificación taxonómica de las plantas de tomillo.	23
Tabla 2. Ruta de biosíntesis para algunos compuestos fenólicos e isoprenoides presentes en extractos y aceites esenciales de plantas	29
Tabla 3. Compuestos con mayor posibilidad de ocurrencia en los extractos y aceites esenciales de tomillo	30
Tabla 4. Descripción de algunos métodos de obtención de aceites esenciales.	34
Tabla 5. Revisión de estudios durante el periodo 2009-2015, con aplicación de radiación UVB en vegetales.	40
Tabla 6. Requerimientos nutricionales para el cultivo de tomillo.	43
Tabla 7. Variables químicas y métodos de evaluación empleados en el estudio.	52
Tabla 8. Diseño experimental y tratamientos empleados para la variable materia seca.	52
Tabla 9. Diseño experimental y tratamientos empleados para la variable rendimiento	53
Tabla 10. Diseño experimental y tratamientos empleados para las variables: fenoles totales, flavonoides totales, antocianos totales e índice de saponificación.	54
Tabla 11. Diseño experimental y tratamientos empleados para la variable actividad antioxidante.	55
Tabla 12. Tratamientos aplicados para la variable porcentaje de materia seca.	56
Tabla 13. Tratamientos aplicados para las variables medidas; rendimiento de extracción, fenoles totales, flavonoides totales, antocianinas totales e índice de saponificación.	57
Tabla 14. Tratamientos aplicados para la variable actividad antioxidante.	58
Tabla 15. Porcentaje de masa seca promedio (MS%) de hojas y tallos de tomillo.	59
Tabla 16. Porcentaje de rendimiento promedio.	62
Tabla 17. Fenoles totales de las muestras de tomillo.	65
Tabla 18. Flavonoides totales.	67
Tabla 19. Antocianinas totales.	70

Tabla 20. Índice de saponificación de los extractos.	73
Tabla 21. Actividad antioxidante de los extractos.	75

Lista de ecuaciones

	Pág.
Ecuación 1. Índice de materia seca.	48
Ecuación 2. Porcentaje de materia seca.	48
Ecuación 3. Cantidad de extracto.	48
Ecuación 4. Rendimiento de extracción.	48
Ecuación 5. Contenido de fenoles totales.	49
Ecuación 6. Cantidad de flavonoides totales.	50
Ecuación 7. Contenido de antocianinas totales.	50
Ecuación 8. Índice de saponificación.	51
Ecuación 9. Actividad antioxidante.	51

Lista de abreviaturas

Abreviaturas

Abreviatura	Término	Unidad SI
<i>ADN</i>	Ácido desoxirribonucleico	--
<i>CFC</i>	Clorofluorocarbonados	--
<i>CH₄</i>	Metano	--
<i>CO₂</i>	Dióxido de carbono	--
<i>D1</i>	Proteína del PS II	--
<i>ddt</i>	Días después de trasplante	--
<i>g</i>	Gramos	--
<i>GP</i>	Glutación peroxidasa	--
<i>Kg</i>	Kilogramos	10 ³ g
<i>m</i>	Metros	--
<i>ml</i>	Militros	10 ⁻³ L
<i>mg</i>	miligramos	10 ⁻³ g
<i>msnm</i>	Metros sobre el nivel del mar	--
<i>nm</i>	Nanómetros	10 ⁻⁹ m
<i>NO_x</i>	Óxidos de nitrógeno	--
<i>O₃</i>	Ozono	--
<i>PAR</i>	Photosynthetic active radiation	--
<i>PS II</i>	Fotosistema II	--
<i>SOD</i>	Súper oxido dismutasa	--
<i>SO_x</i>	Óxidos de azufre	--
<i>T1</i>	Dosis 1 de radiación (0,05)	Wh m ⁻²
<i>T2</i>	Dosis 2 de radiación (0,075)	Wh m ⁻²
<i>Ta</i>	Tiempo de adaptación 1 (24)	h
<i>Tb</i>	Tiempo de adaptación 2 (48)	h
<i>UV</i>	Ultravioleta	Wh /kJ
<i>UV-A</i>	Radiación ultravioleta A	Wh /kJ
<i>UV-B</i>	Radiación ultravioleta B	Wh /kJ
<i>UV-C</i>	Radiación ultravioleta C	Wh /kJ

Definición del problema

Como consecuencia del cambio climático, se han originado notorias modificaciones en los ecosistemas, aumentando la temperatura, modificando la humedad, la precipitación y cambiando los porcentajes de radiación que reciben las plantas. Es de vital importancia identificar cómo las posibles variaciones en el espectro electromagnético pueden intervenir de forma positiva o negativa en las especies vegetales y de qué manera podemos emplear estos cambios de forma positiva con el fin de aumentar los contenidos fitoquímicos específicamente fenoles, flavonoides y fitoalexinas (Schreiner y Huyskens, 2006). Estos compuestos derivados del metabolismo secundario, son reconocidos y apetecidos por el sector industrial por su capacidad antioxidante, teniendo gran aplicación en el enriquecimiento de alimentos, multifuncionalidad de fármacos y cosméticos, orientados a mejorar la salud humana y reducir los daños producidos en el organismo por las diferentes especies reactivas de oxígeno y derivadas del proceso de oxidación que disminuyen la calidad y expectativa de vida de las poblaciones. En este caso se evaluó la tecnología de radiación UV-B durante la poscosecha en plantas aromáticas. El proceso fundamental de la tecnología es regido por el principio de elicitación, el cual consiste en la activación inducida o mejorada de la síntesis de metabolitos secundarios en las plantas para garantizar su supervivencia, la persistencia y la competitividad (Namdeo, 2007, citado por Pérez, 2010).

Por tal motivo se desea trabajar con un material vegetal innovador y con potencial de exportación. Durante la revisión se identificó que las plantas aromáticas Menta (*Mentha piperita-spicata* L.), Romero (*Rosmarinus officinalis* L.) y Tomillo (*Thymus vulgaris* L.), en su orden, son consideradas las especies con mayor demanda por parte de los mercados de EE.UU y Europa (Biocomercio sostenible, 2003; CCB, 2010; Barrientos *et al.*, 2010, 2012). Después de identificar las especies de importancia en el mercado, se realizó una revisión en la cual se encontraron estudios con elicitors físicos como la radiación UV-B en Menta (Karousou *et al.*, 1998; Dolzhenko *et al.*, 2010) y Romero (Luis *et al.*, 2007), pero no se encontró durante esta revisión, datos referentes a tratamientos con UVB durante la poscosecha en tomillo, motivo por el cual esta especie genera mayor interés investigativo. Se pretende de esta forma aumentar el contenido de flavonoides en plantas de tomillo en porcentajes que oscilen de 10-35% de acuerdo a estudios previos en otras especies (Karousou *et al.*, 1998; Luis *et al.*, 2007; Qaderi *et al.*, 2007; Dolzhenko *et al.*, 2010), con el fin de generar valor agregado en la cadena productiva y aumentar la rentabilidad de los proyectos de inversión en los cultivos de estas plantas aromáticas. En el presente estudio nos enfocamos en la radiación UVB, por:

1. De la banda del espectro electromagnético la radiación UVB tendrá mayor incidencia en la tierra producto de la reducción de ozono estratosférico.
2. La radiación UVB tienen un rango de inhibición fotobiológica menor que la radiación UVC, por tal motivo no involucra aspectos fisiológicos adicionales durante el proceso de elicitación.
3. Son necesarios más estudios que permitan generar confiabilidad de la tecnología por parte de los entes industriales.
4. No se han definido las variables para el funcionamiento óptimo de la tecnología (dosis de aplicación y tiempos de adaptación).

Introducción

El clima en la tierra ha cambiado naturalmente a lo largo de su historia (PNUMA, 2005; Le Roux, 2012). Estas variaciones permiten mantener el equilibrio existente entre la energía solar entrante y la energía reflejada por la tierra hacia el espacio (Wang y Schimel, 2003). La emisión de gases contaminantes producto de los procesos de industrialización y otras actividades antrópicas, tienen como consecuencias la pérdida de este equilibrio, la degradación de los ecosistemas, reducción en la concentración de ozono (O₃), incremento en la producción de lluvias ácidas y expansión de la salinización de suelos entre otros (Miranda *et al.*, 2011). El cambio climático, ha tenido un impacto directo en la distribución y conservación de la biodiversidad (Bogotá *et al.*, 2011), una de las principales consecuencias del aumento de la temperatura, se ha asociado con el desplazamiento de la frontera agrícola y pecuaria a mayores altitudes y latitudes en respuesta a los cambios de las condiciones ambientales a las que estaban adaptadas (Hampe y Jump, 2011).

En condiciones naturales todas las plantas están sometidas a radiación solar (Heideg y Vass, 1996), la radiación que llega a la tierra, abarca una amplia gama del espectro electromagnético, aproximadamente el 40% de ella, es conocida como luz solar o radiación visible. Esta comprende longitudes de onda que van de 400-700 nm, rango que abarca los colores violeta, azul, verde, amarillo, naranja y rojo. Las plantas usan este rango del espectro en el proceso de fotosíntesis y es conocida como radiación fotosintéticamente activa ó PAR (photosynthetic active radiation) (Carrasco, 2009). Otro rango del espectro electromagnético, se encuentra definido por longitudes de onda que van de 280-1000 nm y recibe el nombre de rango fotobiológico, ya que comprende longitudes de ondas más allá de la radiación PAR, pero son de importancia en otros procesos como el control de foto-receptores específicos, por ejemplo; los fitocromos (Jacovides *et al.*, 2009). La radiación UV forma parte de la región no ionizante del espectro electromagnético, y representa entre 8-9% del total de la radiación solar, adicionalmente puede ser clasificada en tres rangos de acuerdo a la longitud de onda; UV-C (200-280nm), UV-B (280-320) y UV-A (320-400nm). La UV-C es altamente peligrosa para la salud humana pero es completamente absorbida por el ozono estratosférico, adicionalmente representa un bajo porcentaje con respecto al total de la radiación solar. La UV-B representa el 1,5 % del total de la radiación solar pero puede inducir múltiples daños en los organismos fotosintéticos. Por último la UV-A representa el 6,3% de la radiación solar y es la menos nociva para la salud humana y las plantas (Hollósy, 2002).

Es de esperar que la distribución en la longitud de onda que llega a la superficie de la tierra, se vea afectada en las próximas décadas (PNUMA, 2005; Miranda *et al.*, 2011; Le Roux, 2012), producto de las diferentes variaciones en la estratosfera, específicamente en la distribución y concentración del ozono, generado por las emisiones contaminantes desde la biosfera (Barber y Anderson, 1992; Hollósy, 2002; Jacovides *et al.*, 2009; Carrasco, 2009; Klem *et al.*, 2012). De esta forma las longitudes de onda contenidas entre 290-315 nm llegarán más fácilmente a la biosfera. Se ha estimado que una reducción en 1% de la capa de ozono representa un aumento de 1,3-1,8% en la radiación UV-B incidente en la biosfera (Hollósy, 2002).

Las plantas son incapaces de evitar la exposición a niveles elevados de radiación UV-B, por tanto los mecanismos de defensa hacia la radiación son de particular interés. En los últimos años, los estudios científicos se han preocupado por analizar este fenómeno en varias plantas silvestres con un alto valor medicinal y potencial como las aromáticas. Algunas investigaciones permiten contextualizar el impacto de la exposición a la radiación en la calidad y cantidad de compuestos secundarios como alcaloides, glucósidos, flavonoides, taninos y resinas, los cuales contribuyen sustancialmente en el perfil químico de compuestos volátiles en diversas plantas (Dolzhenko *et al.*, 2010). El estrés causado por la radiación UV-B, puede causar cambios morfológicos, alterar la composición de los pigmentos fotosintéticos y metabolitos secundarios, influir en los mecanismos de adaptación y generar interrupción o inhibición en la fotosíntesis (Reifenrath y Müller, 2007). La radiación UV-B, reduce la producción de oxígeno, induciendo la producción de radicales libres en las membranas tilacoidales, principalmente iones hidroxilo y compuestos metil-carboxilados. La ausencia de oxígeno indica un deterioro en la actividad de transporte de electrones en el fotosistema II (PS II) (Andreasson y Wängberg, 2006). La radiación UV-B genera mayores daños en las plantas que la fotoinhibición por exceso de PAR, tanto por el sitio en el cual se causan los daños (transporte de electrones), como por el patrón de fragmentación de la proteína D1 (Andreasson y Wängberg, 2006). Sin embargo aún no es claro el daño que ejerce la radiación UV-B en el PS II (Klem *et al.*, 2012). Especialmente en el estudio de la fuerte absorción de radiación UV-B por parte de los aceptores de quinona y tirosinas activos en el PS II.

Existen indicios de que la radiación UV-B causa estrés oxidativo, por acumulación de radicales libres, tales como súper oxido dismutasa (SOD), glutatión peroxidasa (GP) e isoformas de la peroxidasa. De forma Homologa este estrés posiblemente oxidativo genera un aumento en la biosíntesis de flavonoides como respuesta destinada a la reducción de la penetración de los rayos UV-B, estos también pueden disminuir el daño a través de su capacidad para eliminar los radicales libres (Rodrigues *et al.*, 2006). Este riesgo de aumento en la radiación UV-B sobre la superficie terrestre se ha relacionado con la disminución en los niveles de ozono estratosférico, como consecuencia de la contaminación con diferentes agentes como NO_x (Óxidos de nitrógeno), SO_x (Óxidos de azufre), CH₄ (Metano) y clorofluorocarbonados (CFC) ocasionado por el hombre. Este tipo de compuestos degrada las proteínas, el ADN, los lípidos y las membranas (Hollósy, 2002).

Los metabolitos secundarios como los compuestos fenólicos, que se producen constitutivamente en las plantas, y que están presentes en los aceites esenciales, tienen una función específica en el mecanismo de defensa, al poseer potencial antioxidante. Se ha empleado exitosamente la radiación UV-B como promotor de metabolitos secundarios en plantas aromáticas, identificando un efecto positivo en la obtención de subproductos agrícolas, medidos en la producción de aceites esenciales en plantas tratadas, encontrando hasta un 35% de aumento en comparación con plantas control (Karousou *et al.*, 1998; Qaderi *et al.*, 2007; Dolzhenko *et al.*, 2010). Una de las líneas tecnológicas innovadoras en poscosecha, está relacionada con el tratamiento de plantas de interés comercial con elicitores como lo es la radiación ultravioleta B (Heideg y Vass, 1996; Schreiner y Huyskens, 2006, Pérez *et al.*, 2009; 2010).

Se entiende por elicitador aquellas sustancias o estímulos desencadenantes que son empleados en pequeñas concentraciones en células vivas para producir mejoras en la biosíntesis de compuestos específicos, de esta forma se pueden clasificar de acuerdo a su naturaleza como; elicitores abióticos (sustancias o estímulos de origen no biológico como sales inorgánicas, iones de cobre, cadmio y calcio) y elicitores bióticos (sustancias o estímulos de origen biológico como los polisacáridos, pectina y celulosa, quitina, glucanos, glicoproteínas y microorganismos), también pueden ser ordenados de acuerdo a su origen en exógenos (Sustancias o estímulos originados fuera de la célula como polisacáridos, poliaminas y ácidos grasos) y endógenos (sustancias que se originan en el interior de la célula como los hepta-glucosidos) (Namdeo, 2007).

La radiación UV-B puede ser clasificada como un elicitador abiótico-exógeno (Namdeo, 2007) o físico (Schreiner y Huyskens, 2006; Pérez *et al.*, 2010). La aplicación en Poscosecha de elicitores para mejorar el contenido de sustancias fitoquímicas con potencial nutracéutico en frutas y verduras frescas ha sido ampliamente estudiado, por ejemplo; mediante daño mecánico, variación en la temperatura, luz ultravioleta entre otros. Se ha logrado intervenir el metabolismo secundario de frutas y hortalizas de forma tal, que aumente la síntesis de fitoquímicos, convirtiéndose en una alternativa para la industria de productos frescos con el fin de mejorar las propiedades benéficas de diversos materiales vegetales, obtener productos procesados más saludables y mejorar los rendimientos durante los procesos de extracción (Cisneros, 2003). El potencial nutracéutico, hace referencia a las características nutricionales y farmacéuticas que se presentan en forma de: terpenos y fenoles (asociados al poder antioxidante). Es importante destacar en los terpenos a los carotenoides y en los fenoles a los flavonoides (Souza, 1995).

Adicional a las modificaciones químicas originadas mediante la activación de diversas rutas metabólicas producto de la exposición a la radiación UVB, los organismos durante los diferentes procesos de evolución, han desarrollado mecanismos morfológicos y fisiológicos que les permiten adaptarse a condiciones desfavorables, produciendo estructuras de defensa como tricomas y engrosamientos de la pared celular, con el fin de resguardar estructuras principales, implicadas en los procesos metabólicos que pueden verse afectadas.

Es de vital importancia identificar los cambios que los organismos vegetales puedan sufrir producto de las variaciones medioambientales, que permita pronosticar parámetros como rendimiento, producción y calidad, las cuales serán relevantes para identificar los futuros escenarios de producción agrícola. Es el caso de las variaciones en la calidad y distribución de las ondas del espectro electromagnético que alcanzan la superficie terrestre, producto de la reducción en la concentración de la capa de ozono que pueden representar una oportunidad de mejora o identificación de futuros problemas en la producción.

El objetivo general de este trabajo fue evaluar el efecto de la radiación ultravioleta UV-B, como tecnología poscosecha, en el cambio del contenido de fitoquímicos, actividad antioxidante y en la calidad de subproductos como los extractos etanolicos de *Thymus vulgaris* L. Con el fin de obtener mayor valor agregado en la cadena productiva.

1. Estado del arte

1.1. Origen y botánica del tomillo

El tomillo es originario del sur de Europa y el norte de África, las plantas presentan un porte arbustivo con ciclo de vida perenne, tiende a ser muy tupida, con altura promedio 30-50 cm (Figura 1.A). Los tallos presentan una tonalidad gris y son de aspecto leñoso, las hojas son lanceoladas y ovadas, pecioladas, con el contorno girado hacia dentro y con el envés recubierto de vellosidad blanquecina. En las extremidades de los tallos se forman inflorescencias de 3 a 6 flores en espiga (Figura 1.B), se presentan en racimos terminales que habitualmente son de color violeta o púrpura aunque también pueden ser blancas. Estas flores, con la corola del labio superior escotada y el inferior dividido en tres lóbulos pueden adquirir color blanco o rosa mientras que el cáliz es tubular y rojizo y aterciopelado, todas, o casi todas las especies del género, tienen tallo cuadrado, hojas opuestas-acopladas, flores casi irregulares, la corola se encuentra ubicada a un costado, las flores tienen una forma similar a una boca abierta en la que los pétalos tienen forma de labios separados, el labio superior, por lo común bilobulado, y algo más corto que el inferior, y el inferior es trilobulado (Shu, 1994).

El fruto se compone de 4 nuececillas, que se ven en el fondo del cáliz, de color verde y diminuto cuando la planta se encuentra en plena floración, de color oscuro, y endurecidos cuando llegan a la madurez, en las hojas, el cáliz, y aún en la corola, por lo regular, se observan diminutos puntos translúcidos, de color áureo o pálido, que corresponden a glándulas redondeadas con alto contenido de aceites. Las hojas son muy pequeñas (6 mm de longitud), según la variedad pueden ser verdes, verdes grisáceas, amarillas, o jaspeadas, las hojas emiten un olor intenso y típico, que se incrementa con el roce (Figura 1. C) (Tropicos.org, 2013).

Figura 1. **A-** Planta de tomillo desarrollada en tierra negra para ensayos, con porte erecto típico de la especie (imagen propia). **B-** Floración de las plantas de tomillo empleadas en el estudio (imagen propia). **C-** Estructuras reproductivas de la especie (adaptada de Tropicos.org).



Esta especie está adaptada a períodos de lluvia e intensa sequía de forma alterna, características principales de la progresiva degradación de los bosques naturales, lo que ha permitido clasificar a la especie como una planta colonizadora y de amplia expansión.

1.2. Clasificación taxonómica

Las plantas de tomillo, pertenecen a la familia Lamiaceae (Lee *et al.*, 2005), al género *Thymus*, este género está dividido en ocho secciones que comprenden alrededor de 215 especies particularmente frecuentes en la zona mediterránea. Esta especie también es conocida con el nombre común de tomillo español. En condiciones subtropicales tiene su período de floración entre marzo y julio. Se encuentra normalmente desde el nivel del mar hasta 2000 msnm nivel (Hazzit *et al.*, 2009), la clasificación completa se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1. Clasificación taxonómica de las plantas de tomillo.

Taxonómica ⁽¹⁾	Clasificación
Clase	Equisetopsida (<i>C. Agardh</i>).
Subclase	Magnoliidae (<i>Novák ex Takht</i>).
Super-orden	Asteranae (<i>Takht</i>).
Orden	Lamiales (<i>Bromhead</i>).
Familia	Lamiaceae (<i>Martinov</i>).
Genero	<i>Thymus</i> L.
Especie	<i>Thymus vulgaris</i> L.

(1) Adaptado de: Missouri Botanical Garden, disponible en: <http://www.tropicos.org/Name/100268159>

1.3. Variedades comerciales

Existen selecciones varietales de la especie, a las cuales se les asigna el nombre de la región o país de origen, de tal forma que es común encontrar variedades; Israelí, Winter Alemán, Italiana, Inglesa entre otras. En Colombia las variedades más empleadas para el cultivo son Winter Alemán e Israelí (CCB, 2010), estas se diferencian por su porte y el color de la flor, en la primera la flor es violeta-morada y en la segunda tienden a un color crema-blanco.

En cuanto a este parámetro, es importante definir el quimiotipo de la planta, el término quimiotipo alude a la variación en la composición del aceite esencial, incluso de forma intraespecífica. Un quimiotipo es una entidad químicamente distinta, que se diferencia en los metabolitos secundarios. Existen pequeñas variaciones (ambientales, geográficas, genéticas, etc.) que producen poco o ningún efecto a nivel morfológico que sin embargo producen grandes cambios a nivel de fenotipo químico, con el fin de establecer el quimiotipo. Para el material de estudio se realizó una revisión en la cual se han reportado 6 quimiotipos básicos para *Thymus vulgaris* L. de acuerdo a su grupo químico dominante, a saber; timol, carvacrol, linalool, geraniol, 4-tuyanol y terpineol (Jaafari *et al.*, 2007). Cuando esto ocurre, se nombra la planta con el nombre de la especie seguido del componente más característico del quimiotipo, por ejemplo, *Thymus vulgaris* Linalool o *Thymus vulgaris* timol, el material de trabajo es quimiotipo Timol y se garantiza la homogeneidad del mismo mediante reproducción asexual por esquejes.

1.4. Usos

Estas plantas son consideradas como hierbas aromáticas y se utilizan principalmente para proporcionar un distintivo aroma y sabor a los alimentos. Las hojas se pueden utilizar tanto en fresco como en seco para uso como especia. Los aceites esenciales extraídos de las hojas y las flores pueden ser utilizados como aditivos de aroma en los alimentos, productos farmacéuticos y cosméticos (Joo *et al.*, 2005).

En cuanto a los usos culinarios, el tomillo, es una de las aromáticas más utilizadas como condimento, probablemente debido a sus propiedades digestivas, es recomendable por su intenso y fuerte aroma emplearlo en pequeñas dosis. Los usos medicinales van desde curar afecciones de vías respiratorias, tos ferina y tos persistente hasta afecciones gastrointestinales, a sus aceites esenciales se le atribuyen propiedades cicatrizantes, desinfectantes, expectorantes, broncodilatadores, digestivas y antirreumáticas. Entre tanto el timol, uno de los componentes químicos principales del tomillo, es un potente antiséptico, empleado en la elaboración de cremas dentales y enjuagues bucales, adicionalmente se le atribuye excelente capacidad antioxidante (Selmi y Sadok, 2008).

1.5. Importancia económica del cultivo

Colombia incursiona en el mercado de las aromáticas, produciendo 7.235 toneladas en las 1.893 hectáreas sembradas en todo el territorio nacional, de las cuales exporta anualmente cerca de 1.200 toneladas por un valor de US\$2,6 millones, siendo Estados Unidos, Canadá y la Unión Europea los principales destinos (Giraldo y Gómez, 2012). Las especies aromáticas más producidas son albahaca, cebollín, eneldo, laurel, mejorana, menta, orégano, romero, tomillo, cilantro, salvia y cardamomo en diferentes zonas del país, en donde se destacan los departamentos de Antioquia, Boyacá, Cundinamarca, Valle del Cauca y Eje Cafetero. Las variedades que más se venden al extranjero son albahaca, hierbabuena, tomillo y romero (CCB, 2010).

Estas plantas presentan múltiples opciones de comercialización no solo para dar sabor a las comidas o uso culinario, sino también se les reconoce por sus poderes medicinales, de allí que sean demandadas por la industria farmacéutica y cosmética. En ese sentido, es evidente la necesidad de aumentar el área cultivada. Para ello, el Ministerio de agricultura a través del “plan cadena productiva de plantas aromáticas, condimentarias, medicinales y afines”, ha desarrollado proyectos de investigación de cara a aumentar el número de hectáreas sembradas en el país, y poner en práctica sistemas de cultivo con estándares de calidad, con el fin de acceder a los mercados internacionales.

De esta forma surge la posibilidad de implementar nuevos tratamientos poscosecha amigables con la naturaleza, que a su vez permitan aumentar el contenido de metabolitos secundarios, principales componentes de los aceites esenciales. Qaderi *et al* (2007) y Karousou *et al* (1998), después de aplicar varios tratamientos con radiación UV-B, obtuvieron incrementos del 35% en el contenido flavonoides en plantas de Menta (*Mentha spicata* L.), por tanto es de esperar que mediante su implementación en el sistema productivo nacional aumente el valor agregado de los subproductos y por consiguiente genere nuevas alternativas en la cadena de valor.

1.6. Extractos y aceites esenciales de tomillo

Los aceites esenciales son compuestos volátiles, líquidos a temperatura ambiente, recién destilados son incoloros o ligeramente amarillos. Su densidad es inferior a la del agua (la esencia de sasafrás o de clavo constituyen excepciones). Casi siempre dotados de poder rotatorio, tienen un índice de refracción elevado, son solubles en alcoholes y en disolventes orgánicos habituales, como éter o cloroformo, y alcohol de alta gradación, son liposolubles y muy poco solubles en agua, pero son arrastrables por el vapor de agua, El contenido total en aceites esenciales de una planta es en general bajo (inferior al 1%) pero mediante extracción se obtiene en una forma muy concentrada que se emplea en los diversos usos industriales. La mayoría de ellos, son mezclas muy complejas de sustancias químicas. La proporción de estas sustancias varía de un aceite a otro, y también durante las estaciones, a lo largo del día, bajo las condiciones de cultivo y genéticamente. Son compuestos producidos por el metabolismo secundario de las plantas, los cuales se almacenan en diferentes órganos de la planta; como las raíces, rizomas, tallos, hojas, frutos, flores, y canales secretores, están formados por una o varias sustancias de origen orgánico, atribuyendo a estas el olor característico de las plantas gracias a su carácter volátil, son normalmente líquidos a temperatura ambiente y su composición varía acorde al lugar de origen, etapa de recolección y condiciones ambientales de desarrollo, usualmente, los climas cálidos están asociados a un mayor contenido de aceites esenciales (UPM, 2013)

Estas sustancias se pueden clasificar, de acuerdo a diferentes parámetros, como lo son; la consistencia, el origen y la naturaleza química de los componentes mayoritarios, de esta forma los aceites esenciales se pueden clasificar de acuerdo a su consistencia en: bálsamos, resinas y esencias. Los bálsamos se caracterizan por poseer altos contenidos de ácido cinámico y benzoico y sus respectivos ésteres, su consistencia es espesa, son poco volátiles y generalmente están implicados en procesos de polimerización, entre tanto, las resinas corresponden a una serie de mezclas amorfas de consistencia sólida o semisólida, en esta categoría también se puede encontrar a las oleorresinas, las cuales son derivadas de las resinas, usualmente son mezclas homogéneas de resinas con aceites esenciales. El término oleorresina se asigna a los extractos vegetales que se obtienen mediante la extracción con solventes y las esencias son de consistencia fluida o líquida los cuales son volátiles a temperaturas ambiente (UPM, 2013).

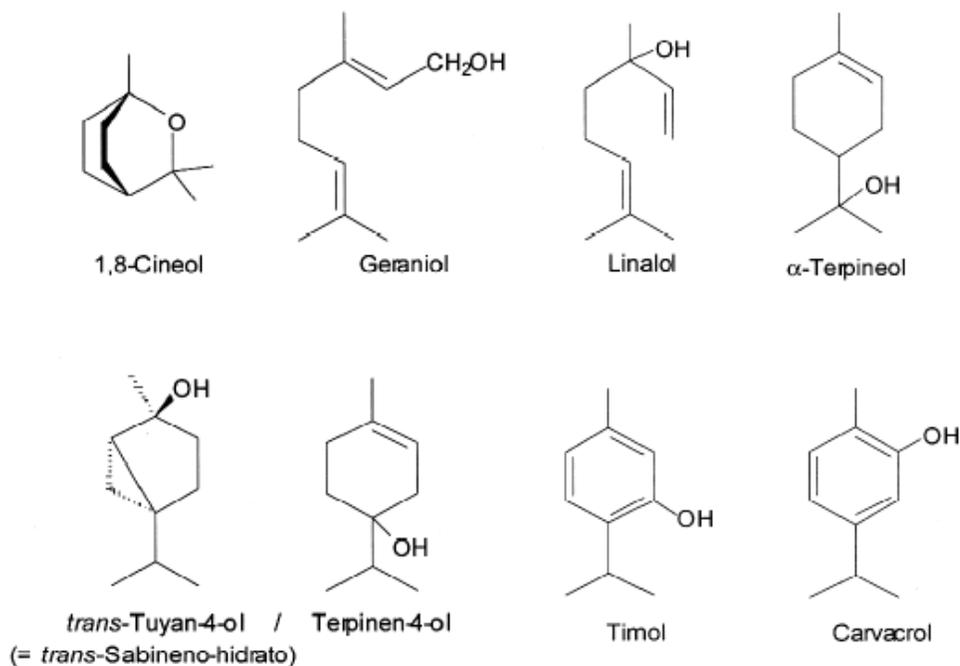
Los aceites son en su gran mayoría provenientes de las hojas frescas y jóvenes de la planta, alcanzando rendimientos entre 0,8-2,5%. La composición química del aceite esencial del tomillo está caracterizada por la presencia de 1,8-cineol (Jordán *et al.*, 2006; Santana *et al.*, 2012), sin embargo las especies de este género se caracterizan por tener fácil hibridación especialmente en los géneros con proximidad geográfica, lo cual conduce a un aumento de la variabilidad intraespecífica, que afecta la homogeneidad de rendimiento de extracción del aceite y su composición química. Las poblaciones naturales son generalmente heterogéneas y la composición química de las mismas es diferente, produciendo diversidad de quimiotipos, en los cuales es común encontrar timol, carvacrol, p-cimeno, gamma-terpineno, linalol, alfa-terpinol, anetol y borneol (Echeverrigaray *et al.*, 2001). Los beneficios relacionados con el uso del aceite esencial van desde su alto potencial antioxidante aplicable en la industria de alimentos, farmacéutica y cosmética como en su actividad antifúngica, plaguicida y bactericida

demostrada por varios investigadores (Cañigeral y Vanaclocha, 2000; Esquivel y Vargas, 2007; Castañeda *et al.*, 2007; Verdeguer, 2011).

Químicamente un aceite esencial es aquel que se obtiene mediante el método de extracción conocido como arrastre con vapor. Factores como el tipo de solvente, tamaño de las partículas, estado fenológico (Arraiza *et al.*, 2000), manejo agronómico, entre otros, pueden afectar o beneficiar el desarrollo de ciertos compuestos en el perfil químico de los extractos. De esta forma se han realizado estudios con el fin de determinar la composición química de los extractos de tomillo, encontrando en la actualidad 8 quimiotipos, caracterizados por la mayor expresión de una de las sustancias en el perfil.

Un quimiotipo, corresponde a una clasificación química, biológica y botánica que designa la molécula que tiene mayor presencia en un aceite esencial, en el caso del tomillo hace referencia a un grupo de individuos que se distingue en forma significativa del resto por su composición química. En Colombia, Francia y España se han identificado los siguientes (Figura 2); *Thymus vulgaris* Quimiotipo timol, *Thymus vulgaris* Quimiotipo Carvacrol, *Thymus vulgaris* Quimiotipo geraniol, *Thymus vulgaris* Quimiotipo linalol, *Thymus vulgaris* Quimiotipo α -terpineol, *Thymus vulgaris* Quimiotipo *trans*-4-tuyanol, *Thymus vulgaris* Quimiotipo *cis*-8-mircenol y *Thymus vulgaris* Quimiotipo cineol (Figura 2) (Cañigeral y Vanaclocha, 2000; Flores, 2010).

Figura 2. Diferentes quimiotipos encontrados para los aceites y extractos de tomillo. Tomado de Cañigeral y Vanaclocha, 2000.

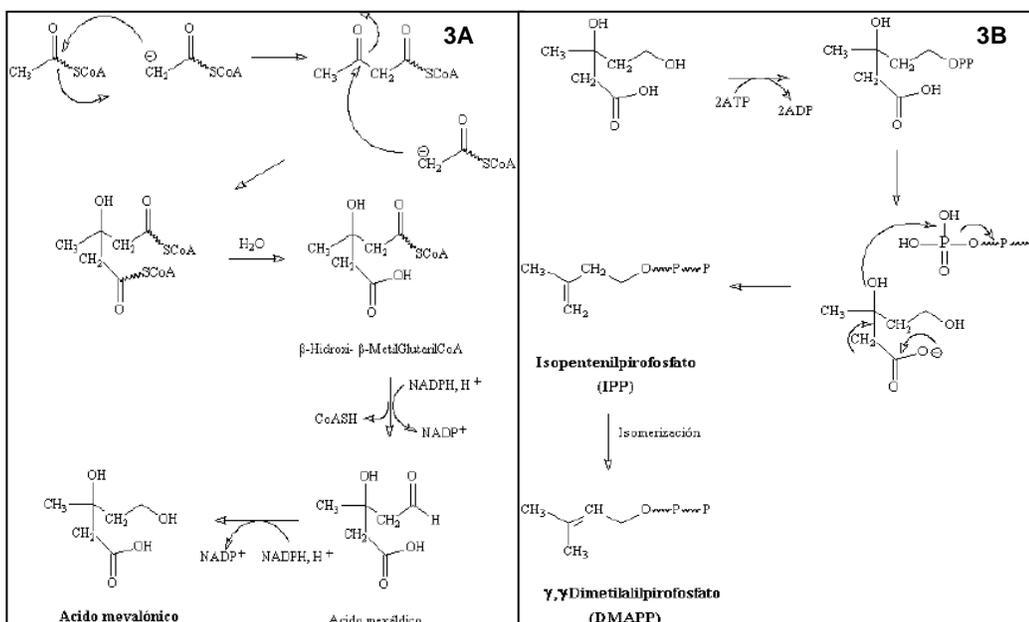


Evaluación del efecto de la aplicación de radiación UV-B durante la poscosecha en la calidad de los extractos de tomillo (*Thymus vulgaris* L.)

En cuanto a la caracterización química de los extractos se ha identificado un alto número de polifenoles, especialmente flavonoides, en los aceites esenciales de tomillo el contenido de fenoles monoterpénicos (terpenos con 10 átomos de carbono) puede variar entre 65-70%, algunos sesquiterpenos (terpenos con 15 átomos de carbono), taninos y triterpenos (Cañigeral y Vanaclocha, 2000). Sin embargo, la composición es altamente variable entre especies del mismo género y plantas de la misma especie propagadas en locaciones diferentes, siendo determinantes condiciones climáticas y edáficas, por ejemplo en el caso del aceite esencial de *Thymus camphoratus*, no se encontró presencia de fenoles timol y carvacrol (Velasco y Pérez, 1987).

Los monoterpénicos y en general todos los compuestos terpenoides naturales se biosintetizan por la ruta de la acetilcoenzima a través de un intermedio común que es el ácido mevalónico (Figura 3. A., 3. B. y 4). Sin embargo recientemente se ha propuesto que algunos terpenoides no se originan por esta ruta, sino por una ruta alterna que puede involucrar piruvato, gliceraldehído-3-fosfato y un intermedio de 5 átomos de carbono: 1-desoxi-xilulosa-5-fosfato (Martínez, 2003).

Figura 3. A. Proceso de biosíntesis del ácido mevalónico. **3. B.** Origen de IPP y DMAPP.

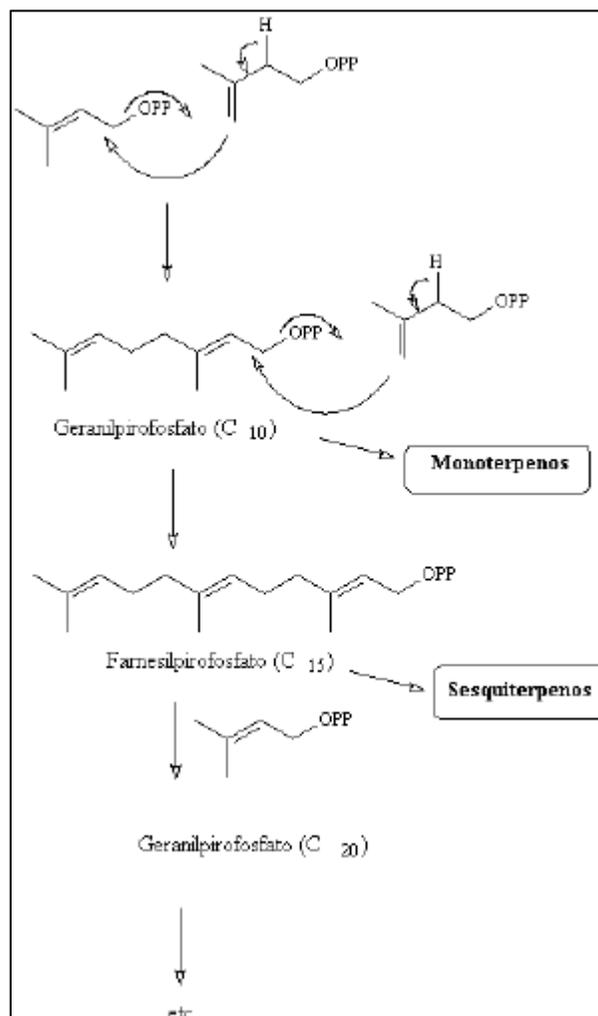


* **Figura 3. A.** Inicialmente se condensan dos moléculas de acetilCoA, con la participación hipotética de una β -cetotiolasa y una enzima condensante. Enseguida esta unidad es atacada por otra unidad de acetilCoA que ha perdido un H-a. La hidrólisis de una de las dos funciones tioéster da lugar a la β -hidroxi- β -metilglutarilcoenzima-A. Una segunda hidrólisis del otro grupo tioéster seguida de dos reducciones sucesivas con una reductasa NADPH-dependiente se llega al ácido mevalónico. El ácido mevalónico es el precursor de las dos unidades básicas que dan origen a los terpenoides: Isopentenilpirofosfato (IPP) y gama,gama-dimetilalilpirofosfato (DMAPP) Tomado de: Martínez, 2003.

** **Figura 3. B.** Inicialmente, una molécula de ácido mevalónico es pirofosfatada por dos unidades de ATP para originar mevalonil-pirofosfato. Enseguida la molécula sufre un proceso concertado de descarboxilación con la participación de otra molécula de ATP. De esta manera se origina una molécula de Isopentenilpirofosfato (IPP). La simple isomerización del enlace doble del IPP da origen a la unidad de DMAPP Tomado de: Martínez, 2003.

Es importante conocer la ruta metabólica del Geranilpirofosfato, pues esta sustancia es el precursor inmediato de todos los monoterpenos naturales, tal como se ilustra en la figura 4 por parte de Martínez (2003).

Figura 4. Formación biogénica de los terpenoides a partir de PP y DMAPP.



* Proceso de condensación de dos moléculas de 5 átomos de carbono (IPP y DMAPP) para dar origen a una molécula de 10 átomos de carbono: Geranilpirofosfato. La condensación de este compuesto con una nueva unidad IPP da origen al farnesilpirofosfato, el cual es el precursor de todos los sesquiterpenos naturales. Tomado de: Martínez, 2003

En el anexo A se presenta el resumen de la revisión de 388 compuestos identificados en los extractos de tomillo en los estudios de Venskutonis (1997); Bhaskara *et al* (1998); Guillén y Manzanos (1998); Hudaib *et al* (2002); Joo *et al* (2005); Jordán *et al* (2006); Vurro *et al* (2009) y De Lisi *et al* (2011).

1.7. Metabolismo secundario

El metabolismo, hace referencia al conjunto de reacciones químicas que realizan las células de los seres vivos para sintetizar sustancias complejas a partir de otras más simples, o para degradar las complejas y obtener las simples (Ávalos y Pérez, 2009). Las plantas, organismos autótrofos, poseen metabolismo primario y metabolismo secundario.

Estos procesos metabólicos conducen a la formación de diferentes compuestos, tales como: azúcares simples, aminoácidos, nucleótidos, ácidos grasos y polímeros derivados de ellos, polisacáridos, proteínas, ácidos nucleicos y lípidos, entre otros, los cuales son considerados esenciales en el ciclo de vida de la planta (Ruiz, 2008), son denominados metabolismo primario y los compuestos formados se designan como metabolitos primarios (Azcón-Bieto y Talón, 2000). Además de estos procesos, las plantas desarrollan otras rutas que conducen a la formación de compuestos usualmente inter e intraespecíficos, que forman parte del metabolismo secundario, a los que se les conoce como metabolitos secundarios (Taiz y Zeiger, 2002). Los metabolitos secundarios son sintetizados durante fases específicas del desarrollo de la planta, especialmente en momentos de estrés, por ejemplo, deficiencia de nutrientes, factores ambientales, ataque de microorganismos o insectos, entre otros (Azcón-Bieto y Talón, 2000; Taiz y Zeiger, 2002; Ruiz, 2008). Estos desempeñan funciones ecológicas y se caracterizan por sus diferentes usos y aplicaciones, como medicamentos, insecticidas, herbicidas, perfumes o colorantes, entre otros. Reciben también la denominación de productos naturales (Pichersky y Lewinsohn, 2011).

Estos estímulos en la planta desencadenan diferentes rutas metabólicas, las cuales se caracterizan por la producción de sustancias de respuesta o de defensa. Son conocidas 3 rutas de interés en la producción de metabolitos secundarios especialmente las relacionadas con la acetilcoenzima (ácido mevalónico-ruta de la condensación isoprénica), ácido shikímico y acetato-malonato (ruta de los policétidos) (Castro *et al.*, 2013). Como se mencionó anteriormente pueden existir otras rutas alternas que involucran piruvato, gliceraldehído-3-fosfato y un intermedio de 5 átomos de carbono: 1-desoxi-xilulosa-5-fosfato (Martínez, 2003), en la tabla 2 se presentan las rutas biosintéticas para algunos metabolitos secundarios presentes en los extractos y aceites esenciales de las plantas, como es el caso de los compuestos fenólicos, isoprenoides y alcaloides adaptada de Castro *et al* (2013).

Tabla 2. Ruta de biosíntesis para algunos compuestos fenólicos e isoprenoides presentes en extractos y aceites esenciales de plantas.

Tipo de compuesto		Ruta de biosíntesis
Fenólicos	Ácidos fenólicos	Ácido shikímico
	Cumarinas y lignanos	Ácido shikímico
	Flavonoides	Ácido shikímico y acetato-malonato
	Taninos	Ácido shikímico y acetato-malonato
	Antraquinonas	Acetato-malonato
Isoprenoides	Esteroides	Ácido mevalónico
	Terpenos	Ácido mevalónico
	Alcaloides	Ácido shikímico y ácido mevalónico

Estos compuestos se distribuyen diferencialmente entre grupos taxonómicos, presentan propiedades biológicas, muchos desempeñan funciones ecológicas y se caracterizan por sus diferentes usos y aplicaciones como medicamentos, insecticidas, herbicidas, perfumes o colorantes, entre otros (Pichersky y Lewinsohn, 2011).

Los metabolitos secundarios que forman parte de los aceites esenciales también pueden ser clasificados en dos grandes grupos terpenoides y no terpenoides. Los terpenoides, son los más importantes en cuanto a propiedades y usos comerciales, los terpenos derivan, de unidades de isopreno, aunque también son comunes los sesquiterpenos y los diterpenos, estos se pueden clasificar en alifáticos y en cíclicos o aromáticos.

Por su parte los no terpenoides se caracterizan por ser sustancias alifáticas de cadena corta, sustancias aromáticas, sustancias con azufre y sustancias nitrogenadas. No son tan importantes como los terpenoides en cuanto a sus usos y aplicaciones. Los metabolitos secundarios también pueden ser clasificados de acuerdo a los grupos funcionales que se puedan identificar en ellos; de esta forma podemos encontrar compuestos que pertenecen a los siguientes grupos; alcoholes (fenoles), aldehídos, ésteres, cetonas, éteres e hidrocarburos. Para el caso específico de nuestro estudio, se realizó un filtro a la revisión presentada en el anexo A, de los compuestos más probables y su clasificación en extractos y aceites esenciales de tomillo (tabla 3):

Tabla 3. Compuestos con mayor posibilidad de ocurrencia en los extractos y aceites esenciales de tomillo

Clasificación	Compuesto
Monoterpene hydrocarbons	α-Pinene
	α-Thujene
	Camphene
	β-pinene
	Sabinene
	α-Terpinene
	α-Phellandrene
	p-Cymene
	γ-Terpinene
	Terpinolene
	Myrcene

Clasificación	Compuesto
Oxygenated monoterpenes	1,8-Cineole
	Camphor
	Linalool (3,7-Dimethyl-1,6-octadien-3-ol)
	Linalyl acetate
	Terpinen-4-ol
	α -Terpineol
	Bornyl acetate
	Thymol (2-Isopropyl-5-methylphenol)
	Carvacrol (2-Isopropyl-2-methylphenol)
	Trans-Sabinene hydrate
	Geraniol
Sesquiterpene hydrocarbons	δ -Cadinene
	γ -Cadinene
Oxygenated sesquiterpenes	Caryophyllene oxide
	Spathulenol
	α -Humulene
	allo-Aromadendrene
Aliphatic esters	Geranyl acetate

Se identifica como ruta principal de biosíntesis de estos la ruta de la acetilcoenzima específicamente la ruta del ácido mevalónico.

1.7.1. Fenoles

En el contexto del metabolismo, las plantas sintetizan una gran variedad de productos secundarios, entre ellos se encuentran los fenoles, los cuales se pueden identificar en cualquier parte de la planta, variando de forma cualitativa y cuantitativa su concentración, dependiendo del órgano de estudio. Estos compuestos químicos se caracterizan por poseer al menos un anillo aromático sustituido con uno, o varios, grupos hidroxilo (Ávalos y Pérez, 2009). En este grupo se pueden identificar desde moléculas sencillas como los ácidos fenólicos, hasta polímeros complejos como los taninos y la lignina.

Los fenoles se originan básicamente por dos rutas biosintéticas; ruta del ácido shikímico (fenilpropanos y derivados) y la del acetato-malonato (fenoles simples y quinonas). La combinación de ambas rutas principales da lugar a la formación de los flavonoides, que es el subgrupo de compuestos fenólicos que presenta la mayor diversidad en las plantas, implicados en interacciones planta-herbívoro. La ruta del ácido malónico es una fuente importante de fenoles en hongos y bacterias, pero es poco empleada en plantas superiores y la ruta del ácido shikímico es responsable de la biosíntesis de la mayoría de los compuestos fenólicos de plantas. A partir de eritrosa-4-P y de ácido fosfoenolpirúvico (Harborne, 1989; ETSIA, 2007, Castro *et al.*, 2013).

La enzima fenilalanina amonio liasa (PAL) cataliza la formación de ácido cinámico por eliminación de una molécula de amonio de la fenilalanina. Esta enzima está situada en un punto de ramificación entre el metabolismo primario y secundario por lo que la reacción que cataliza es una importante etapa reguladora en la formación de muchos compuestos fenólicos. Las reacciones posteriores a la catalizada por PAL son básicamente adiciones de más grupos hidroxilo y otros sustituyentes.

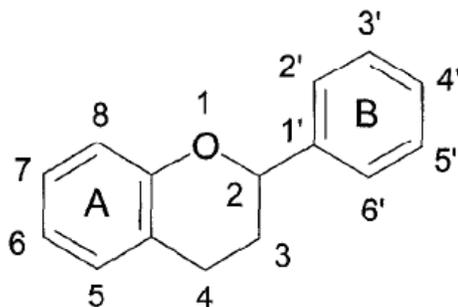
Los ácidos trans-cinámico y p-cumárico se metabolizan para formar ácido ferúlico y ácido caféico cuya principal función es ser precursores de otros derivados más complejos: cumarinas, lignina, taninos, flavonoides e isoflavonoides. Los ácidos cinámico y cumárico, así como sus derivados, son compuestos fenólicos simples llamados fenilpropanoides por contener un anillo de benceno y una cadena lateral de tres carbonos (Harborne, 1989; Azcón-Bieto y Talón, 2000; Taiz y Zeiger, 2002; ETSIA, 2007).

La síntesis y la acumulación de los compuestos fenólicos están condicionados por el estado de desarrollo general de la planta o de los órganos, tejidos y células considerados. El control de estos procesos, que determinan en última instancia la distribución de estos metabolitos secundarios, viene determinado por factores de tipo endógeno relacionados con los procesos de diferenciación dependientes del desarrollo y/o por factores externos tales como la luz, la temperatura o los ataques de agentes bióticos o abióticos (Wiermann, 1981; ETSIA, 2007; Nickavar y Esbati *et al.*, 2012).

1.7.2. Flavonoides

Estos compuestos confieren colores amarillo, naranja, rojo, violeta y azul, a muchas flores, hojas y frutos. Son producidos en el metabolismo secundario de las plantas. Los flavonoides presentan estructura de anillos aromáticos, su origen biosintético es mixto, como se presenta en la figura 5, el anillo B y la cadena de 3 carbonos que enlaza las estructuras aromáticas, son derivados del metabolismo de los fenilpropanoides (ruta del ácido shikímico) y el anillo A es producto de la condensación de 3 moléculas de malonil-CoA con una molécula de p-cumaril-CoA. Esta reacción está catalizada por la chalcona sintasa y da lugar a la naringerina chalcona, precursora de los flavonoles y antocianinas (Figura 5) (Graham, 1998; Martínez, 2005).

Figura 5. Estructura básica de los flavonoides. Tomado de Graham (1998)



Existen más de 4000 flavonoides naturales, los cuales se han clasificado de acuerdo con las variantes estructurales que presenta la cadena central de 3 carbonos en: chalconas, flavonas, flavonoles, flavanonas, flavanonoles, antocianidinas, catequinas, epicatequinas, auronas, isoflavonoides, pterocarpanos, rotenoides, etc. Algunos flavonoides como las chalconas y flavanonas, son precursoras de las demás clases de flavonoides, estos, sin embargo; dentro de las plantas se encuentran ligados a moléculas de carbohidratos.

A este tipo de combinación núcleo flavonoide básico más una o varias unidades de carbohidratos, se les denomina *glicosidos*, y cuando no tienen ligadas moléculas de carbohidratos se las denomina *agliconas flavonoides* (Martínez, 2005).

Aunque todavía no se conoce exactamente el papel que desempeñan los flavonoides en los vegetales, se tienen algunas evidencias experimentales que sugieren que cumplen una o varias de las siguientes funciones (Ávalos y Pérez, 2009):

- Pigmentación (relación planta-insecto)
- Absorción de radiación ultravioleta.
- Participación en el proceso de la fotosíntesis.
- Actividades biológicas (antimicrobiana, antimicótica, etc).
- Fitoalexinas (mecanismo químico de defensa vegetal).

1.7.3. Antocianinas

Las antocianinas pertenecen al grupo de los flavonoides, en ellas encontramos la mayoría de los colores de las flores y los frutos (Ávalos y Pérez, 2009), especialmente los pigmentos visibles al ojo humano como el color rojo, violeta y azul. Químicamente las antocianinas son glucósidos de las antocianidinas de tipo hidrosoluble. Las antocianidinas no se acumulan como tal en las plantas, sino su forma glucosilada. De todas las antocianidinas que actualmente se conocen (aproximadamente 20), las más importantes son la pelargonidina, delfinidina, cianidina, petunidina, peonidina y malvidina, nombres que derivan de la fuente vegetal de donde se aislaron por primera vez. Las tres primeras son más frecuentes en frutos, las restantes están presentes en flores. La combinación de éstas con los diferentes azúcares genera aproximadamente 150 antocianinas. Los carbohidratos que comúnmente se encuentran son la glucosa y la ramnosa, seguidos de la galactosa, xilosa y la arabinosa, ocasionalmente, la gentobiosa, la rutinosa y la soforosa (Aguilera *et al.*, 2011).

Con base en el número de azúcares presentes en su estructura, las antocianinas se clasifican en: monoglucósidos (un azúcar), diglucósidos (dos azúcares) y triglucósidos (tres azúcares). Las antocianinas juegan un papel fundamental en los procesos de polinización y en la dispersión de semillas, son muy apetecidas en la industria de alimentos, por su impacto en las características sensoriales y por su implicación en la salud humana, adicionalmente a su funcionalidad como colorante alimenticio, debido a que son fácilmente degradadas por el intestino (Aguilera *et al.*, 2011).

Las antocianinas se pueden extraer de tejidos frescos por maceración con un solvente ácido como por ejemplo la mezcla metanol-ácido acético-agua (MAW) (11:1:5) ó la

mezcla MFW, es decir metanol/ácido fórmico/agua por ejemplo 10:1:9. La biosíntesis de estos compuestos esta mediada por la conversión de la chalcona por acción de diversas enzimas como: chalcona isomerasa (CHI), flavanona 3-hidroxilasa (F₃OH), isoflavona sintasa (ISF), flavona sintasa (FS), flavonol sintasa (FLS), dihidroxiflavonol reductasa (DHFR) y antocianina sintasa (AS). Estas sustancias son responsables de la mayoría de los colores de las flores y los frutos y son importantes en la polinización y en la dispersión de semillas. El color de las antocianinas depende del número de grupos hidroxilo y metoxilo en el anillo B y del pH de las vacuolas en las que se almacenan. Algunos ejemplos son pelargonidina (rojo-naranja), cianidina (rojo púrpura) y delphinidina (azul púrpura) (Martínez, 2005).

1.8. Métodos de obtención

Son procesos que tienen como objetivo separar y concentrar los componentes con el fin de facilitar el procesamiento industrial y homogenizar la calidad, entre los métodos más destacados encontramos: enfleurage, prensado, Arrastre con vapor, hidrodestilación, extracción con solventes (Soxhlet y Randall) y técnicas más recientes como el uso de Fluidos supercríticos (Sánchez, 2006), una breve descripción de cada uno de los métodos se presenta en la tabla 4.

Tabla 4. Descripción de algunos métodos de obtención de aceites esenciales.

Método	Descripción	Plantas Objetivo	Fuente
Enfleurage	Se requiere de grasas naturales con puntos de ablandamiento alrededor de 40 °C, normalmente Refinada, Blanqueada, Desodorizada. Se extiende en bandejas en profundidad no mayor a 0.5 cm y sobre ella se colocan los pétalos de flores o el material vegetal, desde donde se van a extraer los principios odoríficos.	Azahar Rosa Violeta Jazmín	Sánchez, 2006
Extracción por medio de fluidos supercríticos	Tiene como principio la transferencia unitaria de masa, que consiste en el acondicionamiento de un solvente empleado para la extracción o arrastre, el cual debe estar por encima de su punto supercrítico, esto quiere decir alta presión y temperatura. Este método permite controlar y modificar propiedades del aceite tales como; difusividad, viscosidad y densidad del fluido, mediante cambios en presión y temperatura. La sustancia más empleada es el CO ₂ clasificado por la FDA como GRAS (Generally Recognized As Safe), que en estas condiciones presenta baja viscosidad, baja tensión superficial, alto coeficiente de difusión (10 veces más que un líquido normal), que conlleva a un alto contacto con la superficie del material y puede penetrar a	Plantas ricas en sustancias volátiles termolábiles.	Esquivel y Vargas, 2007

Evaluación del efecto de la aplicación de radiación UV-B durante la poscosecha en la calidad de los extractos de tomillo (*Thymus vulgaris* L.)

	pequeños poros y rendijas del mismo lo que asegura una buena eficiencia en la extracción en un corto tiempo. En la parte final del proceso hay una remoción total del solvente y se realiza a una temperatura baja, se disminuye la pérdida de sustancias volátiles y se evita la formación de sabores y olores extraños. La temperatura y presión críticas para el CO ₂ son Pc 73 bar y Tc 31°C. El CO ₂ supercrítico permite el desplazamiento y extracción de los siguientes compuestos: Hidrocarburos, éteres, ésteres, cetonas, lactosas, alcoholes, aldehídos, mono y sesquiterpenos, grasas, resinas, esteroides, alcaloides, carotenos, oligómeros, azúcares, glicósidos, aminoácidos, plásticos, proteínas y polisacáridos.		
Extracción con solventes orgánicos	Permite extraer sustancias como los aceites esenciales, colorantes, gomas, mucílagos, ceras, grasas, proteínas y carbohidratos, requiere de un tratamiento previo en la matriz de extracción, p. ej: molienda, macerado o picado, para permitir mayor área de contacto entre el sólido y el solvente. Las sustancias extraídas, son evaporadas y concentradas a baja temperatura. Las características deseadas del solvente son: punto de ebullición bajo y uniforme que permita eliminarlo rápidamente, pero evitando pérdidas por evaporación, químicamente inerte, para no reaccionar con los componentes de los aceites.. Este disolvente ideal no existe, y los más empleados son: Etanol, metanol, isopropanol, hexano, ciclohexano, tolueno, xileno, ligroína, éter etílico, éter isopropílico, acetato de etilo, acetona, cloroformo. No se usan clorados ni benceno por su peligrosidad a la salud. El proceso puede ejecutarse por batch (por lotes) o en forma continua (percolación, lixiviación, extracción tipo soxhlet). Finalmente los solventes se recuperan por destilación y pueden ser reutilizados en el mismo proceso en extracciones tipo Randall.	Todas, uso cosmético y comestible	Besbes <i>et al.</i> , 2004 Sánchez, 2006 Esquivel y Vargas, 2007 Habib <i>et al.</i> , 2013 Eljarrat, Caixach y Rivera, 2000.
Extracción por arrastre con vapor	Las plantas se colocan en un fondo perforado o criba ubicada a cierta distancia del fondo en un alambique. La parte más baja de esta contiene agua hasta una altura menor que el nivel de la criba. El calentamiento se produce con vapor	Rosa Jazmín Ylang-Ylang Todos	Sánchez, 2006 Esquivel y Vargas, 2007

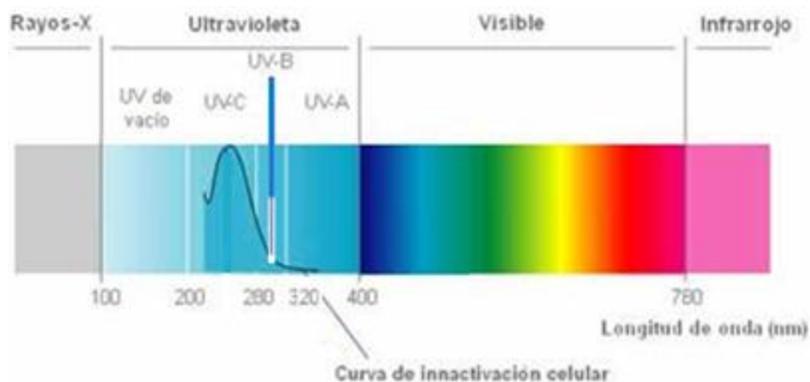
	<p>saturado que se provee de una fuente de calor que compone el equipo, este fluye con alta humedad y a presión baja, penetrando a través del material vegetal.</p> <p>El fundamento de este proceso radica en la temperatura del vapor (100 °C) en un cierto tiempo, el tejido vegetal se rompe liberando el aceite esencial. Adicionalmente el aceite esencial debe de ser insoluble en agua, ya que después del condensador, en el separador (Florentino) deben formarse dos fases: una de aceite esencial y otra de agua. Si el aceite esencial presenta componentes solubles en agua estos quedarán en la fase acuosa que puede comercializarse como tal: agua de rosas, agua de jazmín, agua de ylang-ylang.</p>		
Extracción por prensado	<p>El material vegetal es sometido a presión, bien sea en prensas tipo batch o en forma continua, dentro de éstos se tienen los equipos: Tornillo sin fin de alta o de baja presión, extractor expeller, extractor centrífugo, extractor decanter y rodillos de prensa. Para los cítricos antiguamente se empleó el método manual de la esponja, especialmente en Italia, que consiste en exprimir manualmente las cáscaras con una esponja hasta que se empapa de aceite, se exprime entonces la esponja y se libera el aceite esencial.</p>	Naranja Mandarina Cítricos en general	Sánchez, 2006
Hidrodestilación.	<p>Este tipo de extracción implica el uso de agua y vapor, los cuales son empleados como medio de arrastre, la extracción inicial la cual es condensada y dividida mediante un separador de fases o florentino.</p>	Tomillo	Taghi y Razaei, 2008

Cada uno de los métodos permite obtener diferentes fracciones químicas de las plantas, por tanto la selección del mismo, debe enfocarse en la pregunta ¿Qué deseo obtener en el proceso de extracción?, pues del enfoque del uso potencial permitirá obtener mejores resultados a la aplicación de variables que estimulan la producción de fitoquímicos. Adicionalmente es importante realizar el análisis comparativo de los principales métodos de extracción, con el fin de establecer las ventajas y limitaciones en el uso de estas tecnologías (Gil y Sáenz, 2005).

1.9. Radiación ultravioleta

La radiación emitida por el sol, que llega a la tierra, depende de múltiples factores o barreras físico-químicas, de las cuales es importante destacar el efecto de las moléculas de ozono (O_3) que actúan como elementos filtrantes, absorbiendo longitudes de onda nocivas para la vida en el planeta como lo son la radiación ultravioleta B y C (Figura 6). Esta radiación corresponde al 8-9% de la radiación total y se encuentra en longitudes de onda que van de 100-400 nm (Figura 6). El grado de incidencia y afectación por parte de la radiación ultravioleta depende de factores como la altitud sobre el nivel del mar, la nubosidad, fenómeno de reflectancia del suelo y el gradiente latitudinal natural de la capa de ozono (concentración de ozono atmosférico) (Caldwell, 1981). Los efectos de la radiación ultravioleta en las plantas son numerosos, y están mediados por la intensidad o dosis de exposición a la misma. Varios autores como (Greenberg *et al.*, 1996; Hollósy, 2002; Andreasson y Wängberg, 2006; Klem *et al.*, 2012) describen con detalle el efecto de la radiación a nivel morfológico y fisiológico y de cómo esta actúa de forma distinta de acuerdo a la edad de las hojas (Reifenrath y Müller, 2007).

Figura 6. Clasificación del espectro electromagnético emitido por el sol, con énfasis en la radiación ultravioleta, su clasificación y curva de inactivación celular (tomado de: <http://www.tiendanimal.es/articulos>).



1.9.1. Radiación UV-A

Está comprendida por la longitud de onda que va 320-400 nm, representa aproximadamente el 6,3% de la radiación ultravioleta total y es la menos peligrosa en comparación a la UV-B y UV-C. Es importante mencionar que el coeficiente de absorción del ozono disminuye rápidamente con longitudes de onda superiores a 280 nm y se aproxima a cero con longitudes mayores a 330 nm (Robberecht, 1989 citado por Hollósy, 2002). Es por esta razón que la radiación UV-A que llega a la tierra no se afecta por cambios en las concentraciones de ozono estratosférico.

1.9.2. Radiación UV-B

Desde el punto de vista de la ingeniería a nivel mundial, la radiación ultravioleta B, es considerada como un parámetro determinante en seguridad alimentaria, procesamiento de materiales, sostenibilidad urbana y regional, con un alto potencial de investigación y búsqueda de usos prácticos en los diferentes modelos productivos. En el caso específico de Colombia este parámetro se ha empleado en el estudio de la resistencia y vida útil de materiales para la construcción, efecto sobre la calidad y producción de especies vegetales y el riesgo de exposición de la población medida a partir de parámetros como la UVI (índice de radiación incidente).

El análisis de la radiación UVB en la mayoría de los estudios, proviene de tratamientos con emisiones artificiales (luminaria implementada en cámaras e invernaderos) o estimaciones realizadas de forma indirecta, que dificultan la comprensión y aplicación en el supuesto de emisión natural. Es vital comprender la variabilidad de este parámetro, el cual está fuertemente influenciado por procesos radiativos, dinámicos y químicos en la estratosfera, específicamente en la dinámica de la capa de ozono, dependiente de la emisión de los diversos gases de efecto invernadero y que han sido objeto de estudio para el análisis de problemáticas mundiales como lo es el cambio climático.

La radiación ultravioleta B cuya longitud de onda se encuentra entre 280-320 nm (Barnes *et al.*, 1996; Carrasco, 2009) representa el 1,5% de la radiación ultravioleta; algunos investigadores como Hollósy (2002), han estimado que la radiación UV-B incidente aumenta de forma directamente proporcional con la reducción del contenido de ozono atmosférico en una tasa del 130-180% (relación 1:1,3 – 1: 1,8), siendo considerada como una de las mayores limitantes del cambio climático para el desarrollo sostenible de la humanidad (PNUMA, 2008; Kudish *et al.*, 2011; Barnes *et al.*, 2014).

1.9.3. Radiación UV-C

La radiación ultravioleta C es aquella que cuenta con una longitud de onda entre 200-280 nm, es extremadamente peligrosa para los seres vivos pero en condiciones normales de emisión solar no representa un riesgo potencial para la vida en la tierra (Hollósy, 2002).

1.10. Radiación ultravioleta como tecnología Poscosecha

La irradiación de alimentos es considerada como un método no tradicional para la conservación y tratamiento de alimentos, su uso ha sido aprobado en más de 37 países, y en varios de estos ya se usa con fines comerciales. Se considera que una dosis total de radiación de 10 Kilogray (Kgy) no presenta riesgos toxicológicos, microbiológicos o nutricionales en los alimentos. Sin embargo estas unidades fueron establecidas para la aplicación de radiación X y gamma. Desde primera aplicación en alimentos en 1921 la radiación, se consideró como una tecnología importante para el control de microorganismos y plagas cuarentenarias en alimentos (Parra, 2007).

En el último siglo se ha estudiado de forma minuciosa por parte de varios grupos de investigación e importantes institutos científicos, el efecto de la radiación ultravioleta y su aplicabilidad como tecnología en la agricultura. Se han obtenido grandes avances en la aplicación de la radiación UV-C como agente esterilizador y desinfectante de frutas y hortalizas frescas, mediante la inactivación microbiológica de patógenos como *Salmonella entericay Escherichia coli* en tomate (Yun *et al.*, 2013; Mukhopadhyay *et al.*, 2014) y *Alicyclobacillus acidoterrestris* en uvas y manzanas (Handan, Molva y Unluturk, 2013).

En un escenario contrastante se encuentran, las aplicaciones de radiación UV-A y UV-B que no han tenido gran impacto en la industria alimentaria, a causa de tres aspectos fundamentales:

- Desconocimiento de la tecnología.
- Carencia de equipos especializados para la aplicación de las mismas.
- Deficiencia en estudios especie-específicos, que permitan definir las dosis de respuesta y los tiempos de adaptación para obtener los mejores resultados en la poscosecha de productos agrícolas.

Estudios realizados por Schreiner y Huyskens (2006); Jansen *et al.*, (2008) y Pérez *et al.*, (2009; 2010), han permitido establecer la radiación ultravioleta B como una tecnología promisoriosa en la poscosecha de frutas, hortalizas y aromáticas. Los efectos generales de la radiación ultravioleta B son expuestos en trabajos de revisión como Barnes *et al.*, (1996); Hollósy (2002); Andreasson (2006); Jacovides *et al.*, (2009) y Klem *et al.*, (2012). Con el fin de contextualizar y soportar los resultados obtenidos en el presente estudio, se realizó la revisión bibliográfica, relacionada con aplicación de radiación UVB en alimentos que se presenta en la Tabla 5.

Tabla 5. Revisión de estudios durante el periodo 2009-2015, con aplicación de radiación UVB en vegetales, la revisión del periodo 1997-2008, puede ser consultada en Jansen *et al.*, (2008).

Material vegetal	Dosis	Parte/órgano irradiado	Autor
<i>Acorus calamus</i> L.	1,8 kJm ⁻²	hojas	Kumari <i>et al.</i> , 2009
(Tomate) <i>Lycopersicon esculentum</i> Mill.	0,04-0,075-0,150-0,225-0,300 Wh m ⁻²	Frutos	Pérez <i>et al.</i> , 2009
(Tomate) <i>Lycopersicon esculentum</i> Mill.	0,04-0,075-0,150-0,225-0,300 Wh m ⁻²	Toda la planta	Pérez <i>et al.</i> , 2010
(Canola) <i>Brasica napus</i>	5-10 kJm ⁻² d ⁻¹	semillas	Qaderi <i>et al.</i> , 2010
(Menta) <i>Mentha x piperita</i> L.	7,1 kJm ⁻² d ⁻¹	hojas y tallos	Dolzhenko <i>et al.</i> , 2010
(Soya) <i>Glycine max</i>	8-8,3 y 9,5 Wm ⁻²	semillas	Sanjay <i>et al.</i> , 2011
Cebada <i>Hordeum vulgare</i>	0,35-1,4 Wm ⁻²	semillas	Klem <i>et al.</i> , 2012
(Maracuya) <i>Passiflora edulis</i>	0,8 y 8 Wm ⁻²	toda la planta	Cechin <i>et al.</i> , 2012
(Hierba buena) <i>Mentha spicata</i> L.	0,05-0,075 Wh m ⁻²	hojas y tallos	Ramírez <i>et al.</i> , 2013
(Romero) <i>Rosmarinus officinalis</i> L.	0,05-0,075 Wh m ⁻²	hojas y tallos	Ramírez <i>et al.</i> , 2013
(Tomillo QT*. Timol) <i>Thymus vulgaris</i> L.	0,05-0,075 Wh m ⁻²	hojas y tallos	Ramírez <i>et al.</i> , 2014
(Hierba buena) <i>Mentha spicata</i> L.	0,05-0,075 Wh m ⁻²	hojas y tallos	Rodríguez <i>et al.</i> , 2014
(Romero) <i>Rosmarinus officinalis</i> L.	0,05-0,075 Wh m ⁻²	hojas y tallos	Rodríguez <i>et al.</i> , 2014
(Soya) <i>Glycine max</i>	NA	semillas	Sanjay <i>et al.</i> , 2014
(Arandanos) <i>Vaccinium corymbosum</i> L cv. Brigitta and Bluegold	0,07-0,12-0,19 Wm ⁻²	hojas	Inostroza <i>et al.</i> , 2014
(Aromatica) <i>Kalanchoe pinnata</i>	0,27-1,02-4-15 Wm ⁻²	Hojas y tallos	dos Santos <i>et al.</i> , 2015

*QT: Quimiotipo

2. Objetivos

2.1. Objetivos generales

- Evaluar el cambio en el contenido de fitoquímicos en *Thymus vulgaris* L. por efecto de la radiación UV-B como tecnología poscosecha para generar valor agregado en el modelo productivo.

2.2. Objetivos específicos

- Evaluar en qué medida diferentes tratamientos durante la poscosecha con radiación UV-B y diferentes tiempos de adaptación pueden tener un efecto en la actividad antioxidante de *Thymus vulgaris* L.
- Identificar el efecto de la radiación UV-B en la calidad de subproductos como los extractos de la especie en estudio con el fin de obtener mayor valor agregado en el proceso productivo.

3. Metodología

El proyecto de investigación se realizó con plantas de la especie *Thymus vulgaris* L (N.C. tomillo) quimiotipo timol, provenientes de cultivo bajo invernadero, con sistema de riego por aspersión, en sustrato proveniente de la sabana de Bogotá con un pH entre 5,5-6,5. Se manejaron 4 parcelas cada una con 250 plantas. El ensayo se llevó a cabo en el invernadero 155 de Investigación en fisiología vegetal, del Departamento de Biología en la Universidad Nacional Sede Bogotá.

3.1. Material vegetal

Las pruebas se realizaron con hojas y tallos jóvenes de plantas de tomillo en dos momentos de cultivo 75 y 92 días después de trasplante (ddt), estos valores son equivalentes según la escala BBCH a los estados 39G (nueve nudos detectables-punto de corte) y 90 (Plena floración) (Meier, 2001). Se empleó aproximadamente 1 Kg de hojas y tallos finos en fresco y en seco para cada tiempo de adaptación Ta (24 h) y Tb (48 h) y para cada tratamiento con radiación UV-B. Mientras que en los ensayos para determinación de fitoquímicos se emplearon 50-500 g según la prueba requerida (Ramírez *et al.*, 2013; 2014; Rodríguez *et al.*, 2014a; 2014b).

3.1.1. Selección de material

El tomillo al presentar capacidad de adaptación a diferentes factores ambientales, requiere de una selección rigurosa de su material propagativo, con el fin de disminuir la variabilidad del ensayo producto de quimiotipos diferentes. Para el presente ensayo se emplearon plantas de la variedad israelí, por presentar mayor plasticidad fenotípica en comparación con las variedades disponibles en el mercado. La propagación de la variedad se realizó de forma asexual usando esquejes provenientes de un quimiotipo conocido y con aplicación a nivel industrial (quimiotipo timol), se seleccionó este método de propagación pues las semillas de las plantas de esta especie presentan una baja tasa de germinación (40-70%), lo que dificulta su desarrollo de forma sexual. En total fueron necesarios 2000 esquejes, de los cuales se seleccionaron 1000 por su porte y vigor, estos fueron distribuidos en cada uno de los tratamientos.

3.1.2. Sustrato

Se trabajaron dos métodos para el desarrollo de las plantas, inicialmente se fortalecieron los esquejes empleando hidroponía, mediante la selección de un fertilizante convencional que se administró en solución y un sustrato o soporte adecuado para los esquejes. Una vez se logró el establecimiento de los esquejes, se procedió a ubicar los esquejes en sustrato para ensayos con un contenido de 3.8 % de materia orgánica, el análisis químico de este sustrato se presenta en la Figura 7.

Figura 7. Resumen de las propiedades físico-químicas del sustrato empleado para el desarrollo de los esquejes.

REPORTE DE ANÁLISIS DE SUELO No. 780-2012

Página 1 de 1



LABORATORIO DE SUELOS FACULTAD DE AGRONOMÍA

Remitente: Rafael Ramirez
 E-mail: raramireza@unal.edu.co
 Dirección: Cr 37A 12-11 Sur
 Teléfono: 3214302911
 Ciudad: Bogotá D.C.

Dpto: Cundinamarca
 Cultivo: Hierbas aromáticas
 Recibido: 22/06/12
 Reportado: 20/07/12
 Recibo No.: 117285700

RESULTADOS

pH	CE	CO	N	Ca	K	Mg	Na	AI	CICE	CIC
	dS/m	%		meq / 100g						
5,8	ns	2,21	0,11	13,8	1,38	3,61	0,33	0,00	19,1	29,6

ns: no solicitado

P	S	Cu	Fe	Mn	Zn	B	Ar	L	A	Textura
mg / kg							%			
>116	ns	1,82	351	6,71	45,7	0,75	25	37	38	F

Los resultados corresponden únicamente a las muestras suministradas por el usuario y analizadas en el laboratorio

3.1.3. Manejo de la fertilización

Se diseñó un plan de fertilización enfocado en suplir la demanda de nutrientes por parte de las plantas, de aquellos elementos que se encontraron como deficitarios según el análisis del sustrato. Para establecer los requerimientos del cultivo se empleó el método cuantitativo (Gómez, 2005).

El plan de aporte de los nutrientes para el ensayo se presenta en la Tabla 6.

Tabla 6. Requerimientos nutricionales para el cultivo de tomillo*.

Elemento/Nutriente	Disponibilidad	Disponibilidad en Kg/ha	Requerimiento del cultivo Kg/ha	Necesidad de elemento a aplicar Kg/ha	Plan de fertilización
Nitrógeno (N)	0,11 %	15,25	44	41,07	70% al trasplante y 30% a los 60 días después de trasplante
Calcio (Ca)	13,8 meq/100 g	441,6	19	410,82	
Potasio (K)	1,38 meq/100 g	576,28	24	NA	
Magnesio (Mg)	3,61 meq/100 g	138,62	11	203,19	
Fosforo (P)	>116 mg/Kg	42,52	24	NA	

Elemento/Nutriente	Disponibilidad	Disponibilidad en Kg/ha	Requerimiento del cultivo Kg/ha	Necesidad de elemento a aplicar Kg/ha	Plan de fertilización
Cobre (Cu)	1,82 mg/Kg	2,9	0,3	NA	70% al trasplante y 30% a los 60 días después de trasplante
Hierro (Fe)	351 mg/Kg	561,6	11	NA	
Manganeso (Mn)	6,71 mg/Kg	0,42	0,5	0,88	
Zinc (Zn)	45,7 mg/Kg	4,87	0,7	NA	
Boro (B)	0,75 mg/Kg	0,15	0,3	0,15	

*Adaptado de: Gómez (2005); O' Farrill y Medina (2007); Alarcón (2011) y Castro *et al* (2013).

De esta forma se estableció, aportar los nutrientes necesarios para el cultivo con una fuente química comercial, rica en nitrógeno, sin potasio y fósforo (contenido bajo), y complementar con una fuente de elementos menores, rica en boro y manganeso, las cantidades a aplicar se definieron en la tabla anterior y el suministro de estos fertilizantes se hizo en dos fases; el 70% al trasplante y 30% a los 60 días después de trasplante.

3.1.4. Manejo del riego

Durante el desarrollo del cultivo se empleó riego por aspersión, empleando una bomba de espalda manual con capacidad de 20 litros. Debido a la presencia de zonas más calientes y poco húmedas en el invernadero, algunas plantas especialmente las ubicadas en los bordes requerían cantidades superiores de agua, no obstante a esta observación se cuantificó la cantidad de agua de riego para el número de plantas empleadas en el ensayo. Se emplearon 963 L, lo cual es acorde a lo presentado por Cabot (2003) en cuanto al requerimiento hídrico del cultivo de tomillo, el cual está en el orden de 500 mm en sistemas de producción en secano y de 1100-1200 mm en sistemas de producción con riego, variable de acuerdo con las condiciones climáticas y tipo de suelo.

3.1.5. Temperatura de desarrollo

La temperatura de desarrollo para las plantas de tomillo se mantuvo controlada en el rango de 24-28 °C desde Noviembre de 2012 hasta Febrero/Marzo de 2013, período que comprende un ciclo de cultivo con 2 cortes, esto con el fin de mantener las condiciones óptimas para el desarrollo de la especie y no interferir mediante variabilidad generada por parámetros climáticos en la fisiología y metabolismo de las plantas de tomillo.

3.1.6. Humedad relativa

La humedad relativa de desarrollo para las plantas de tomillo se mantuvo controlada en el rango de 70-88 %, con el fin de brindar parámetros favorables para el desarrollo de la especie.

3.2. Determinación de las dosis de radiación

La radiación ultravioleta B, se aportó mediante lámparas Philips TL 40W/12RS, las cuales garantizan una dosis media de $0,045 \text{ Wh m}^{-2}$. Se plantearon dos tratamientos con radiación UVB, de acuerdo con los estudios preliminares realizados en algunas hortalizas sometidas a esta tecnología (Pérez, 2009; 2010), a saber:

T1: $0,05 \text{ W.h.m}^{-2}$: Se logra con un tiempo de exposición de 1 hora 7 minutos

T2: $0,075 \text{ W.h.m}^{-2}$: Se logra con un tiempo de exposición de Tiempo de exposición 1 hora 40 minutos.

Con el fin de ajustar las dosis se realizaron mediciones empleando una sonda LP 471 UVB acoplada a un radiómetro DELTHA OHM HD 2102.2 (Figura 8 a y 8 b), durante lapsos de tiempo de 1 y 2 horas con la cámara sin material vegetal, los resultados se presentan en la figura 9.

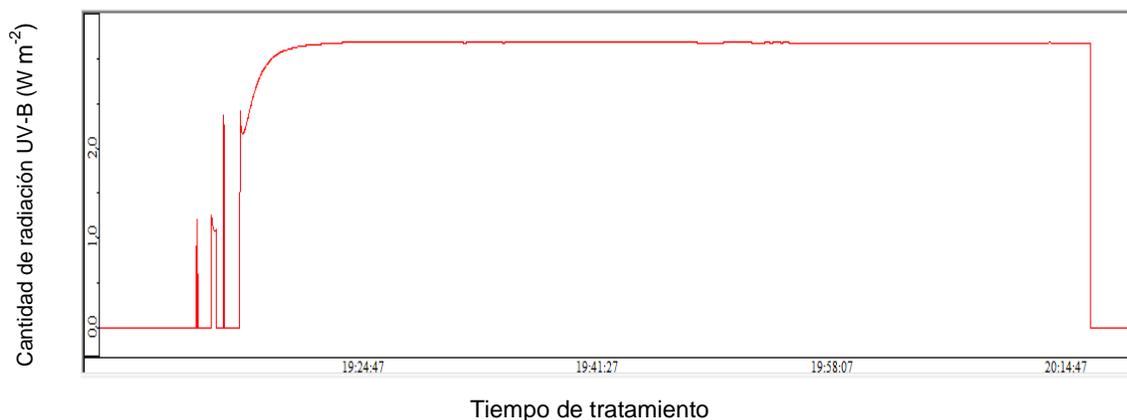
Figura 8 a. Registro continuo de radiación UVB aplicada mediante sonda LP 471 UVB acoplada a un radiómetro DELTHA OHM HD 2102.2



Figura 8 b. Cámara de radiación UVB con material de tomillo 1) antes de iniciar el proceso y 2) finalizado el proceso de radiación.



Figura 9. Curva de emisión para radiación UVB generada por el programa DeltaLog9, registrada con sonda LP 471 UVB y radiómetro DELTHA OHM HD 2102.2.

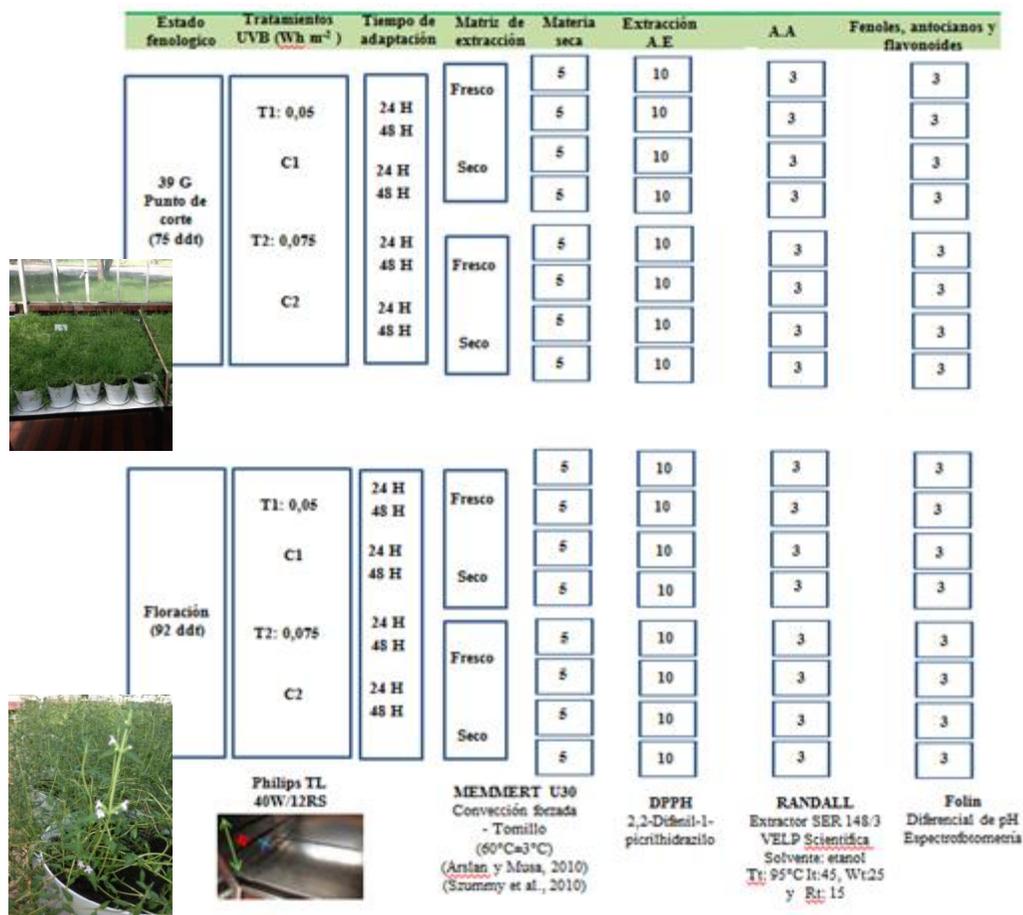


En el eje Y se presenta la cantidad de UVB en $W \cdot m^{-2}$, en el eje X se presenta la duración del tratamiento con hora de inicio y hora fin. Se puede observar en los minutos iniciales el proceso de calentamiento de las lámparas y señal de encendido por parte del temporizador, el cual se estimó en 4 minutos. Seguido de este periodo de tiempo se observa la regulación en la emisión de radiación por parte de la luminaria que oscila entre 2,5-3,0 $W \cdot m^{-2}$. Finalmente se observa el proceso de apagado de la luminaria por parte del temporizador. Esta situación permitió evaluar la operatividad en el proceso de aplicación de la radiación UVB.

3.3. Parámetros analizados

Los parámetros analizados, fueron seleccionados de acuerdo con la revisión de literatura, estableciendo los más utilizados en los trabajos reportados relacionados con la aplicación de radiación UV-B, a continuación se presenta en la figura 10, el proceso que se estableció para la obtención de los datos para cada parámetro analizado:

Figura 10. Esquema metodológico para los parámetros analizados en el presente estudio.



En esta figura, se presenta la metodología empleada en este trabajo, en la primera columna se identifican dos estados fenológicos punto de corte (39G-75 ddt) y floración (92 ddt), en la segunda columna se presentan los tratamientos con dosis de radiación UVB (0,05 Wh m⁻² y 0,075 Wh m⁻²), las abreviaturas C1 y C2 hacen referencia a los controles para cada tratamiento teniendo en cuenta los tiempos de adaptación, en la tercera columna están los tiempos de adaptación empleados (24 y 48 horas), la cuarta columna corresponde a dos tipos de matriz de extracción (seco y fresco), en las columnas 5,6,7 y 8 se presentan los parámetros analizados con el número de repeticiones por tratamiento.

3.3.1. Materia seca

Para la determinación de la materia seca de plantas de tomillo, se empleó el método de diferencial de peso, utilizando una temperatura de secado de 60°C+/- 3°C durante 24 horas o hasta peso constante (Balladin y Headley, 1999; Szummy *et al.*, 2010; Sárosi *et al.*, 2013), el índice y el porcentaje de materia seca se determinó mediante las ecuaciones 1 y 2 de acuerdo con los autores mencionados anteriormente:

$$I_s = \frac{(P_f - P_s)}{P_f} (1)$$

$$\%Ms = \frac{(P_f - P_s)}{P_f} \times 100 (2)$$

Donde I_s : índice de materia seca, %Ms: porcentaje de materia seca, P_f : peso fresco, P_s : peso después de secado, se realizaron 5 repeticiones por tratamiento y por control.

3.3.2. Extracción etanólica

Se empleó el método Randall, con extractor SER 148/3 VELP Científica, el cual permite la separación cuantitativa de una sustancia de una mezcla de sólidos o semisólidos. Este método opera en dos fases más una de recuperación del disolvente destilado, lo cual permite salvaguardar de la contaminación atmosférica, reducir el costo de los análisis y los tiempos de extracción. La primera parte de la extracción se efectúa mediante la inmersión de la muestra en el disolvente en ebullición, luego sigue un enjuague con disolvente frío. La rápida solubilización realizada por el disolvente caliente permite reducir notablemente los tiempos de extracción (hasta el 80% menos en comparación con el método Soxhlet) (AOAC, 2004).

Se utilizó como disolvente etanol por su alta polaridad y menor selectividad. Éste permite obtener extractos cuya composición contiene la mayor parte de los componentes químicos de la planta, se prefiere en comparación a la acetona y al hexano, pues estos simplemente realizan una selección de compuestos apolares como las grasas vegetales y otros, adicionalmente, presentan mayor residualidad y son nocivos para la salud humana (Souza, 1995). Las condiciones de extracción fueron: temperatura de extracción (T_e): 95 °C, tiempo de inmersión (I): 45 minutos; tiempo de lavado (W): 25 minutos y recuperación de solvente (R): 15 minutos, según Ramírez *et al.*, 2013, 2014.

La cantidad de extracto y el rendimiento de extracción, se determinó mediante diferencial de pesos según la AOAC (2004), como se presenta en las ecuaciones 3 y 4:

$$C_e (g) = (P_{Re} - P_{Rv}) (3)$$

$$R (g \cdot K^{-1}) = \frac{(C_e)}{P_s/1000} (4)$$

Donde Ce: Cantidad de extracto en gramos, R: Rendimiento en g.K⁻¹, PRe: Peso recipiente con extracto, PRv: Peso recipiente vacío, Ps: peso después de secado. Se realizaron 10 repeticiones por tratamiento y por control.

3.3.3. Fenoles totales

El contenido de fenoles totales en los extractos, se determinó mediante el método de Folin-Ciocalteu empleado por Singleton *et al.*, 1999 citado por Hamdy *et al.*, 2013, en este se toma una alícuota del extracto en un tubo de ensayo y se mezcla con 5 ml del reactivo Folin-Ciocalteu y 10 ml de solución saturada de carbonato de sodio, los tubos fueron agitados durante 15 segundos y se dejaron en reposo en oscuridad durante 30 minutos para que se desarrolle la reacción química y se produzca la coloración que será determinada mediante absorbancia a 760 nm usando un espectrofotómetro UV-VIS Genesys 5. La curva de calibración estándar se preparó mediante las absorbancias medidas a 760 nm producidas por diferentes concentraciones de ácido gálico, los análisis se realizaron por triplicado para los tratamientos y los controles.

El principio del método se basa en los complejos hexavalentes fosfomolibdico / fosfotúngstico que se forman en solución con los ácidos y el Reactivo Folin-Ciocalteu, los fenoles son fácilmente oxidables en medio básico, éstos reaccionan con el molibdato formando óxido de molibdeno MoO₃, este compuesto es cuantificado por espectroscopia de UV debido a que absorbe a una longitud de onda de 750-760 nm. El contenido de fenoles totales se expresa como porcentaje de ácido gálico en la muestra en la ecuación 5 empleada por Hamdy *et al.*, 2013:

$$\%AGeM = \frac{EAG}{Ce} \times 100 \quad (5)$$

Donde %AGeM: porcentaje de ácido gálico en la muestra, EAG: equivalentes gramo de ácido gálico y Ce: peso del extracto en miligramos.

3.3.4. Flavonoides totales

Para la identificación de flavonoides por el método de Shinoda se siguió el proceso establecido por Martínez *et al.*, 2003 y Lock *et al.*, 2006, con las modificaciones establecidas en Wilches *et al.*, 2010, se pesó 1 g de muestra seca y pulverizada de hojas y tallos jóvenes de tomillo en un Erlenmeyer de 50 mL, luego se adicionaron 5 mL de metanol y se calentó por 10 minutos a 60 °C. Se filtró sobre un vial. Se colocaron 20 gotas del extracto obtenido en un tubo de ensayo, posteriormente se agregó 0,5 - 1 g Magnesio y 0,1 mL de ácido clorhídrico concentrado.

Para la cuantificación de los flavonoides se empleó un balón aforado de 10 mL, en él se colocaron 2.5 mg (\pm 0,1mg) de extracto seco, se disolvió empleando 2 mL de etanol al 80%. Seguidamente se adicionaron 200 μ L de solución de acetato de potasio 1 M y 200 μ L de nitrato de aluminio al 10%, se aforó a 10 mL con etanol al 80%, luego las muestras

estuvieron en reposo por 40 minutos y luego se realizó la determinación de absorbancia a 415 nm. Para preparar la curva de calibración se pesaron 2,7 mg de quercetina en un tubo de ensayo de 10 mL y se llevó a volumen con etanol al 80%. Se tomaron 700 µL, 350 µL, 175 µL y 100 µL en 4 tubos de ensayo de 10 mL, y se añadió en cada uno 200 µL de acetato de potasio 1 M y 200 µL de nitrato de aluminio al 10% en cada uno. Se llevó a volumen con etanol al 80%, para obtener cuatro soluciones de trabajo para la construcción de la curva con concentraciones de 18,9%; 9,45% 4,725% y 2,7% de quercetina. Luego se determinó la absorbancia en un espectrofotómetro Genesys 5 a 415 nm para cada solución. Por último usando la curva estándar se calculó la concentración de flavonoides totales.

Durante este tipo de ensayos es común encontrar lecturas elevadas, que no cumplen la Ley de Beer, por tal motivo se aplicó la corrección empleada en Martínez *et al.*, (2003), con la cual se busca evitar la interferencia en la cuantificación de flavonoides por acción de la clorofila mediante la precipitación de esta sustancia por la acción del acetato de plomo al 1% y posterior filtrado.

La cantidad de flavonoides totales se expresó en mg de quercetina por ml de extracto (mgQRT /ml) (ecuación 6):

$$mgQRT/ml = \frac{A_{415} - 0,0799}{5,3907} \quad (6)$$

Donde mgQRT /ml: mg de quercetina por ml de extracto, A415: Absorbancia de la muestra medida a 415 nm, se realizaron todos los tratamientos y controles por triplicado.

3.3.5. Antocianinas totales

Se realizó por el método de pH Diferencial- Espectroscopia según Giusti y Wrolstad, 2001; Kuskoski *et al.*, 2005; Gutiérrez *et al.*, 2009 y Villanueva *et al.*, 2010. Se pesó 0,5 g de muestra y se sometió a agitación por 15 minutos usando como solvente agua, del filtrado, se tomaron dos alícuotas (cada alícuota de 0,2 mL). Una alícuota se diluyó con buffer de pH 1,0 y la otra alícuota con buffer de pH 4,5, la absorbancia fue registrada a 530 y 700 nm en un espectrofotómetro UV-VIS Genesys 5, con un coeficiente de extinción molar para el cianidin-3-glucósido de 26900 (absortividad molar a 530 nm). Los resultados se expresaron en miligramos equivalentes de cianidin-3-glucósido por 100 g. Se calculó mediante la ecuación 7 de acuerdo con los autores mencionados anteriormente:

$$Am\left(\frac{mg}{100g}\right) = \frac{\Delta A \times 449,2 \times FD \times 100}{26900} \quad (7)$$

Donde Am: antocianos monoméricos, ΔA (cambio en la absorbancia) = (A530 - A700) a pH 1,0 - (A530 - A700) a pH 4.5; masa molecular) = 449,2g/mol para cianidina-3-glucósido; FD = factor de dilución; 26900 coeficiente de extinción molar para cianidina-3-glucósido a 530 nm; 100, factor de conversión mg en 100 g de muestra, todos los análisis se realizaron por triplicado (n = 3).

3.3.6. Índice de saponificación

Aplicamos el Índice de Koettstorfeer, el cual corresponde a una medida aproximada del peso molecular promedio de los ácidos grasos. Se define como el “número de mg de KOH necesarios para saponificar 1 g de grasa”. Para su preparación se siguió el método definido en la AOAC, 2004, mediante el uso de una solución alcohólica de hidróxido de potasio (KOH) 0,5 N y ácido clorhídrico (HCl) 0,5 N, Fenolftaleína al 1% en alcohol de 95%. Se pesó alrededor de 2,5 ml de muestra filtrada, en un erlenmeyer de 250-300ml se adicionaron 25 ml de la solución de KOH, luego se colocó el condensador y se calentó la muestra hasta ebullición para garantizar que la grasa este completamente saponificada, aproximadamente 30 minutos, En frio se tituló con HCl 0,5 N usando fenolftaleína (1 mL) como indicador, se corrió un blanco junto con las muestras usando la misma pipeta para medir la solución de KOH, finalmente se reporta el índice de saponificación como los mg de KOH requeridos para saponificar un gramo de grasa o aceite, empleando la ecuación 8, acorde con el método AOAC (2004), se realizaron todos los tratamientos y controles por triplicado:

$$ISp = \frac{(V_b - V_m) \times N \times 56,1}{P_m} \quad (8)$$

En donde:

V_b: volumen de HCl 0,5 N gastado para titular el blanco.

V_m: volumen de HCl 0,5 N gastado para titular la muestra.

N: concentración normal del HCl.

P_m: peso de la muestra

3.3.7. Actividad antioxidante

Se determinó mediante el método de la decoloración del radical 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH), el fundamento fue desarrollado por Williams *et al* (1995), y se basa en la existencia de un electrón desapareado en el radical, presentando una coloración inicial azul-violeta, la cual por la reacción con la sustancia antioxidante se torna color amarillo pálido. La diferencia de absorbancias, permite obtener el porcentaje de captación de radicales libres, la absorbancia es medida espectrofotométricamente a 517 nm, los valores se obtuvieron a partir de la ecuación 9, diseñada por Williams *et al.*, (1995), se realizaron todos los tratamientos y controles por triplicado:

$$\%CA = \frac{1 - (A_2 - A_3)}{A_1} \times 100 \quad (9)$$

A₁: Absorbancia del patrón de referencia (vitamina C)

A₂: Absorbancia de la muestra

A₃: Absorbancia del blanco de muestra

Tabla 7. Variables químicas y métodos de evaluación empleados en el presente estudio.

Prueba	Método
Materia seca	Diferencial de masa
Extracción etanolica	Randall
Fenoles totales	Folin-Ciocalteu-Espectroscopia
Flavonoides totales	Prueba de Shinoda- Espectroscopia
Antocianinas totales	pH Diferencial-Espectroscopia
Índice de saponificación	AOAC (2004)
Actividad Antioxidante	Radicales DPPH-Espectroscopia

3.4. Diseño y análisis estadístico

Se empleó un diseño estadístico factorial 2^4 con controles separados para cada tratamiento y un análisis de varianza ANOVA sumado a la comparación de medias a través de la prueba de Tukey utilizado el programa SAS versión 9.2 ver tabla 8 y 9 (Slaughter y Delwiche, 2010).

Tabla 8. Diseño experimental y tratamientos empleados para la variable materia seca (mg/Kg).

Variable	Estado fenológico EF1 y EF2	Dosis UVB D1 Y D2	Tiempos de adaptación Ta y Tb	Tratamiento
Materia seca	EF1	D1	Ta	1
	EF1	D1	Tb	2
	EF1	C11	Ta	Control 1
	EF1	C12	Tb	Control 2
	EF1	D2	Ta	3
	EF1	D2	Tb	4
	EF1	C21	Ta	Control 3
	EF1	C22	Tb	Control 4
	EF2	D1	Ta	5
	EF2	D1	Tb	6
	EF2	C11	Ta	Control 5
	EF2	C12	Tb	Control 6
	EF2	D2	Ta	7
	EF2	D2	Tb	8
	EF2	C21	Ta	Control 7
	EF2	C22	Tb	Control 8

En la tabla 8, las abreviaturas en estado fenológico corresponden a 75 días después de trasplante (EF1) y 92 días después de trasplante (EF2), las dosis de radiación UVB $0,05 \text{ Wh. m}^{-2}$ (D1) y $0,075 \text{ Wh. m}^{-2}$ (D2) y los tiempos de adaptación Ta y Tb respectivamente son 24 y 48 horas.

Tabla 9. Diseño experimental y tratamientos empleados para la variable rendimiento (mg/Kg)

Evaluación del efecto de la aplicación de radiación UV-B durante la poscosecha en la calidad de los extractos de tomillo (*Thymus vulgaris* L.)

Variable	Estado fenológico EF1 y EF2	Dosis UVB D1 Y D2	Tiempos de adaptación Ta y Tb	Tipo de matriz S y F	Tratamiento
Rendimiento	EF1	D1	Ta	F	1
	EF1	D1	Tb	F	2
	EF1	C11	Ta	F	Control 1
	EF1	C12	Tb	F	Control 2
	EF1	D2	Ta	F	3
	EF1	D2	Tb	F	4
	EF1	C21	Ta	F	Control 3
	EF1	C22	Tb	F	Control 4
	EF1	D1	Ta	F	5
	EF1	D1	Tb	F	6
	EF1	C11	Ta	F	Control 5
	EF1	C12	Tb	F	Control 6
	EF1	D2	Ta	F	7
	EF1	D2	Tb	F	8
	EF1	C21	Ta	F	Control 7
	EF1	C22	Tb	F	Control 8
	EF2	D1	Ta	S	9
	EF2	D1	Tb	S	10
	EF2	C11	Ta	S	Control 9
	EF2	C12	Tb	S	Control 10
	EF2	D2	Ta	S	11
	EF2	D2	Tb	S	12
	EF2	C21	Ta	S	Control 11
	EF2	C22	Tb	S	Control 12
	EF2	D1	Ta	S	13
	EF2	D1	Tb	S	14
	EF2	C11	Ta	S	Control 13
	EF2	C12	Tb	S	Control 14
	EF2	D2	Ta	S	15
	EF2	D2	Tb	S	16
	EF2	C21	Ta	S	Control 15
	EF2	C22	Tb	S	Control 16

En la tabla 9, las abreviaturas en estado fenológico corresponden a 75 días después de trasplante (EF1) y 92 días después de trasplante (EF2), las dosis de radiación UVB 0,05 Wh. m⁻² (D1) y 0,075 Wh. m⁻² (D2), los tiempos de adaptación Ta y Tb respectivamente son 24 y 48 horas y las matrices de extracción secas (S) y frescas (F).

Tabla 10. Diseño experimental y tratamientos empleados para las variables: fenoles totales, flavonoides totales, antocianos totales e índice de saponificación

Variables	Estado fenológico EF1 y EF2	Dosis UVB D1 Y D2	Tiempos de adaptación Ta y Tb	Tipo de matriz S y F	Tratamiento
Fenoles totales Flavonoides totales Antocianos totales Índice de saponificación	EF1	D1	Ta	F	1
	EF1	D1	Tb	F	2
	EF1	C11	Ta	F	Control 1
	EF1	C12	Tb	F	Control 2
	EF1	D2	Ta	F	3
	EF1	D2	Tb	F	4
	EF1	C21	Ta	F	Control 3
	EF1	C22	Tb	F	Control 4
	EF1	D1	Ta	F	5
	EF1	D1	Tb	F	6
	EF1	C11	Ta	F	Control 5
	EF1	C12	Tb	F	Control 6
	EF1	D2	Ta	F	7
	EF1	D2	Tb	F	8
	EF1	C21	Ta	F	Control 7
	EF1	C22	Tb	F	Control 8
	EF2	D1	Ta	S	9
	EF2	D1	Tb	S	10
	EF2	C11	Ta	S	Control 9
	EF2	C12	Tb	S	Control 10
	EF2	D2	Ta	S	11
	EF2	D2	Tb	S	12
	EF2	C21	Ta	S	Control 11
	EF2	C22	Tb	S	Control 12
	EF2	D1	Ta	S	13
	EF2	D1	Tb	S	14
	EF2	C11	Ta	S	Control 13
	EF2	C12	Tb	S	Control 14
	EF2	D2	Ta	S	15
	EF2	D2	Tb	S	16
	EF2	C21	Ta	S	Control 15
	EF2	C22	Tb	S	Control 16

En la tabla 10, las abreviaturas en estado fenológico corresponden a 75 días después de trasplante (EF1) y 92 días después de trasplante (EF2), las dosis de radiación UVB 0,05 Wh. m⁻² (D1) y 0,075 Wh. m⁻² (D2), los tiempos de adaptación Ta y Tb respectivamente son 24 y 48 horas y las matrices de extracción secas (S) y frescas (F).

Tabla 11. Diseño experimental y tratamientos empleados para la variable actividad antioxidante.

Variables	Estado fenológico EF1 y EF2	Dosis UVB D1 Y D2	Tiempos de adaptación Ta y Tb	Tipo de matriz S y F	Tratamiento	
Actividad antioxidante	EF1	D1	Ta	F	1	
	EF1	D1	Tb	F	2	
	EF1	C11	Ta	F	Control 1	
	EF1	C12	Tb	F	Control 2	
	EF1	D2	Ta	F	3	
	EF1	D2	Tb	F	4	
	EF1	C21	Ta	F	Control 3	
	EF1	C22	Tb	F	Control 4	
	Patrón de ácido ascórbico					
	EF1	D1	Tb	S	5	
	EF1	D1	Ta	S	6	
	EF1	C11	Tb	S	Control 5	
	EF1	C12	Ta	S	Control 6	
	EF1	D2	Tb	S	7	
	EF1	D2	Ta	S	8	
	EF1	C21	Tb	S	Control 7	
	EF1	C22	Ta	S	Control 8	
	Patrón de ácido ascórbico					
	EF2	D1	Ta	F	9	
	EF2	D1	Tb	F	10	
	EF2	C11	Ta	F	Control 9	
	EF2	C12	Tb	F	Control 10	
	EF2	D2	Ta	F	11	
	EF2	D2	Tb	F	12	
	EF2	C21	Ta	F	Control 11	
	EF2	C22	Tb	F	Control 12	
	Patrón de ácido ascórbico					
	EF2	D1	Ta	S	13	
	EF2	D1	Tb	S	14	
	EF2	C11	Ta	S	Control 13	
	EF2	C12	Tb	S	Control 14	
	EF2	D2	Ta	S	15	
EF2	D2	Tb	S	16		
EF2	C21	Ta	S	Control 15		
EF2	C22	Tb	S	Control 16		
Patrón de ácido ascórbico						

En la tabla 11, las abreviaturas en estado fenológico corresponden a 75 días después de trasplante (EF1) y 92 días después de trasplante (EF2), las dosis de radiación UVB 0,05 Wh. m⁻² (D1) y 0,075 Wh. m⁻² (D2), los tiempos de adaptación Ta y Tb respectivamente son 24 y 48 horas y las matrices de extracción secas (S) y frescas (F).

Con el fin de facilitar el análisis de los resultados obtenidos se generan las tablas 12, 13 y 14, en las cuales se presenta el resumen de los 16 tratamientos aplicados con sus respectivos controles, propios del diseño factorial 2^4 empleando controles separados para cada tratamiento.

Tabla 12. Resumen de los tratamientos aplicados para la variable: porcentaje de materia seca.

Consecutivo	Combinación	Tratamiento
1	EF:1, TR1, TA1	1
2	EF:1, TR1, TA2	2
3	EF:1, C11, TA1	Control T1
4	EF:1, C12, TA2	Control T2
5	EF:1, TR2, TA1	3
6	EF:1, TR2, TA2	4
7	EF:1, C21, TA1	Control T3
8	EF:1, C22, TA2	Control T4
9	EF:2, TR1, TA1	5
10	EF:2, TR1, TA2	6
11	EF:2, C11, TA1	Control T5
12	EF:2, C12, TA2	Control T6
13	EF:2, TR2, TA1	7
14	EF:2, TR2, TA2	8
15	EF:2, C21, TA1	Control T7
16	EF:2, C22, TA2	Control T8

las abreviaturas EF, TR, C, TA, M, corresponden respectivamente a: Estado fenológico (EF), tratamiento UV (TR) (1: $0,05 \text{ W h.m}^{-2}$ y 2: $0,075 \text{ W h.m}^{-2}$), control (C) y tiempo de adaptación (TA) (1: 24h y 2: 48h)

Tabla 13. Tratamientos aplicados para las variables medidas; rendimiento de extracción, fenoles totales, flavonoides totales, antocianinas totales e índice de saponificación.

Consecutivo	Combinación	Tratamiento
1	EF:1, TR1, TA1, M1	1
2	EF:1, TR1, TA2, M1	2
3	EF:1, C11, TA1, M1	Control T1
4	EF:1, C12, TA2, M1	Control T2
5	EF:1, TR2, TA1, M1	3
6	EF:1, TR2, TA2, M1	4
7	EF:1, C21, TA1, M1	Control T3
8	EF:1, C22, TA2, M1	Control T4
9	EF:1, TR1, TA1, M2	5
10	EF:1, TR1, TA2, M2	6
11	EF:1, C11, TA1, M2	Control T5
12	EF:1, C12, TA2, M2	Control T6
13	EF:1, TR2, TA1, M2	7
14	EF:1, TR2, TA2, M2	8
15	EF:1, C21, TA1, M2	Control T7
16	EF:1, C22, TA2, M2	Control T8
17	EF:2, TR1, TA1, M1	9
18	EF:2, TR1, TA2, M1	10
19	EF:2, C11, TA1, M1	Control T9
20	EF:2, C12, TA2, M1	Control T10
21	EF:2, TR2, TA1, M1	11
22	EF:2, TR2, TA2, M1	12
23	EF:2, C21, TA1, M1	Control T11
24	EF:2, C22, TA2, M1	Control T12
25	EF:2, TR1, TA1, M2	13
26	EF:2, TR1, TA2, M2	14
27	EF:2, C11, TA1, M2	Control T13
28	EF:2, C12, TA2, M2	Control T14
29	EF:2, TR2, TA1, M2	15
30	EF:2, TR2, TA2, M2	16
31	EF:2, C21, TA1, M2	Control T15
32	EF:2, C22, TA2, M2	Control T16

las abreviaturas EF, TR, C, TA, M, corresponden respectivamente a: Estado fenológico (EF), tratamiento UV (TR) (1: 0,05 W h.m⁻² y 2: 0,075 W h.m⁻²), control (C), tiempo de adaptación (TA) (1: 24h y 2: 48h) y matriz (M) (1: fresco y 2: seco).

Tabla 14. Tratamientos aplicados para la variable actividad antioxidante.

Consecutivo	Combinación	Tratamiento
1	EF:1, TR1, TA1, M1	1
2	EF:1, TR1, TA2, M1	2
3	EF:1, C11, TA1, M1	Control T1
4	EF:1, C12, TA2, M1	Control T2
5	EF:1, TR2, TA1, M1	3
6	EF:1, TR2, TA2, M1	4
7	EF:1, C21, TA1, M1	Control T3
8	EF:1, C22, TA2, M1	Control T4
9	PTR ASB	Patrón ácido ascórbico
10	EF:1, TR1, TA1, M2	5
11	EF:1, TR1, TA2, M2	6
12	EF:1, C11, TA1, M2	Control T5
13	EF:1, C12, TA2, M2	Control T6
14	EF:1, TR2, TA1, M2	7
15	EF:1, TR2, TA2, M2	8
16	EF:1, C21, TA1, M2	Control T7
17	EF:1, C22, TA2, M2	Control T8
18	PTR ASB	Patrón ácido ascórbico
19	EF:2, TR1, TA1, M1	9
20	EF:2, TR1, TA2, M1	10
21	EF:2, C11, TA1, M1	Control T9
22	EF:2, C21, TA2, M1	Control T10
23	EF:2, TR2, TA1, M1	11
24	EF:2, TR2, TA2, M1	12
25	EF:2, C21, TA1, M1	Control T11
26	EF:2, C22, TA2, M1	Control T12
27	PTR ASB	Patrón ácido ascórbico
28	EF:2, TR1, TA1, M2	13
29	EF:2, TR1, TA2, M2	14
30	EF:2, C11, TA1, M2	Control T13
31	EF:2, C21, TA2, M2	Control T14
32	EF:2, TR2, TA1, M2	15
33	EF:2, TR2, TA2, M2	16
34	EF:2, C21, TA1, M2	Control T15
35	EF:2, C22, TA2, M2	Control T16
36	PTR ASB	Patrón ácido ascórbico

Las abreviaturas EF, TR, C, TA, M, corresponden respectivamente a: Estado fenológico (EF), tratamiento UV (TR) (1: 0,05 W h.m⁻² y 2: 0,075 W h.m⁻²), control (C), tiempo de adaptación (TA) (1: 24h y 2: 48h) y matriz (M) (1: fresco y 2: seco).

4. Resultados y discusión

A continuación se presentan los resultados generales del estudio para las variables materia seca, rendimiento, contenido de fenoles, contenido de flavonoides, contenido de antocianos, índice de saponificación y actividad antioxidante, evaluados a través de las combinaciones propias del diseño experimental, se recomienda para un correcto análisis e identificación de los tratamientos el uso de las tablas presentadas en la sección anterior que permiten desglosar las combinaciones y niveles de los factores analizados.

4.1. Efecto de la aplicación de radiación UV-B en el porcentaje de materia seca.

Mediante el análisis estadístico se identificaron diferencias significativas entre los tratamientos 1 y 8 con sus respectivos controles, lo anterior indica que existe efecto positivo de la radiación UVB en el parámetro materia seca. Para los tratamientos 2, 3, 4, 5, 6 y 7 no se presentaron diferencias significativas con respecto a sus controles, sin embargo presentó una tendencia positiva. En el tratamiento 8 se evidenció un aumento del 15,84% con respecto al control en el porcentaje de materia seca en plantas de tomillo a los 92 ddt, radiación 0,075 Wh.m⁻² (T2) y un tiempo de adaptación de 48 horas (Tb). Para el tratamiento 1 se identificó un aumento de 12,71% a los 75 ddt sometidas a una radiación 0,05 Wh.m⁻² (T1) y un tiempo de adaptación de 24 horas (Ta). Al realizar las comparaciones entre los tratamientos, no se identificaron diferencias significativas, pero se pudo determinar una respuesta positiva, medida en el incremento porcentual de la materia seca para todos los tratamientos. Adicionalmente se identificó que el tiempo de adaptación no tiene correlación con la variable analizada.

Tabla 15. Porcentaje de masa seca promedio (MS%) de hojas y tallos de tomillo.

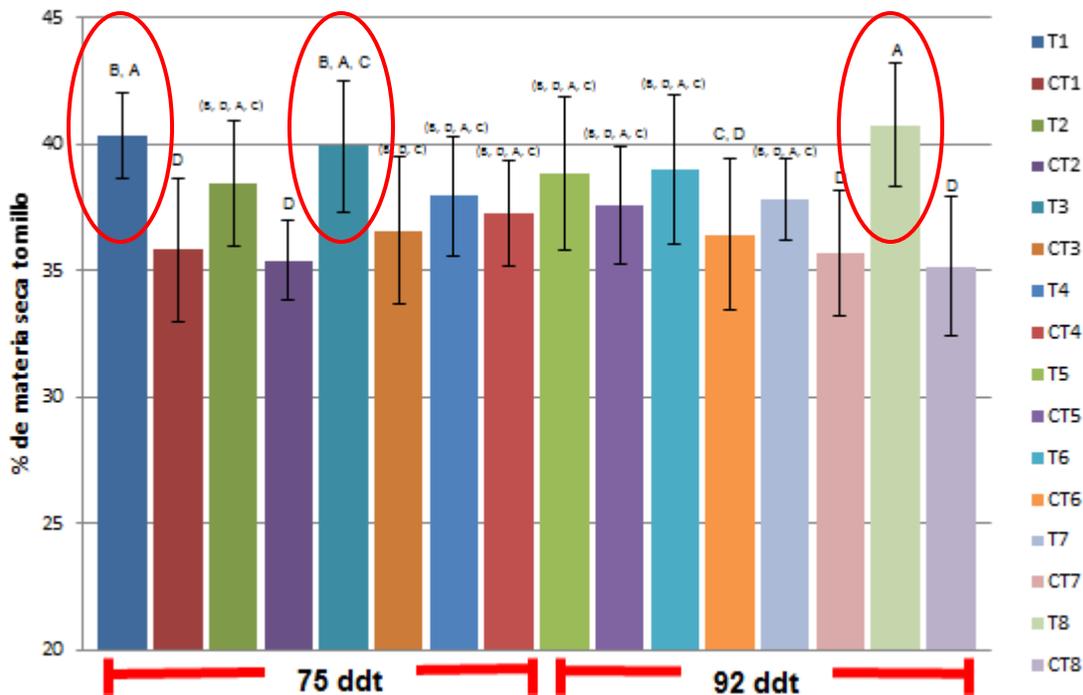
Estado fenológico	UVB (T1: 0,05 Wh.m ⁻² y T2: 0,075 Wh.m ⁻²)	Tiempo de adaptación (Ta: 24 h y Tb: 48 h)	Tratamiento	% de materia seca	Control	ΔMs
75 ddt* (punto de corte)	T1	Ta	1	40,36±1,69 (B, A)	35,81±2,82 (D)	12,71
		Tb	2	38,41±2,48 (B, D, A, C)	35,40±1,58 (D)	8,50
	T2	Ta	3	39,91±2,58 (B, A, C)	36,56±2,90 (B, D, C)	9,16
		Tb	4	37,93±2,37 (B, D, A, C)	37,22±2,08 (B, D, A, C)	1,91
92 ddt* (plena floración)	T1	Ta	5	38,84±3,01 (B, D, A, C)	37,56±2,34 (B, D, A, C)	7,41
		Tb	6	38,99±2,94 (B, D, A, C)	36,42±2,97 (D, C)	7,06
	T2	Ta	7	37,79±1,61 (B, D, A, C)	35,67±2,51 (D)	5,94
		Tb	8	40,74±2,42 (A)	35,17±2,74 (D)	15,84

*ddt: días después de trasplante

ΔMs: Cambio porcentual del tratamiento respecto al control

Prueba de Tukey: Letras diferentes, indica diferencias significativas Tukey (HDS).

Las abreviaturas en la tabla corresponden: en los tratamientos (T1): 0,05 Wh m⁻² y (T2): 0,075 Wh m⁻² de radiación UV-B acumulada, para los estado fenológico punto de corte (75 ddt) y plena floración (92 ddt), los tiempos de adaptación Ta y Tb hacen referencia al tiempo de adaptación y equivalen respectivamente a 24 y 48 h. Se emplearon controles separados por cada tratamiento, estos hacen referencia a material vegetal no tratado con UV-B artificial.

Figura 11. Porcentaje de materia seca para plantas de tomillo a los 75 y 92 ddt.

En la figura 11, encerrado en las figuras ovaladas de color rojo se desatacan los tratamientos con mayor cantidad de materia seca. Las abreviaturas en las columnas indican; CT: control y T: tratamiento.

De acuerdo con los resultados obtenidos se pudo identificar que la acción de dosis medidas y controladas de radiación UV-B, pueden actuar como elicitores físicos-externos (Namdeo, 2007), promoviendo una respuesta positiva en la producción de biomasa, expresada en el contenido de materia seca de las plantas evaluadas; este comportamiento, según Barnes *et al.*, (1996) y Pérez *et al.*, (2009), es inducido por variaciones en las tasas fotosintéticas producto de aumento o disminución en la asimilación de carbono por parte de las plantas (Qaderi *et al.*, 2007), el comportamiento puede variar de una especie a otra y es notorio en especies susceptibles a radiación UV-B (Barnes *et al.*, 1996; Tittmann, 2010). Por otra parte es posible que estos cambios sean promovidos con el fin de generar resistencia o activar mecanismos de defensa ante estímulos externos, mediante la activación de rutas biosintéticas que permiten producir sustancias fotoprotectoras (metabolitos secundarios) que se distribuyen especialmente en el mesofilo de las hojas (Schreiner y Huyskens, 2006). Los resultados que se presentan en la Figura 11, son acordes con los valores obtenidos en estudios realizados en plantas del género *Mentha* (Karousou *et al.*, 1998; Ramírez *et al.*, 2013), *Rosmarinus* (Luis *et al.*, 2007; Ramírez *et al.*, 2013), *Brassica* (Qaderi *et al.*, 2007) y *Passiflora* (Cechin *et al.*, 2012).

Sin embargo; estos resultados también son contrastantes con los presentados por Hidema y Kumagai (2006) y Sanjay (2011; 2014), en donde se reporta disminución de la biomasa en arroz y soya respectivamente. Es importante mencionar que el órgano tratado (parte del vegetal), el momento de aplicación de los tratamientos (cosecha o poscosecha), la dosis de radiación aplicada y los tiempos de adaptación, son determinantes en la consecución del resultado, por tal motivo es de vital importancia identificar estos parámetros antes de iniciar un tratamiento.

Una de las observaciones relevantes y que motiva a continuar con la investigación es diferenciar las rutas metabólicas que están implicadas en la producción de biomasa generada a partir de la elicitación con UV-B y establecer la posible existencia de una afectación a nivel del mRNA y el ADN (Hollósy, 2002). Algunos trabajos como los realizados por Stratman (2003) y Rodrigues *et al*, (2006), indican que el fotosistema II sería el sitio potencial en el cual se presenta mayor respuesta ante los estímulos con UV-B.

4.2. Efecto de las dosis de radiación UV-B en el rendimiento de extracción.

Los datos de rendimiento permiten evidenciar el comportamiento fisiológico de las plantas como respuesta al estrés controlado al cual fueron inducidas. Mediante el análisis estadístico se establecieron diferencias significativas entre los tratamientos y sus respectivos controles. Los mejores resultados se obtuvieron con extractos provenientes de matrices secas, estado fenológico 75 ddt y 0,05 Wh m⁻² correspondientes a los tratamientos 10 y 9, con un aumento en g.Kg⁻¹ respectivamente de 32,32% y 31,77%, es importante mencionar que respecto a la dosis los tratamientos con 0,075 Wh m⁻² artificial; 12 y 11 fueron catalogados como promisorios con un incremento de 30,90% y 23,49% (Tabla 16).

Con matriz seca, estado fenológico 92 ddt y 0,05 Wh m⁻² los mejores tratamientos fueron 13, 14, con un aumento de 13,22% y 4,60% respecto al control. Caso contrario se presentó en los tratamientos con 0,075 Wh m⁻² 15 y 16, los cuales presentaron un efecto adverso en el rendimiento de extracto con una reducción de 12,81% y 14,88%.

En cuanto a los extractos provenientes de matrices frescas, estado fenológico 75 ddt y 0,05 Wh m⁻², no se evidenció diferencia estadística, sin embargo se identificó una tendencia positiva en los tratamientos 1 y 2 con un aumento de 18,03% y 20,29%. Los tratamientos con 0,075 Wh m⁻² 3 y 4 tuvieron un aumento no significativo de 10,03% y 8,89%.

Los extractos obtenidos a partir de matrices frescas, estado fenológico 92 ddt y 0,075 Wh m⁻², correspondientes a los tratamientos 7 y 8 presentaron el mejor comportamiento durante las extracciones, con aumento respecto a sus respectivos controles de: 71,88% y 54,98%, opuesto a esta situación encontramos los tratamientos 5 y 6 con una reducción en el rendimiento de extracto de: 18,11% y 20,39% (Figura 12 y Tabla 16).

Se identificó una correlación positiva perfecta entre la matriz seca y el rendimiento de extracción y una correlación negativa entre la matriz fresca y el rendimiento de

extracción, esta situación es explicada por la mayor cantidad de material disponible para extracción después de secado, gracias a la disminución significativa en el contenido de humedad de las muestras, permitiendo un mayor contenido de matriz de extracción aumentando la eficiencia en el proceso extractivo.

Tabla 16. Porcentaje de rendimiento promedio obtenidos con los tratamientos

Estado fenológico	UVB (T1: 0,05 Wh.m ⁻² y T2: 0,075 Wh.m ⁻²)	Tiempo de adaptación (Ta: 24 h y Tb: 48 h)	Matriz F (Fresco) y S (Seco)	Tratamiento	Rendimiento (g de extracto por Kg de tomillo)	Control	ΔR
75 ddt* (punto de corte)	T1	Ta	F	1	12,24 ± 1,15 (F, E)	10,37 ± 1,39 (F, G)	18,03
		Tb	F	2	12,51 ± 0,88 (F, E)	10,40 ± 1,31 (F, G)	20,29
	T2	Ta	F	3	11,19 ± 1,28 (F, G)	10,17 ± 0,82 (F, G)	10,03
		Tb	F	4	10,90 ± 1,11 (F, G)	10,01 ± 1,18 (F, G)	8,89
	T1	Ta	S	9	25,63 ± 2,69 (A)	19,45 ± 1,43 (C, B)	31,77
		Tb	S	10	24,93 ± 2,50 (A)	18,84 ± 1,29 (C, B)	32,32
T2	Ta	S	11	23,92 ± 3,15 (A)	19,37 ± 0,62 (C, B)	23,49	
	Tb	S	12	24,61 ± 3,61 (A)	18,80 ± 0,90 (C, B)	30,90	
92 ddt* (plena floración)	T1	Ta	F	5	8,41 ± 2,48 (G)	10,27 ± 2,08 (F, G)	-18,11
		Tb	F	6	8,51 ± 2,55 (G)	10,69 ± 2,60 (F, G)	-20,39
	T2	Ta	F	7	16,50 ± 1,21 (C, D)	9,60 ± 1,92 (F, G)	71,88
		Tb	F	8	15,08 ± 2,99 (E, D)	9,73 ± 1,49 (F, G)	54,98
	T1	Ta	S	13	18,76 ± 0,98 (C, B)	16,57 ± 2,11 (C, D)	13,22
		Tb	S	14	18,41 ± 0,85 (C, B)	17,60 ± 1,32 (C, B, D)	4,60
	T2	Ta	S	15	17,63 ± 1,40 (C, B, D)	20,22 ± 2,50 (B)	-12,81
		Tb	S	16	17,16 ± 1,35 (C, B, D)	20,16 ± 2,27 (B)	-14,88

*ddt: días después de trasplante

ΔR: Cambio porcentual del tratamiento respecto al control

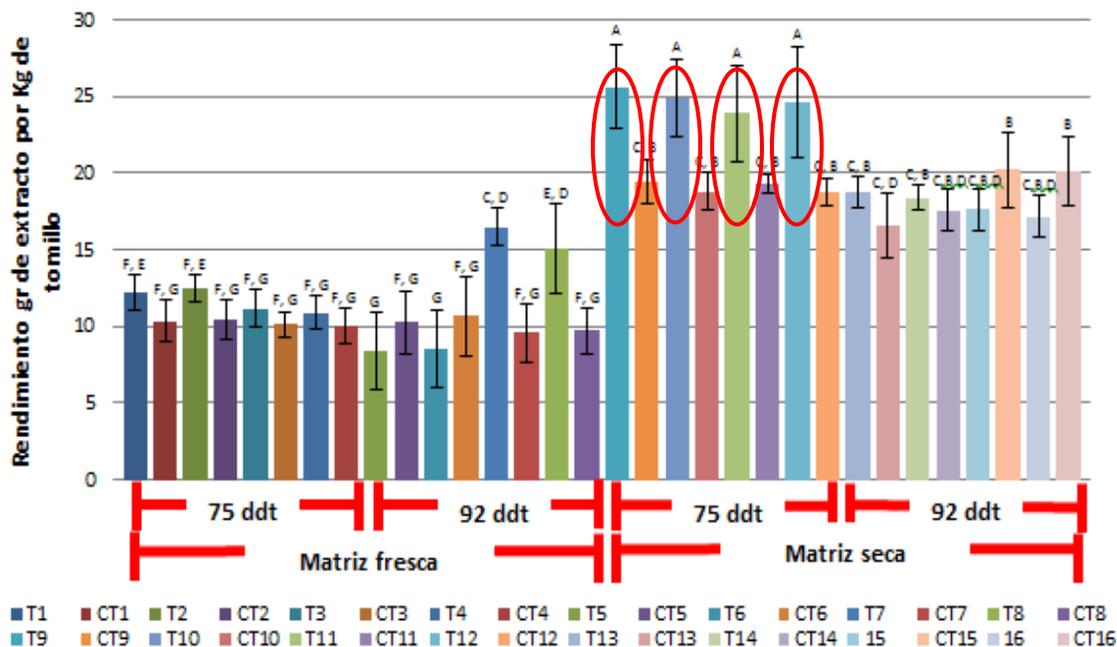
Prueba de Tukey: Letras diferentes, indica diferencias significativas Tukey (HDS).

En la tabla 16 las abreviaturas corresponden a: (T1): 0,05 Wh m⁻² y (T2): 0,075 Wh m⁻² de radiación UV-B acumulada, para los estado fenológico punto de corte (75 ddt) y plena floración (92 ddt), los tiempos de adaptación Ta y Tb hacen referencia al tiempo de respuesta y equivalen respectivamente a 24 y 48 h. Se emplearon controles separados por cada tratamiento, estos hacen referencia a rendimientos de extracción de plantas no tratadas con UV-B artificial.

Es conocido que la cantidad de radiación UVB a la cual están expuestas las plantas, puede variar de acuerdo a múltiples factores, específicamente nubosidad, gases de efecto invernadero, altura entre otras (Wang y Schimel, 2003; Rivas *et al.*, 2008; Benavides, 2010). El incremento en altura (msnm) se ha correlacionado con el aumento en el contenido y la calidad de los metabolitos secundarios de las plantas, encontrando perfiles químicos con una mayor cantidad y mejor calidad de compuestos a mayor altura (Carrasco, 2009), por tanto es de esperar que las plantas sometidas a dosis complementarias y moderadas de radiación UVB tengan una respuesta positiva en cuanto a su composición química.

La forma empleada para estimar esta respuesta fue la cuantificación de extractos obtenidos de plantas tratadas y no tratadas con la tecnología UVB. Como se presentó en la tabla 16, existió una respuesta positiva por parte de las plantas de tomillo a las diferentes dosis empleadas, los resultados obtenidos son acordes con los presentados por (Karousou *et al.*, 1998; Luis, Pérez, y González, 2007 y Qaderi *et al.*, 2007) quienes en materiales vegetales mediante dosis que variaban entre 0,045-0,8 W.m⁻² lograron incrementos en el rendimiento de extracción entre el 20-40% respecto a los controles.

Figura 12. Porcentaje de rendimiento para tomillo en cada uno de los tratamientos.



En la figura 12, se resaltan los tratamientos que producen un mayor rendimiento con las figuras ovaladas de color rojo. Las abreviaturas T y CT, hacen referencia a los tratamientos y controles respectivamente. Letras diferentes, indica significancia de los tratamientos Tukey (HDS).

La radiación UVB como se mencionó en el marco teórico, puede estimular diferentes rutas metabólicas a nivel celular, entre ellas está la ruta del ácido shikímico y la ruta del ácido mevalónico, por las cuales se activa la producción de fenoles, especialmente algunos monoterpenos, flavonoides y antocianos, con el fin de disminuir la penetración de la radiación en el mesofilo en la hoja y así evitar los procesos de inactivación fotosintética y demás procesos que conllevan a la inactivación de la célula (Jansen *et al.*, 2008; Carrasco, 2009). Estos compuestos al ser acumulados en las zonas foliares y tallos jóvenes, pueden ser extraídos y en comparación con plantas no sometidas al proceso de elicitación, tendrán un mayor contenido de estos compuestos.

Como se presentó en la tabla 16 y la figura 12, los mejores resultados en rendimiento de extracción se obtuvieron en plantas tratadas con la tecnología en matrices secas y estado fenológico punto de corte (75 ddt). Sin embargo, algunos autores han reportado que la cantidad de aceite esencial es superior en plantas de tomillo en floración empleando como método de extracción arrastre con vapor en plantas no tratadas con radiación UVB (Taghi y Razaeei, 2008), cabe anotar que estos resultados se obtuvieron con un método de extracción diferente (hidrodestilación asistida con microondas) y que las plantas de tomillo no habían sido sometidas a la aplicación de dosis de radiación UVB.

4.3. Efecto de las dosis de radiación UV-B en el contenido de fenoles totales.

Se identificó una respuesta positiva en todo el ensayo y sus diferentes combinaciones, por parte de las plantas sometidas al estímulo con radiación UVB. Es importante mencionar que el mayor contenido de fenoles totales se obtuvo mediante el tratamiento 10 con plantas en estado fenológico punto de corte (75 ddt), T1 (0,05 Wh m⁻²), Ta (24 h) y matrices frescas, con un aumento estadísticamente significativo de 37,84%, seguido del tratamiento 7 con plantas en estado fenológico plena floración (92 ddt), T2 (0,075 Wh m⁻²), Ta (24 h) y matrices frescas, con un aumento estadísticamente significativo de 35,71% respecto al control como se presenta en la tabla 17.

Se identificó un aumento en el contenido de fenoles totales en los tratamientos 8 y 11 que involucraron plantas en estado fenológico 92 ddt, matrices frescas, T2 (0,075 Wh.m⁻²), logrando incrementos de 33,84% con tiempo de adaptación de 48h y plantas en estado fenológico 75 ddt, matrices frescas, T2 (0,075 Wh.m⁻²), con tiempo de adaptación de 24 h del 24,05% respecto al control. Siendo el tratamiento 15 el menos favorable con una respuesta positiva de 3,27% respecto a su control.

No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos con los mejores resultados, sin embargo; se identificó una correlación negativa entre el estado fenológico y el tipo de matriz de extracción con un índice de 0,776, afectando el contenido de fenoles totales el estado fenológico 92 ddt y las matrices secas, como se presenta en la tabla 17.

Evaluación del efecto de la aplicación de radiación UV-B durante la poscosecha en la calidad de los extractos de tomillo (*Thymus vulgaris* L.)

Tabla 17. Contenido de fenoles totales de las muestras de tomillo.

Estado fenológico	UVB T1 y T2	Tiempo de adaptación (Ta y Tb)	Matriz F y S	Tratamiento	% AGeM (Porcentaje de ácido gálico en la muestra)	Control	ΔFT
75 ddt (punto de corte)	T1	Ta	F	1	17,85 ± 0,59 (B, A, C)	14,66 ± 0,45 (E, G, D, F)	21,76
		Tb	F	2	17,55 ± 0,23 (B, D, A, C)	14,57 ± 0,20 (E, G, D, F, H)	20,45
	T2	Ta	F	3	19,46 ± 0,26 (A)	15,7272 ± 1,74 (E, D, F, C)	23,73
		Tb	F	4	19,48 ± 0,32 (A)	17,44 ± 0,76 (B, D, A, C)	11,70
	T1	Ta	S	9	12,07 ± 0,42 (L,G,K,M,N,J,H,I)	11,27 ± 0,07 (L, K, M,N,J)	7,10
		Tb	S	10	15,81 ± 0,50 (E,D,F,C)	11,47 ± 2,06 (L,K,M,N,J,H,I)	37,84
	T2	Ta	S	11	14,03 ± 0,95 (E,G,K,F,J,H,I)	11,31 ± 0,45 (L,K,M,N,J)	24,05
		Tb	S	12	13,62 ± 1,48 (L,G,K,M,F,J,H,I)	11,41 ± 1,77 (L,K,M,N,J,I)	19,37
92 ddt (plena floración)	T1	Ta	F	5	16,25 ± 0,21 (E, B, D, F, C)	14,61 ± 0,51 (E, G, D, F, H)	11,23
		Tb	F	6	17,04 ± 0,56 (E, B, D, A, C)	13,85 ± 2,05 (L, G, K, F, J, H, I)	23,03
	T2	Ta	F	7	19,57 ± 0,09 (A)	14,42 ± 0,17 (E, G, D, F, J, H, I)	35,71
		Tb	F	8	19,38 ± 0,20 (B, A)	14,48 ± 1,92 (E, G, D, F, H, I)	33,84
	T1	Ta	S	13	11,23 ± 0,91 (L,K,M,N)	10,19 ± 0,32 (N)	10,21
		Tb	S	14	12,16 ± 1,03 (L,G,K,M,N,J,H,I)	10,61 ± 0,65 (M, N)	14,61
	T2	Ta	S	15	11,38 ± 1,61 (L,K,M,N,J,I)	11,02 ± 0,86 (L,K,M,N)	3,27
		Tb	S	16	12,38 ± 0,61 (L, G, K, M, N, J,H,I)	10,82 ± 0,55 (L,M,N)	14,42

*ddt: días después de trasplante

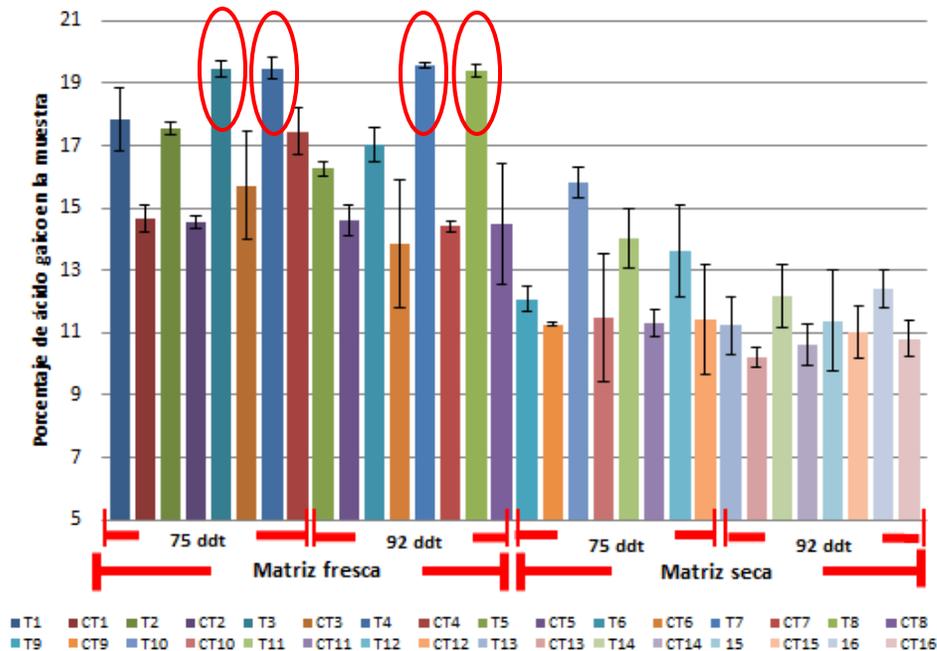
ΔFT: Cambio porcentual del tratamiento respecto al control

Prueba de Tukey: Letras diferentes, indica diferencias significativas Tukey (HDS).

Las abreviaturas en la tabla 17, corresponden a: (T1): 0,05 Wh m⁻² y (T2): 0,075 Wh m⁻² de radiación UV-B acumulada, para los estado fenológico punto de corte (75 ddt) y plena floración (92 ddt), los tiempos de adaptación Ta y Tb hacen referencia al tiempo de respuesta y equivalen respectivamente a 24 y 48 h. Se emplearon controles separados por cada tratamiento, estos hacen referencia al contenido de fenoles de extractos de plantas no tratadas con UV-B artificial.

Los resultados obtenidos en cuanto a la cantidad de fenoles producidos durante el proceso de elicitación en comparación a sus controles, son acordes con trabajos presentados en los géneros; *Mentha* (Karousou *et al.*, 1998), *Rosmarinus* (Luis *et al.*, 2007), *Brassica* (Qaderi *et al.*, 2007), *Passiflora* (Cechin *et al.*, 2012) y *Vaccinium* (Inostroza *et al.*, 2014), en los cuales se reportan aumentos estadísticamente significativos en la composición de fenoles, especialmente monoterpenos oxigenados como; 1,8-Cineol, Camphor, Timol y Carvacrol) y algunos monoterpenos hidrogenados como; α-pineno. Estos compuestos se han identificado como mayoritarios en los diferentes perfiles químicos de tomillo y son considerados de gran importancia por su carácter antioxidante y antiinflamatorio (Jordán *et al.*, 2006; De Lisi *et al.*, 2011; Nickavar y Esbati *et al.*, 2012).

Figura 13. Diagrama de barras con el resumen de los resultados obtenidos en los ensayos de fenoles totales para las plantas de tomillo irradiadas y no irradiadas (controles).



En la figura 13, se resaltan con las figuras ovaladas en color rojo los tratamientos con mayor contenido de fenoles totales. Las abreviaturas T y CT, hacen referencia a los tratamientos y controles respectivamente.

Como se puede observar en la figura 13, el efecto del tipo de matriz en la composición fenólica de los extractos fue determinante, esta situación es explicada por el carácter termolábil de la mayoría de los terpenos involucrados en extractos y aceites esenciales de plantas aromáticas (Jacobs y Elderfield, 1938; Taghi y Razaei, 2008; Jansen *et al.*, 2008; dos Santos *et al.*, 2015), estos resultados pueden ser contrastantes con los obtenidos por Turtola *et al.* (2006) y Randriamanana *et al.* (2015), quienes reportan la inexistencia de efectos significativos en el crecimiento y perfil de compuestos secundarios en *Pinus sylvestris*, *Picea abies* y *Populus tremula*. Es importante mencionar que los resultados obtenidos en esos estudios, se realizaron aplicando diferentes dosis de UVB en semillas y las plantas objeto de estudio se adaptaron a flujos de radiación UVB superiores a las dosis empleadas en este estudio.

4.4. Efecto de las dosis de radiación UV-B en el contenido de flavonoides totales.

El mayor contenido de flavonoides en los extractos se obtuvo con el tratamiento 8, mediante la combinación de plantas en estado fenológico 92 ddt, T2 (0,075 Wh.m⁻²), matrices frescas y tiempo de adaptación de 48 h, con un incremento respecto al control de 80.00%, adicionalmente a esta combinación, encontramos el tratamiento 7 con plantas en 92 ddt, T2 y tiempo de adaptación de 24 h que presentaron un incremento de 61,40%. Es importante destacar los resultados obtenidos con los tratamientos 4 y 3, provenientes de plantas en estado fenológico 75 ddt y T2 (0.075 Wh.m⁻²), los cuales en sus dos tiempos de adaptación presentaron incrementos significativos en el contenido de flavonoides del 52,00% y 38,67% respecto a sus controles. Los resultados menos favorables se obtuvieron mediante los tratamientos 1 y 2, correspondientes a las combinaciones 75 ddt, T1, Ta y Tb con incrementos del 10,96% y 14,08%, seguidos de los tratamientos 5 y 6 obtenidos mediante las combinaciones 92 ddt, T1, Ta y Tb con incrementos del 22,95% y 20,97%. El resumen de estos resultados se presenta en la Tabla 18. Para el contenido de flavonoides en extractos de tomillo, se estableció una correlación negativa entre el estado fenológico y el tipo de matriz, con un índice de 0,82, siendo los tratamientos menos favorables aquellos provenientes de plantas en estado fenológico 92 ddt y matrices secas para la obtención del extracto.

Tabla 18. Contenido de flavonoides totales

Estado fenológico	UVB (T1: 0,05 Wh,m-2 y T2: 0,075 Wh,m-2)	Tiempo de adaptación (Ta: 24 h y Tb: 48 h)	Matriz F (Fresco) y S (Seco)	Tratamiento	mg QRT /g (mg de quercetina por gramo de muestra)	Control	ΔFLT
75 ddt (punto de corte)	T1	Ta	F	1	0,081 ± 0,001 (E)	0,073 ± 0,003 (G)	10,96
		Tb	F	2	0,081 ± 0,001 (F, E)	0,071 ± 0,003 (G)	14,08
	T2	Ta	F	3	0,104 ± 0,001 (B)	0,075 ± 0,001 (G)	38,67
		Tb	F	4	0,114 ± 0,002 (A)	0,075 ± 0,001 (G)	52,00
	T1	Ta	S	9	0,047 ± 0,003 (K)	0,036 ± 0,002 (M)	30,56
		Tb	S	10	0,045 ± 0,001 (L, K)	0,035 ± 0,001 (M)	28,57
	T2	Ta	S	11	0,057 ± 0,001 (I, H, J)	0,039 ± 0,001 (M)	46,15
		Tb	S	12	0,056 ± 0,002 (I, J)	0,039 ± 0,001 (M)	43,59
92 ddt (plena floración)	T1	Ta	F	5	0,075 ± 0,002 (G)	0,061 ± 0,001(I, H)	22,95
		Tb	F	6	0,075 ± 0,003 (F, G)	0,062 ± 0,001 (H)	20,97
	T2	Ta	F	7	0,092 ± 0,001 (D)	0,057 ± 0,001(I, H, J)	61,40
		Tb	F	8	0,099 ± 0,002 (C)	0,055 ± 0,002 (J)	80,00
	T1	Ta	S	13	0,040 ± 0,002 (L, M)	0,028 ± 0,001 (N)	42,86
		Tb	S	14	0,040 ± 0,001 (L, M)	0,028 ± 0,001 (N)	42,85
	T2	Ta	S	15	0,050 ± 0,002 (K)	0,035 ± 0,002 (M)	42,86
		Tb	S	16	0,050 ± 0,002 (K)	0,035 ± 0,001 (M)	42,85

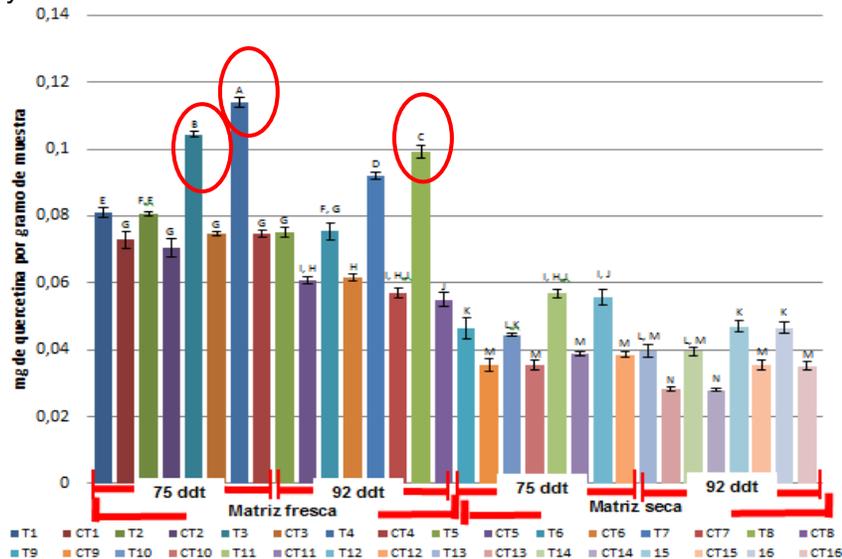
*ddt: días después de trasplante

ΔFLT: Cambio porcentual del tratamiento respecto al control

Prueba de Tukey: Letras diferentes, indica diferencias significativas Tukey (HDS).

Las abreviaturas en la tabla 18 corresponden a: (T1): 0,05 Wh m⁻² y (T2): 0,075 Wh m⁻² de radiación UV-B acumulada, para los estado fenológico punto de corte (75 ddt) y plena floración 92 ddt), los tiempos de adaptación Ta y Tb hacen referencia al tiempo de respuesta y equivalen respectivamente a 24 y 48 h. Se emplearon controles separados por cada tratamiento, estos hacen referencia al contenido de flavonoides de los extractos provenientes de plantas no tratadas con UV-B artificial. Es conocido el efecto de las variaciones en la calidad de la luz que incide en las plantas, y se ha estudiado desde la planta modelo (*Arabidopsis*), la expresión de las diferentes rutas metabólicas, especialmente la ruta de los fenilpropanoides y sus respectivas enzimas, especialmente la PAL (fenil alanina amonio liasa), la CHS (chalcona sintasa) y CHI (chalcona isomerasa), las cuales son consideradas triggers o disparadores, que desencadenan la respuesta de la planta ante estímulos lumínicos. Sin embargo, estos aumentos de metabolitos secundarios, también pueden desencadenar en la planta efectos negativos, producto de la acumulación de algunas sustancias de origen fenólico que pueden inhibir la elongación de los hipocotilos que pueden afectar el crecimiento y desarrollo de las plantas (Graham, 1998). Los resultados obtenidos en cuanto a la cantidad de flavonoides producidos por acción de la elicitación con dosis moderadas de radiación UVB, son similares a los obtenidos por Dolzhenko *et al.*, 2010 y Luis *et al.*, 2007, en su trabajos con plantas aromáticas del genero *Mentha* y *Rosmarinus*, respectivamente. En estos estudios dosis bajas (0,05 W m⁻²) de radiación UVB, estimularon de forma positiva la producción de flavonoides (Figura 14). Según Hidema y Kumagai (2006) y Jansen *et al.*, 2008, este aumento en la producción de flavonoides, se genera debido a la estimulación de la ruta metabólica de biosíntesis de los fenilpropanoides, especialmente en las enzimas involucradas en estas rutas, las cuales se activan como respuesta y defensa de la planta a las variaciones en el contenido de radiación UVB, dando como resultado una acumulación de compuestos fenólicos en el la epidermis, subepidermis, vacuolas y mesofilo de las hojas, los cuales son ideales para la protección del fotosistema en la planta.

Figura 14. Comparación del contenido de flavonoides totales en los diferentes tratamientos y controles.



En la figura 14, se resaltan con figuras ovaladas en rojo los tratamientos con mayor contenido de flavonoides totales. Las abreviaturas T y CT, hacen referencia a los tratamientos y controles respectivamente.

De acuerdo con dos Santos *et al.*, 2015, la respuesta de las plantas a estímulos con radiación UVB, medidas en el contenido de sustancias fenólicas, ocurre rápidamente, dada la necesidad de la planta por proteger el sistema fotosintético. En este estudio, se evaluó la respuesta de plantas de *Kalanchoe pinnata* (planta medicinal de importancia en Brasil), a dosis aplicadas durante 1 día, 5 días y 10 días, no existiendo diferencias significativas en el contenido de flavonoides entre los espaciamientos temporales, por tal motivo se estableció que la respuesta de la planta es inmediata y puede medirse poco tiempo después de ser sometida a los procesos de elicitación, razón que justifica la elicitación durante el proceso de poscosecha como se empleó en nuestro estudio, teniendo la salvedad de que las células de la planta se mantengan vivas antes del proceso de elicitación. Para el caso específico del tomillo se ha reportado que el contenido de flavonoides y fenoles en general depende del método de extracción, el cual puede enmascarar o sobreestimar la presencia de los mismos en la planta, de tal forma, se recomienda el uso de sustancias como metanol y etanol durante la preparación de las muestras, pues sustancias como el hexano, etil acetato y cloroformo, no permiten la identificación adecuada de las sustancias fenólicas especialmente los flavonoides (Amzad *et al.*, 2013).

4.5. Efecto de las dosis de radiación UV-B en el contenido de antocianinas totales.

En general se presentó una respuesta positiva en el contenido de antocianinas respecto a las dosis de radiación UVB. Los mejores tratamientos para obtener una mayor cantidad de antocianinas totales, medidas en el contenido de cianidina-3-glucosido, se logró con matrices frescas provenientes de plantas en estado fenológico 92 ddt, T2 (0,075 Wh m⁻²) y tiempos de adaptación Tb (48 h) y Ta (24 h) con un incremento de 77,39% y 61,33% respecto al control. Seguido de estos se encuentran los tratamientos 3 y 4 correspondiente a las combinaciones 75 ddt, T2 (0,075 Wh m⁻²), Tb y Ta con incrementos de 42,98% y 37,89% (Tabla 19).

Durante el análisis estadístico de los resultados obtenidos en el contenido de antocianinas totales, se estableció una correlación positiva con el contenido de flavonoides totales con un índice de 0,852, también se estableció una correlación negativa entre el estado fenológico y la matriz de extracción con un índice de 0,91, especialmente en las matrices secas y estado fenológico 75 ddt. También se identificó correlación positiva entre el contenido de fenoles totales y el contenido de flavonoides con un índice de 0,913, y con el contenido de antocianos con un índice de 0,826. Estos resultados son coherentes con el proceso metabólico y las rutas de biosíntesis de las plantas (Martínez, 2005), y permiten confirmar que la ruta del ácido shikímico y del acetato-malonato están involucradas durante el proceso de elicitación con radiación UVB (Jansen *et al.*, 2008, Carrasco, 2009; Pérez *et al.*, 2009; 2010), pues éstas son las rutas que desencadenan la producción específica de fenoles.

Como se mencionó anteriormente, el contenido de antocianinas se vio afectado por el proceso de secado de la matriz de extracción, producto de la degradación de estos compuestos por acción de la temperatura, este proceso se explicará a continuación.

Tabla 19. Contenido de antocianinas.

Estado fenológico	UVB (T1: 0,05 Wh,m-2 y T2: 0,075 Wh,m-2)	Tiempo de adaptación (Ta: 24 h y Tb: 48 h)	Matriz F (Fresco) y S (Seco)	Tratamiento	mgC3G (miligramos de cianidina-3-glucosido)	Control	ΔA
75 ddt (punto de corte)	T1	Ta	F	1	14,27 ± 1,32 (E,D)	12,16 ± 1,53 (E)	17,35
		Tb	F	2	14,42 ± 0,91 (D)	12,18 ± 0,85 (E)	18,39
	T2	Ta	F	3	17,65 ± 0,34 (C)	12,80 ± 0,88 (E,D)	37,89
		Tb	F	4	18,43 ± 0,14 (C)	12,89 ± 0,36 (E,D)	42,98
	T1	Ta	S	9	0,15 ± 0,10 (F)	0,09 ± 0,00 (F)	NA
		Tb	S	10	0,27 ± 0,09 (F)	0,16 ± 0,10 (F)	NA
	T2	Ta	S	11	0,18 ± 0,00 (F)	0,00 ± 0,05 (F)	NA
		Tb	S	12	0,00 ± 0,00 (F)	0,09 ± 0,09 (F)	NA
92 ddt (plena floración)	T1	Ta	F	5	17,11 ± 1,37 (C)	13,10 ± 0,24 (E,D)	30,61
		Tb	F	6	17,44 ± 1,14 (C)	13,22 ± 0,77 (E,D)	31,92
	T2	Ta	F	7	28,33 ± 1,17 (B)	17,56 ± 0,19 (C)	61,33
		Tb	F	8	30,99 ± 1,35 (A)	17,47 ± 0,61 (C)	77,39
	T1	Ta	S	13	0,18 ± 0,09 (F)	0,15 ± 0,05 (F)	NA
		Tb	S	14	0,09 ± 0,15 (F)	0,06 ± 0,10 (F)	NA
	T2	Ta	S	15	0,09 ± 0,09 (F)	0,07 ± 0,05 (F)	NA
		Tb	S	16	0,06 ± 0,05 (F)	0,00 ± 0,00 (F)	NA

*ddt: días después de trasplante

ΔA: Cambio porcentual del tratamiento respecto al control

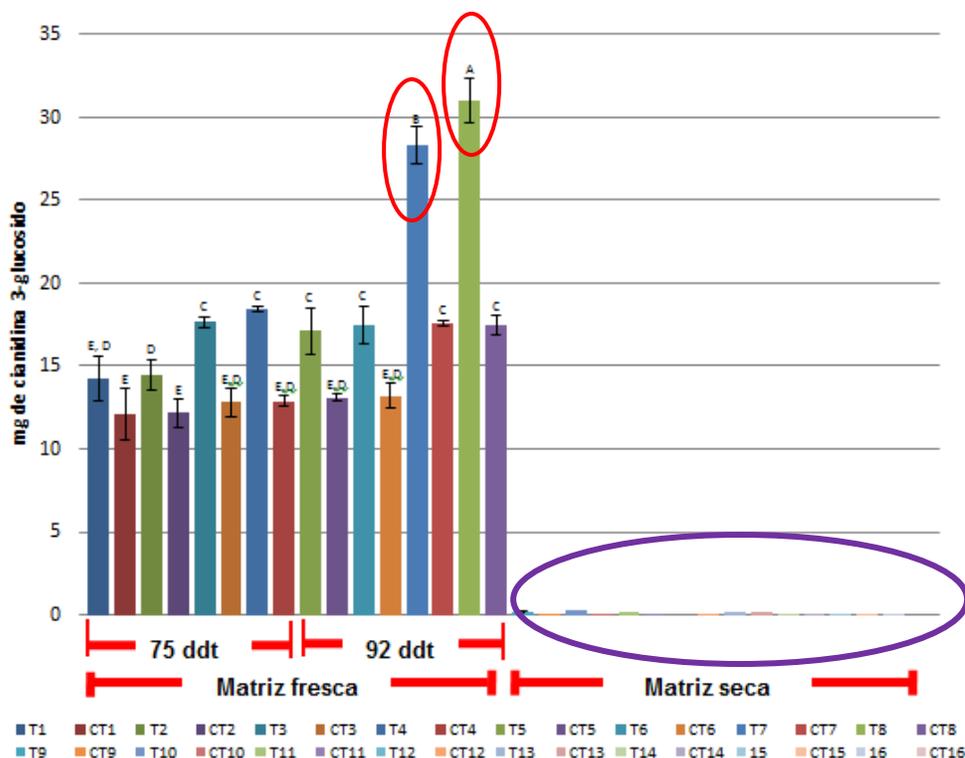
NA: No aplica por degradación en el proceso de secado

Prueba de Tukey: Letras diferentes, indica diferencias significativas Tukey (HDS).

Las abreviaturas en la tabla 19 corresponden a: (T1): 0,05 Wh m-2 y (T2): 0,075 Wh m-2 de radiación UV-B acumulada, para los estado fenológico punto de corte (75 ddt) y plena floración 92 ddt), los tiempos de adaptación Ta y Tb hacen referencia al tiempo de respuesta y equivalen respectivamente a 24 y 48 h. Se emplearon controles separados por cada tratamiento, estos hacen referencia al contenido de antocianinas en los extractos provenientes de plantas no tratadas con UV-B artificial.

Las antocianinas luego del proceso de secado no son detectadas, básicamente por procesos de degradación, estas reaccionan con el ácido ascórbico y el peróxido de hidrogeno, que se forma a partir de la reacción con el ácido ascórbico con el agua y las enzimas presentes en la planta, es importante conocer que las quinonas formadas por la oxidación de fenoles, pueden favorecer el deterioro de las antocianinas (Villanueva *et al.*, 2010).

Figura 15. Comparación del contenido de antocianinas en los diferentes tratamientos y controles.



En la figura 15 se resalta en las figuras ovaladas de color rojo los tratamientos con mayor contenido de antocianinas, en el ovalo color violeta, se resalta el efecto adverso de los cambios de temperatura en la integridad de las antocianinas, las cuales sufrieron un proceso degradativo, motivo por el cual en el momento de la cuantificación e identificación no pudieron ser determinadas en matrices secas mediante el método empleado. Las abreviaturas T y CT, hacen referencia a los tratamientos y controles respectivamente.

Los resultados obtenidos en el presente estudio son coherentes con los reportados por Aguilera *et al.*, 2011, en el cual se indica que: “las antocianinas se acumulan en mayor concentración en flores y frutas, pero también están presentes en hojas, tallos, órganos de almacenamiento y granos. Varias bayas y grosellas negras son las fuentes más ricas en antocianinas, aunque la berenjena y los granos pigmentados morados y azules también contienen altas cantidades de antocianinas”. Estos colores atractivos y característicos de las antocianinas, permiten a las plantas soportar cambios de pH, temperatura y exposición prolongada a la luz. Para la industria estos compuestos son de gran interés como fuente de colorantes naturales, sustancias activas de alimentos funcionales, nutracéuticos y medicamentos (Gorriti *et al.*, 2009).

En cuanto a la cantidad de antocianinas producidas durante el proceso de elicitación, es coherente con los resultados presentados por Cechin *et al*, 2012, en plantas de maracuyá, las cuales al ser sometidas a dosis elevadas de radiación UVB (8 W m^{-2}), presentaron un mayor contenido respecto a los controles y plantas sometidas a dosis bajas de radiación UVB ($0,8 \text{ W m}^{-2}$), permitiendo establecer a estos compuestos como metabolitos secundarios importantes en la defensa por parte de la planta ante cambios en la calidad de la radiación percibida.

En el caso específico del tomillo, este contenido de antocianinas es notorio en los estadios iniciales de las plantas como se presenta en la figura 16, la coloración se mantienen hasta plena floración, disminuyendo su intensidad a medida que avanza en su proceso de crecimiento y desarrollo.

Figura 16. Coloración rojiza en el envés de las hojas de tomillo en estadios fenológicos iniciales



4.6. Efecto de las dosis de radiación UV-B en el índice de saponificación.

Mediante el análisis estadístico no se pudo identificar diferencia significativa positiva entre los tratamientos y sus controles, sin embargo; existen diferencias entre los tratamientos, siendo los que presentan mayor índice los tratamientos 7 y 6 con aumentos de 36,22% y 16,22%. Caso contrastante se presentó en los tratamientos 16 y 15 con una disminución estadísticamente significativa de 45,96% y 39,18% respectivamente en comparación con sus controles.

Evaluación del efecto de la aplicación de radiación UV-B durante la poscosecha en la calidad de los extractos de tomillo (*Thymus vulgaris* L.)

Tabla 20. Resultados para el índice de saponificación de los extractos.

Estado fenológico	UVB (T1: 0,05 Wh.m ⁻² y T2: 0,075 Wh.m ⁻²)	Tiempo de adaptación (Ta: 24 h y Tb: 48 h)	Matriz F (Fresco) y S (Seco)	Tratamiento	Índice de saponificación	Control	ΔIS
75 ddt (punto de corte)	T1	Ta	F	1	7,06 ± 0,45 (B,A)	7,04 ± 0,14 (B,A)	0,28
		Tb	F	2	7,08 ± 0,60 (B,A)	6,86 ± 0,50 (B,A)	3,21
	T2	Ta	F	3	5,85 ± 0,18 (E,B,D,A,C)	6,94 ± 0,73 (B,A)	-15,71
		Tb	F	4	5,86 ± 0,14 (E,B,D,A,C)	5,68 ± 1,09 (E,B,D,A,C)	3,17
	T1	Ta	S	9	5,82 ± 0,37 (E,B,D,A,C)	7,03 ± 0,24 (B,A)	-17,21
		Tb	S	10	6,95 ± 0,77 (B,A)	7,33 ± 0,21 (A)	-5,18
T2	Ta	S	11	4,94 ± 0,47 (E,G,D,F,C)	6,64 ± 0,42 (B,A,C)	-28,60	
	Tb	S	12	5,37 ± 0,77 (E,B,D,F,C)	6,17 ± 0,34 (E,B,D,A,C)	-12,97	
92 ddt (plena floración)	T1	Ta	F	5	6,51 ± 0,36 (B,A,C)	6,24 ± 0,65 (E,B,D,A,C)	4,33
		Tb	F	6	6,45 ± 0,52 (B,D,A,C)	5,55 ± 0,49 (E,B,D,C)	16,22
	T2	Ta	F	7	6,23 ± 0,51 (E,G,D,F)	4,57 ± 0,03 (E,B,D,A,C)	36,22
		Tb	F	8	4,77 ± 0,19 (E,G,F)	5,71 ± 0,17 (E,B,D,A,C)	-16,46
	T1	Ta	S	13	5,46 ± 0,35 (E,B,D,C)	5,94 ± 0,28 (E,B,D,A,C)	-8,08
		Tb	S	14	5,39 ± 1,03 (E,B,D,F,C)	6,99 ± 0,29 (B,A)	-22,89
	T2	Ta	S	15	3,71 ± 0,69 (G,F)	6,10 ± 0,28 (E,B,D,A,C)	-39,18
		Tb	S	16	3,61 ± 0,61 (G)	6,68 ± 0,99 (B,A)	-45,96

*ddt: días después de trasplante

ΔIS: Cambio porcentual del tratamiento respecto al control

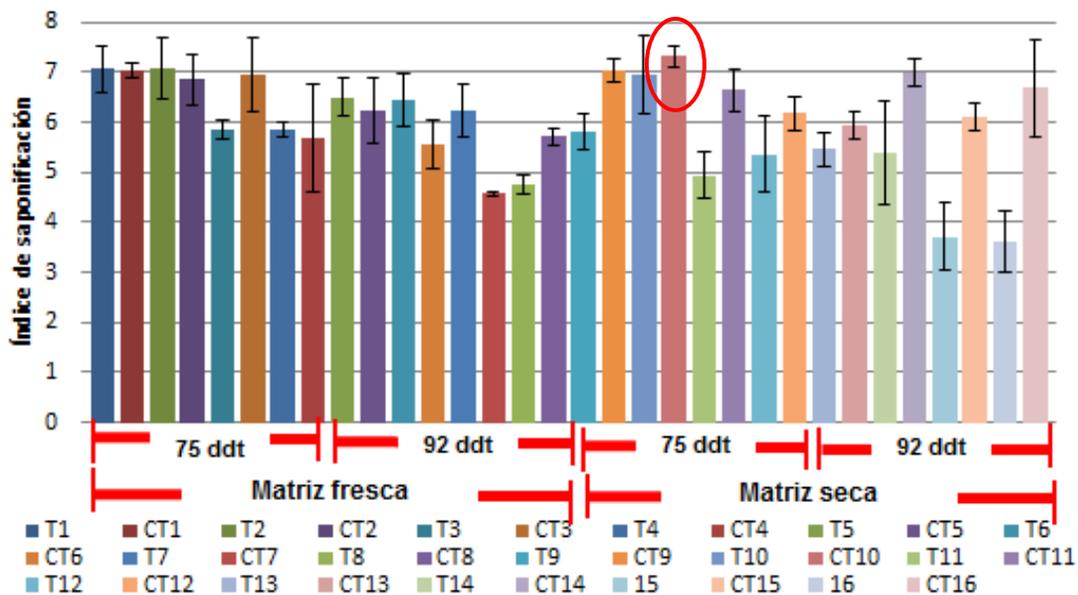
Prueba de Tukey: Letras diferentes, indica diferencias significativas Tukey (HDS).

Las abreviaturas presentadas en la tabla 20 corresponden a: (T1): 0,05 Wh.m⁻² y (T2): 0,075 Wh.m⁻² de radiación UV-B acumulada, para los estado fenológico punto de corte (75 ddt) y plena floración 92 ddt), los tiempos de adaptación Ta y Tb hacen referencia al tiempo de respuesta y equivalen respectivamente a 24 y 48 h. Se emplearon controles separados por cada tratamiento, estos hacen referencia a los índices de saponificación de los extractos provenientes de plantas no tratadas con UV-B artificial.

A pesar de la existencia de métodos más acertados para determinar la calidad de un extracto con aplicabilidad a comestibles como lo son el índice de yodo, rancidez oxidativa y otros. Se trabajó el método de índice de saponificación (índice de Koettstorfeer) pues los extractos obtenidos mediante el método Randall son ricos en compuestos de alto peso molecular, convirtiéndose este método en el más adecuado para la evaluación de los extractos de tomillo. Esta decisión se fundamenta también en reportes obtenidos en plantas del genero *Thymus* por parte de Guenther (1949), quien indica valores para el numero de saponificación de especies de tomillo como: *Thymus mastichina* (5,1 – 13,1), *Thymus hiemalis* (7,45-15,44) y *Thymus serpyllum* (3,68), siendo estos datos consistentes para el género en el presente estudio, obtenidos valores que oscilaron entre 3,6 y 7,3, dependiendo el tratamiento con UVB y el estado fenológico.

Es de esperar que extractos con mayor número de saponificación sean más saturados y presenten una mayor estabilidad química en comparación con los extractos con menor número de saponificación, los cuales tienden a ser inestables facilitando procesos de degradación en los aceites y extractos como la rancidez (Arraiza *et al.*, 2000).

Figura 17. Comparación del índice de saponificación en los diferentes tratamientos y controles.



En la figura 17 se resalta el tratamiento con mayor índice de saponificación mediante una figura ovalada color rojo. Las abreviaturas T y CT, hacen referencia a los tratamientos y controles respectivamente.

Es importante mencionar que los extractos de tomillo, se caracteriza por su composición rica en terpenos (Guillén y Manzanos, 1998; Hudaib *et al.*, 2002; Jordán, *et al.*, 2006; De Lisi *et al.*, 2011), sin embargo; debido al método de extracción es posible obtener una fracción que contiene sustancias saponificables y por tal motivo se pudo cuantificar el índice de saponificación.

4.7. Efecto de las dosis de radiación UV-B en la actividad antioxidante.

Mediante el análisis estadístico no se identificaron diferencias significativas entre los tratamientos y sus controles, ni entre los diferentes tratamientos, sin embargo se identificó una tendencia positiva en la mayoría de los tratamientos respecto a los controles, siendo considerados como promisorios los tratamientos 1 y 8 provenientes de extractos de plantas con matriz fresca con un aumento del 22,72% y 22,33%. Seguidos a estos valores encontramos un aumento del 16,27%, el cual se presentó en el tratamiento 2 proveniente extractos obtenidos a partir de matrices frescas (tabla 21). Esta situación permite inferir que las diferentes dosis de radiación UVB no afectan la actividad

Evaluación del efecto de la aplicación de radiación UV-B durante la poscosecha en la calidad de los extractos de tomillo (*Thymus vulgaris* L.)

antioxidante de los extractos y por el contrario induce expresión de algunos compuestos químicos favorables como lo son los fenoles, especialmente los flavonoides y las antocianinas.

Tabla 21. Resultados para actividad antioxidante de los extractos, medido en el % de capacidad antioxidante.

Estado fenológico	UVB (T1: 0,05 Wh,m ⁻² y T2: 0,075 Wh,m ⁻²)	Tiempo de adaptación (Ta: 24 h y Tb: 48 h)	Matriz F (Fresco) y S (Seco)	Tratamiento	% capacidad antioxidante	Control	Patrón ácido ascórbico	ΔAA
75 ddt (punto de corte)	T1	Ta	F	1	62,34 ± 4,32 (E,G,D,F)	50,80 ± 8,49 (G)	93,44 ± 3,56 (A,B)	22,72
		Tb	F	2	60,83 ± 5,50 (E,G,D,F)	52,32 ± 8,91 (G,F)		16,27
	T2	Ta	F	3	60,2237 ± 5,8442 (E,G,D,F)	55,16 ± 4,03 (E,G,F)		9,18
		Tb	F	4	67,09 ± 2,77 (E,G,D,F)	58,81 ± 7,28 (E,G,D,F)		14,08
	T1	Ta	S	9	70,82 ± 5,82 (E,G,D,F,C)	71,46 ± 5,64 (E,G,D,F)	95,35 ± 1,90 (B,A,C)	-0,90
		Tb	S	10	65,41 ± 3,58 (E,G,D,F,C)	62,70 ± 4,47 (E,G,D,F)		4,32
	T2	Ta	S	11	72,82 ± 2,75 (E,B,D,F,C)	63,23 ± 8,91 (E,G,D,F)		15,17
		Tb	S	12	74,51 ± 8,45 8 (E,B,D,A,C)	66,84 ± 5,14 (E,G,D,F)		11,48
92 ddt (plena floración)	T1	Ta	F	5	61,83 ± 3,99 (E,G,D,F)	52,39 ± 6,02 (G,F)	91,49 ± 4,62 (A)	18,02
		Tb	F	6	57,75 ± 12,85 (E,G,D,F)	56,41 ± 13,48 (E,G,F)		2,38
	T2	Ta	F	7	71,36 ± 3,17 (E,G,D,F,C)	62,48 ± 5,76 (E,G,D,F)		14,21
		Tb	F	8	77,63 ± 7,84 (B,D,A,C)	63,46 ± 8,93 (E,G,D,F)		22,33
	T1	Ta	S	13	65,18 ± 8,90 (E,G,D,F)	61,46 ± 9,82 (E,G,D,F)	91,30 ± 0,91 (A,C)	6,05
		Tb	S	14	68,84 ± 1,99 (E,G,D,F)	59,54 ± 1,60 (E,G,D,F)		15,62
	T2	Ta	S	15	67,02 ± 6,11 (E,G,D,F)	60,04 ± 5,16 (E,G,D,F)		11,63
		Tb	S	16	73,88 ± 4,59 (E,B,D,C)	66,71 ± 5,71 (E,G,D,F)		10,75

*ddt: días después de trasplante

ΔAA: Cambio porcentual del tratamiento respecto al control

Prueba de Tukey: Letras diferentes, indica diferencias significativas Tukey (HDS).

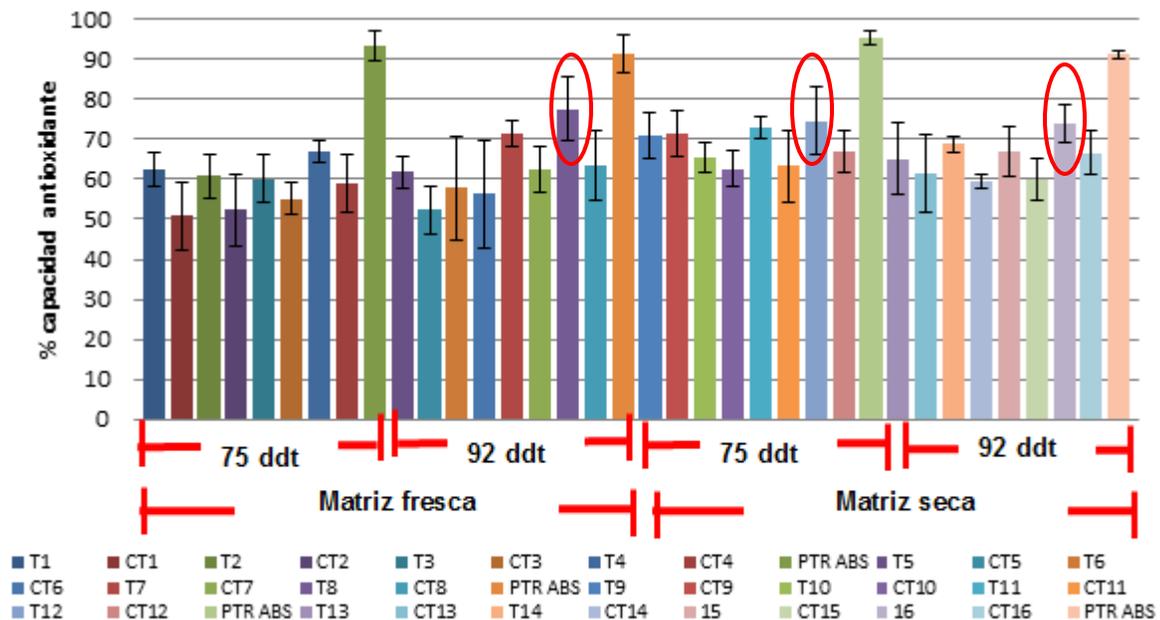
Las abreviaturas presentadas en la tabla 21, corresponden a: (T1): 0,05 Wh m⁻² y (T2): 0,075 Wh m⁻² de radiación UV-B acumulada, para los estado fenológico punto de corte (75 ddt) y plena floración 92 ddt), los tiempos de adaptación Ta y Tb hacen referencia al tiempo de respuesta y equivalen respectivamente a 24 y 48 h. Se emplearon controles separados por cada tratamiento, estos hacen referencia al porcentaje de capacidad antioxidante de matrices obtenidas a partir de plantas no tratadas con UV-B artificial.

Los resultados obtenidos en el presente trabajo, son consistentes con los reportados por Luis *et al.*, 2007, en su trabajo con plantas de romero, en el cual determinaron la capacidad antioxidante de los extractos de hojas, empleando el método DPPH, donde no presentaron diferencias significativas entre los extractos de controles no irradiados artificialmente y extractos de plantas irradiadas con dosis bajas de UVB (5,4 kJ m⁻²-d⁻¹) y dosis altas (31 kJ m⁻²-d⁻¹), en este estudio se indica que los compuestos conocidos como

metabolitos secundarios especialmente flavonoides, antocianos y fenoles están implicados en la defensa de la planta ante estímulos externos como la radiación UVB, motivo por el cual es de esperar un incremento de la actividad antioxidante mediado en la acumulación de estas sustancias en los órganos tratados. En cuanto a la tendencia en el comportamiento de la capacidad antioxidante de los extractos, se reporta en este estudio una disminución de la variable medida con relación al aumento de la dosis de radiación UVB, siendo también consistente con nuestro trabajo pues la dosis que favorece un mayor porcentaje de capacidad antioxidante es T1 ($0,05 \text{ Wh.m}^{-2}$) como se presenta en la figura 17, esto se explica mediante la curva de inactivación celular en la cual a medida que las dosis aplicadas o acumuladas aumentan, la actividad biológica (metabolismo de la planta) se ve alterado y en casos extremos detenido generando incluso la muerte de la planta.

Era de esperar en los resultados de esta variable, un incremento significativo de la actividad antioxidante, producto de la acumulación de sustancias de origen fenólico, a las cuales se les atribuyen propiedades antioxidantes, especialmente inducido por el aumento significativo de los flavonoides en los extractos. Sin embargo, no se identificaron diferencias significativas, esta situación se puede explicar en la medida que es conocido el mecanismo de protección de lípidos, por parte de los polifenoles, el cual ocurre en estados iniciales de las plantas y más efectivamente, durante el estado de propagación de la oxidación lipídica por captura de radicales libres, inhibiendo de esta manera la reacción en cadena (Luis *et al.*, 2007). La transferencia de electrones desde el radical libre (R) determina que el antioxidante se transforme en una molécula radical activa y este radical así formado debe ser lo suficientemente estable para que la función antioxidante sea efectiva (Dolzhenko *et al.*, 2010).

Figura 18. Comparación de la actividad antioxidante en los diferentes tratamientos y controles.



En la figura 18, se resalta en la figura ovalada color rojo los tratamientos con mayor actividad antioxidante. Las abreviaturas T y CT, hacen referencia a los tratamientos y controles respectivamente.

Algunos reportes citados por Tittmann (2010), mencionan que los compuestos fenólicos especialmente los flavonoides producidos por acción de la elicitación con UVB, tienden a estar hidroxilados, motivo por el cual no realizan una correcta captación de radicales libres, por tanto no pueden participar del porcentaje de capacidad antioxidante de los extractos medidos por el método DPPH. Por tal razón se recomienda el uso de diferentes métodos con el fin de comparar la actividad antioxidante en las plantas. La explicación del potencial antioxidante de los compuestos fenólicos es explicada y se toma textualmente del trabajo realizado por Luis *et al.*, 2007: “La capacidad antioxidante de los compuestos fenólicos se debe a su bajo potencial redox ($0.23 < E^{\circ} < 0.75V$). Por ello, son termodinámicamente capaces de inactivar de forma efectiva las EAO, como el anión superóxido y los radicales peroxilo, alcoxilo e hidroxilo, cuyo potencial de reducción se encuentre en el rango de 2.13-1.0 V”.

En general, los resultados obtenidos en el presente estudio fueron coherentes con estudios anteriores, donde se empleó exitosamente la radiación UV-B como promotor de metabolitos secundarios en frutas, hortalizas y aromáticas, confirmando la radiación UVB como elicitor que potencializa algunas características químicas, especialmente el contenido de flavonoides en los extractos de tomillo.

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1. Conclusiones

- Las características que proporcionan una mayor calidad integral en los extractos obtenidos se logran mediante el tratamiento 8 que corresponde a la aplicación de dosis controladas de radiación UV-B de $0,075 \text{ Wh.m}^{-2}$, en matrices frescas, provenientes de plantas en estado fenológico 92 ddt y con un tiempo de adaptación de 48 horas.
- El tratamiento 1 alcanzó mayor contenido de materia seca, este tratamiento corresponde a la combinación de estado fenológico 92 ddt, dosis de radiación 2 ($T2:0,075 \text{ Wh.m}^{-2}$) y tiempo de adaptación de 48h con un aumento de 15,84% respecto a su control.
- El tratamiento 7 alcanzó el mayor rendimiento de extracción, este tratamiento se obtuvo de la combinación de matrices secas provenientes de plantas en estado fenológico 75 ddt, dosis de radiación 1 ($T1: 0,05 \text{ Wh.m}^{-2}$) y tiempo de adaptación 48h con un aumento de 71,88% respecto a su control, el cual generaría mayores ingresos económicos, convirtiéndose en una alternativa viable para la mejora de los sistemas productivos nacionales.
- En cuanto al contenido de fenoles totales el tratamiento 10 alcanzó el mayor niveles, este tratamiento proviene de la combinación de extractos provenientes de matrices frescas de plantas en estado fenológico 75 ddt, dosis de radiación 1 ($T1:0,05 \text{ Wh.m}^{-2}$) y tiempo de adaptación de 48h con un aumento de 37,84% respecto a su control.
- El contenido de flavonoides logro su mejor expresión mediante el tratamiento 8, que corresponde a extractos de matrices frescas, de plantas en estado fenológico 92 ddt, sometidas a la dosis 2 de radiación UVB ($T2:0,075 \text{ Wh m}^{-2}$) y tiempo de adaptación de 48h, con un aumento del 80,00% respecto a su control.
- El tratamiento 8 alcanzó los mayores niveles de antocianinas, este tratamiento es generado a partir de la combinación de matrices frescas de plantas en estado fenológico 92 ddt, sometidas a la dosis 2 de radiación UVB ($T2:0,075 \text{ Wh m}^{-2}$) y tiempo de adaptación de 48h, con un aumento del 77,39% respecto a su control.
- En cuanto al índice de saponificación, no se reportaron diferencias significativas entre los tratamientos y sus respectivos controles, sin embargo los extractos de matrices frescas, provenientes del tratamiento 7, correspondiente extractos obtenidos a partir de plantas en estado fenológico 92 ddt, sometidas a la dosis 2 de radiación UVB ($T2:0,075 \text{ Wh m}^{-2}$) y tiempo de adaptación de 24h presentaron un incremento respecto a su control de 36,22%.

Evaluación del efecto de la aplicación de radiación UV-B durante la poscosecha en la calidad de los extractos de tomillo (*Thymus vulgaris* L.)

- En cuanto a la actividad antioxidante, no se reportaron diferencias significativas entre los tratamientos y sus respectivos controles, sin embargo los extractos provenientes del tratamiento 8, presentaron el mayor porcentaje de capacidad antioxidante con un incremento del 22,72% respecto a su control.

5.2. Recomendaciones

Con el fin de mejorar los resultados y la fiabilidad de las conclusiones, es importante en futuros estudios revisar la aplicación de las siguientes recomendaciones:

- Definir tamaño de partículas en la matriz de extracción, mediante un proceso de molienda y tamizado.
- Revisar la posible interacción entre la radiación UVB y el proceso de secado, pues se puede generar una interferencia del último proceso en el análisis de los resultados obtenidos.
- Comparar y optimizar el proceso de extracción mediante la implementación de un método clásico (arrastre con vapor) y métodos no convencionales como extracción con fluidos supercríticos, que permita centrar el estudio en el análisis de la composición de compuestos volátiles en aromáticas.
- Realizar trabajos enfocados en la conservación, funcionalidad y mejora de la calidad del aceite.
- Emplear métodos más relacionados con la calidad del aceite en alimentos (diferentes al índice de saponificación) como lo son el índice de iodo y rancidez oxidativa y complementarlos con un panel sensorial.
- Realizar los análisis químicos de compuestos volátiles obtenidos en los diferentes tratamientos con radiación UVB, empleando CG-EM y HPLC.

6. Producción académica

Proyectos asociados (UNAL-COLCIENCIAS)

- Aplicación de radiación UV-b como tecnología poscosecha en plantas aromáticas. Grupo de investigación: poscosecha de productos agrícolas. COL0061046. Director: Dra. Claudia Patricia Pérez Rodríguez.

Semillero de investigación asociado (UNAL-COLCIENCIAS)

- Aplicación de fluidos supercríticos para la extracción de aceites esenciales. Grupo de investigación: Poscosecha de Productos Agrícolas. COL0061046. Director: Dra. Claudia Patricia Pérez Rodríguez.

Artículos

- Pérez C.P., Herrera A.O., Parada F. y Ramírez R.A. Efecto de la radiación UVB en extractos de plantas aromáticas. En preparación.
- Pérez C.P., Herrera A.O. y Ramirez R.A. 2014. Effect of the application of physical elicitors in dry matter in thyme plants (*Thymus vulgaris* L.). Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín. 67 (2): 327-330.

Ponencia

- Pérez C.P., Herrera A.O. y Ramírez R.A. 2013. Effect of the application of physical elicitors during post-harvest in mint and rosemary essential oils. VII Congreso Ibérico de Agroingeniería y Ciencias Hortícolas. Madrid, España. Agosto de 2013. Modalidad oral.
- Pérez C.P. y Ramírez R.A. 2013. Poscosecha en aromáticas y el uso de radiación UVB. Agroexpo 2013. Bogotá, Colombia. Agosto de 2013. Modalidad oral.
- Ramírez R. A., Herrera A.O y Pérez C.P. 2014. Effect of the application of physical elicitors in dry matter in thyme plants (*Thymus vulgaris* L.). II Congreso Internacional de Investigación e Innovación en Ingeniería, Ciencia y Tecnología de Alimentos IICTA 2014. Medellín, Colombia. Mayo de 2014. Modalidad poster.
- Rodríguez L.A., Ortiz Y., Ochoa Y.P. Barrero A., Ramírez D., Montaña G., Ramírez R.A., Parada F. y Pérez C.P. 2014. Effect of Application of UV-B Radiation in the essential oil of mint (*Mentha spicata* L.). XV Congreso Latinoamericano de Cromatografía y Técnicas Afines COLACRO 2014. Cartagena, Colombia. Septiembre de 2014. Modalidad poster.
- Rodríguez L.A., C.A. Galvis, Y. Ortiz, R.A. Ramírez, F. Parada, C.P. Pérez. 2014. Influence of UV-B radiation in the chemical composition of the oil essential rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.). XV Congreso Latinoamericano de Cromatografía y Técnicas Afines COLACRO. Cartagena, Colombia. Septiembre de 2014. Modalidad poster.

7. Bibliografía

- Aguilera M., Reza M.C., Chew R. y Meza J. 2011. Propiedades funcionales de las antocianinas-functional properties of anthocyanins. *BIOTecnia*. 13(2): 16-22.
- Alarcón J. 2011. Plantas aromáticas y medicinales - Enfermedades de importancia y sus usos terapéuticos - Medidas para la temporada invernal. ICA. 48p.
- Amzad M. H., Salim K., Hamood Z., Mohammed A., and Al-Riyami Q. 2013. Study of total phenol, flavonoids contents and phytochemical screening of various leaves crude extracts of locally grown *Thymus vulgaris*. *Asian Pac J. Trop Biomed*. 3(9): 705-710.
- Andreasson K. y Wängberg S. 2006. Biological weighting functions as a tool for evaluating two ways to measure UVB radiation inhibition on photosynthesis. *Journal of Photochemistry and Photobiology Biology*. Vol. 84: 111–118.
- AOAC. 2004. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists. Published by the A.O.A.C. Washington D.C., USA.
- Arraiza M.P., Navarrete P. y Cases A. 2000. Evolución del rendimiento en esencia y contenido en 1, 8 – cineol en *Thymus mastichina* (L.), a lo largo de un ciclo fenológico completo. Universidad Politécnica de Madrid. 4p.
- Ávalos A. y Pérez E. 2009. Metabolismo secundario de plantas. *Reduca (Biología)*. Serie Fisiología Vegetal. 2 (3): 119-145.
- Azcón-Bieto, J. y Talón M. Fundamentos de fisiología vegetal. Barcelona: McGraw-Hill Interamericana, 2000, 622p.
- Balladin D. and Headley O. 1999. Evaluation of solar dried thyme "*Thymus vulgaris* Linné" herbs. *Renewable Energy*. 17: 523-531.
- Barber J. y Andersson B. 1992. Too much of a good thing: light can be bad for photosynthesis. *TIBS*. 17: 61-66.
- Barnes P., Ballare C. and Caldwell M. 1996. Photomorphogenic Effects of UV-B Radiation on Plants: Consequences for Light Competition. *J. Plant Physiol*. 148: 15-20.
- Barnes P., Flint D., Ryel R., Tobler M. Barkley A. Wargent J. 2014. Rediscovering leaf optical properties: New insights into plant acclimation to solar UV radiation. *Plant Physiology and Biochemistry*. xxx: 1-7.
- Barrientos J.C. y Cardona J.O. 2010. Los pequeños productores están limitados para adoptar nuevos cultivos. El caso de las hierbas aromáticas en la región de Sumapaz, Cundinamarca. *Rev. Agronomía Colombiana*. 28(1): 99-106.

Barrientos J. C., Reina M. L. y Chacón M. I. 2012. Potencial económico de cuatro especies aromáticas promisorias para producir aceites esenciales en Colombia. Revista colombiana de ciencias hortícolas. 6 (2): 225-237.

Benavides H. 2010. Información técnica sobre la radiación ultravioleta, el índice UV y su pronóstico documento técnico. IDEAM-meteo/001-2010 nota técnica del IDEAM febrero 2010 instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales - IDEAM subdirección de meteorología, 39p.

Besbes S., Blecker C., Deroanne C., Drira N. E. y Attia H. 2004. Date seeds: chemical composition and characteristic profiles of the lipid fraction. *Food Chemistry*. 84: 577-584.

Bhaskara M.V., Angers P., Gosselin A. and Arul J. 1998.Characterization and use of essential oil from *Thymus vulgaris* against *Botrytis cinerea* and *Rhizopus stolonifer* in strawberry fruits. *Phytochemistry*. 47.(8): 1515 1520.

Biocomercio sostenible. 2003. Estudio del mercado nacional de aceites esenciales. Instituto de investigación de recursos biológicos Alexander Von Humbolt, Bogotá, Colombia. 109p.

Bogotá R., Groot M., Hooghiemstra H., Lourens L., Van der Linden M. y Berrío J. 2011. Rapid climate change from north Andean Lake Fúquene pollen records driven by obliquity: implications for a basin-wide biostratigraphic zonation for the last 284 ka. *Quaternary Science Reviews*. 30: 3321-3337.

Cabot P. 2003. Estudio de multiplicación, requerimientos hídricos y de fertilización de diferentes especies aromáticas y medicinales de interés comercial actual. Centro: IRTA. Centro de Cabriels. España. 20p.

Caldwell, M. M., 1981. Plant response to solar ultraviolet radiation. In: Lange, O. L., Nobel, P. S., Osmond, C. B., Ziegler, H. (Eds.). *Encyclopedia of plant Physiology, Physiological Plant Ecology*, Springer – Verlag, Berlin. 12A (1): 169:197.

Cañigeral S. y Vanaclocha B. 2000. Usos terapéuticos del tomillo. *Revista de fitoterapia* (I): 5-13.

Carrasco L. 2009. Efecto de la radiación ultravioleta-b en plantas. *IDESIA*. 27 (3): 59-76.

Castañeda M., Muñoz A., Martínez J. y Stanshenko E. 2007. Estudio de la composición química y la actividad biológica de los aceites esenciales de diez plantas aromáticas Colombianas. *Scientia et Technica* Año XIII (33), Mayo de 2007. UTP. ISSN 0122-1701

Castro D., Díaz J., Serna R., Martínez M., Urrea P., Muñoz K., Osorio E. 2013. Cultivo y producción de plantas aromáticas y medicinales. UCO (Universidad Católica de Oriente). Medellín, Colombia. 94p.

CCB (Cámara de Comercio de Bogotá). 2010. Impacto del TLC en Bogotá-Cundinamarca La cadena de productos hortofrutícolas. Presentación para la Cámara de Comercio de Bogotá. Marzo de 2007.

Cechin I., de Jesus V. and de Fátima T. 2012. Sensitivity of yellow passion fruit to ultraviolet-B radiation. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília. 47(10): 1422-1427.

Cisneros L. 2003. The Use of Controlled Postharvest Abiotic Stresses as a Tool for Enhancing the Nutraceutical Content and Adding-Value of Fresh Fruits and Vegetables. *Journal of food science*. 68 (5): 1560-1565.

De Lisi A., Tedone L., Montesano V., Sarli G. and Negro D. 2011. Chemical characterisation of *Thymus* populations belonging from Southern Italy. *Food Chemistry*. 125: 1284–1286.

Dolzhenko Y., Berteza C.M., Occhipinti A., Bossi S. y Maffei M. 2010. UV-B modulates the interplay between terpenoids and flavonoids in peppermint (*Mentha piperita* L.). *Journal of Photochemistry and Photobiology Biology*. 100: 67–75.

dos Santos L., Leal M., Aragao E., Rodrigues V., Frazao M., Soares S., Schwartz C. 2015. Ultraviolet-B radiation effects on phenolic profile and flavonoid content of *Kalanchoe pinnata*. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*. 148: 73–81.

Echeverrigaray S., Agostini G., Atti-Serfi ni L., Paroul N., Pauletti G.F. y dos Santos A.C. 2001. Correlation between the chemical and genetic relationships among commercial thyme cultivars. *J Agric Food Chem*. 49: 4220-4223.

Eljarrat E., Caixach J. y Rivera J. 2000. Extraction of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans from solid samples using the Randall technique. *Chemosphere* 40: 187-193.

Esquivel F., y Vargas P. 2007. Uso de aceites esenciales extraídos por medio de fluidos supercríticos para la elaboración de alimentos funcionales. *Rev Tec en Marcha*. 20(4): 41-50.

ETSIA. 2007. PFC07-VPT- Proyecto de investigación de los antioxidantes del tomillo. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica. 88p

Flores M. C. 2010. Tesis investigación de los aceites esenciales, sus características y finalidad de uso. Análisis del estado de su regulación en Chile y el mundo. Universidad de Chile Facultad de ciencias químicas y farmacéuticas Departamento de química farmacológica y toxicológica. 87p.

Graham T. L. 1998. Flavonoid and flavonol glycoside metabolism in *Arabidopsis*. *Plant Physiol. Biochem*. 36 (1-2):135-144.

Greenberg B.M., Wilson M., Gerhardt K. and Wilson K. 1996. Morphological and Physiological Responses of *Brassica napus* to Ultraviolet-B Radiation: Photo modification of Ribulose-1, 5-bisphosphate Carboxylase/Oxygenase and Potential Acclimation Processes. J Plant Physiol. WJI. 148: 78-85.

Gil E. y Sáenz A. 2005. Evaluación a escala de planta piloto del proceso industrial para la obtención de aceite esencial de cardamomo, bajo la filosofía “cero emisiones”. Grupo de investigación procesos ambientales y biotecnológicos -GIPAB-, Cuaderno 30: 42p.

Guillén M. D. and Manzanos M. J. 1998. Study of the composition of the different parts of a Spanish *Thymus vulgaris* L. plant. Food Chemistry, 63 (3): 373-383.

Giraldo H. y Gómez J. 2012. Las hierbas aromáticas consolidan su fortaleza exportadora en Estados Unidos y Europa. Ministerio de Agricultura y desarrollo rural. 22p.

Giusti M. y Wrolstad R. 2001. Characterization and Measurement of Anthocyanins by UV-Visible Spectroscopy. En: Wrolstad RE, editor. Current Protocols in Food Analytical Chemistry. New York: John Wiley & Sons, Inc: F1.2.1-F1.2.13p.

Gómez M.I. 2005. Guía técnica para el manejo nutricional de los cultivos: Diagnóstico, interpretación y recomendación de planes de fertilización. Microfertisa 52p.

Gorriti A., Arroyo J., Negron L., Jurado B., Purizaca H., Santiago I., Taype E. y Quispe F. 2009. Antocianinas, fenoles totales y actividad antioxidante de las corontas del maíz morado (*Zea mays* L.): Método de extracción. Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas, 8 (6): 509 – 518.

Guenther E. 1949. The essentials oils. Vol (III). xxx p.

Gutiérrez A., Arroyo J., Negron L., Jurado B., Purizaca H., Santiago I., Taype E. y Quispe F. 2009. Antocianinas, fenoles totales y actividad antioxidante de las corontas del maíz morado (*Zea mays* L.): Método de extracción. Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas, 8 (6): 509 – 518.

Habib M., Kamal H., Wissam I., Al Dhaheri A.S. 2013. Carotenoids, fat soluble vitamins and fatty acid profiles of 18 varieties of date Seed oil. Rev. Industrial Crops and Products. 42: 567– 572.

Hamdy M. H., Atef M., Selima K., Khalel I. 2013. Evaluation of antioxidant activity total phenols and phenolic compounds in thyme (*Thymus vulgaris* L.), sage (*Salvia officinalis* L.), and marjoram (*Origanum majorana* L.) extracts. Industrial Crops and Products 43 (2013) 827– 831

Hampe A. y Jump A. 2011. Climate Relicts: Past, Present, Future. Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst. 42: 313–333.

Handan A. Molva C. y Unluturk S. 2013. UV-C light inactivation and modeling kinetics of *Alicyclobacillus acidoterrestris* spores in white grape and apple juices. *International Journal of Food Microbiology*. 166: 494–498.

Harborne J.B. 1989. General procedures and measurement of total phenolics. In *Methods in Plant Biochemistry*, vol. 1, eds. P.M. Dey y J.B. Harborne, Academic Press: 1-28.

Hazzit M., Baaliouamer A., Veríssimo A.R., Faleiro M.L. y Miguel M.G. 2009. Chemical composition and biological activities of Algerian *Thymus* oils. *Food Chemistry*. 116: 714–721.

Heideg H. y Vass I. 1996. UV-B induced free radical production in plant leaves and isolated thylakoid membranes. *Plant Science*. 115: 251 -260.

Hidema J. and Kumagai T. 2006. Sensitivity of Rice to Ultraviolet-B Radiation. *Annals of Botany*. 97: 933–942.

Hollósy F. 2002. Effects of ultraviolet radiation on plant cells. *Micron*. 33: 179-197.

Hudaib M., Speroni E., Di Pietra A. M. and Cavrini V. 2002. GC/MS evaluation of thyme (*Thymus vulgaris* L.) oil composition and variations during the vegetative cycle. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*. 29: 691–700.

Inostroza C., Reyes M., Arellano A., Latsague M., Acevedo P., Loyola R. Arce P. and Alberdi M. 2014. Effects of UV-B radiation on anatomical characteristics, phenolic compounds and gene expression of the phenylpropanoid pathway in highbush blueberry leaves. *Plant Physiology and Biochemistry*. 85: 85-95.

Jaafari A., Ait H., Rakib E., Ait L., Tilaoui M., Benbakhta C., Boulli A., Abbad A. y Ziad A. 2007. Chemical composition and antitumor activity of different wild varieties of Moroccan thyme, *Revista Brasileira de Farmacognosia Brazilian Journal of Pharmacognosy*. 17(4): 477-491.

Jacobs W. and Elderfield R. 1938. The terpenes, saponins, and closely related compounds. *Annu. Rev. Biochem.* 7: 449-472.

Jacovides C., Tymvios F., Asimakopoulos D., Kaltsounides N., Theoharatos G. y Tsitouri M. 2009. Solar global UVB (280–315 nm) and UVA (315–380 nm) radiant fluxes and their relationships with broadband global radiant flux at an eastern Mediterranean site. *Agricultural and Forest Meteorology*. 149: 1188–1200.

Jansen M., Hectors K., O'Brien N., Guisez Y. and Potters G. 2008. Plant stress and human health: Do human consumers benefit from UV-B acclimated crops?. *Plant Science*. 175: 449–458.

Joo S. L., Umano K., Shibamoto T. y Geun K. L. 2005. Identification of volatile components in basil (*Ocimum basilicum* L.) and thyme leaves (*Thymus vulgaris* L.) and their antioxidant properties. *Food Chemistry*. 91:131–137

Jordán M.J. Martínez M.A., Goodner K.L. Baldwin E. A. Sotomayor J.A. 2006. Seasonal variation of *Thymus hyemalis* Lange and Spanish *Thymus vulgaris* L. essential oils composition. *Industrial Crops and Products*. 24: 253–263.

Karousou R., Grammatikopoulos G., Lanaras T., Manetas Y. y Kokkini S. 1998. Effects of enhanced UV-B radiation on *Mentha spicata* essential oils. *Phytochemistry*. 49 (8): 2273-2277.

Klem K., Ac A., Holuba P., Kovaca D., Spundaa V., Robsonb M. y Urbana O. 2012. Interactive effects of PAR and UV radiation on the physiology, morphology and leaf optical properties of two barley varieties. *Environmental and Experimental Botany*. 75: 52– 64.

Kudish A., Harari M., Evseev F. 2011. The solar ultraviolet B radiation protection provided by shading devices with regard to its diffuse component. *Photodermatology, Photoimmunology & Photomedicine*. 27: 236–244.

Kumari R., Agrawal S.B., Singh S. and Dubey N. K. 2009. Supplemental ultraviolet-B induced changes in essential oil composition and total phenolics of *Acorus calamus* L. (sweetflag). *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 72: 2013–2019.

Kuskoski M. E., Asuero A., Troncoso A., Mancini K. y Fett R. 2005. Aplicación de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante en pulpa de frutos. *Ciênc. Tecnol. Aliment., Campinas*. 25(4): 726-732.

Lee S., Umamo K., Shibamoto T. y Lee K. 2005. Identification of volatile components in basil (*Ocimum basilicum* L.) and thyme leaves (*Thymus vulgaris* L.) and their antioxidant properties *Food Chemistry*. 91:131–137.

Letchamo W. XuH.L. y Gosselin A. 1995. Photosynthetic potential of *Thymus vulgaris* selections under two light regimes and three soil water levels. *Scientia Horticulturae*. 62: 89-101.

Lock O., Cabello I., y Doroteo V. 2006. Análisis de Flavonoides en Plantas, Pontificia Universidad Católica del Perú; Departamento de Ciencias – Sección Química, Lima – Perú.

Luis J., Pérez R. y González F. 2007. UV-B radiation effects on foliar concentrations of rosmarinic and carnosic acids in rosemary plants. *Food Chemistry*. 101: 1211–1215.

Martínez A. 2003. Aceites esenciales. Universidad de Antioquia Facultad Química Farmacéutica. Medellín, 34p.

Martínez A. 2005. Flavonoides. Universidad de Antioquia, Facultad de Química Farmacéutica, Medellín. 76p

Martínez S., González J., Culebras J. y Tuñón M. 2003. Los flavonoides: propiedades y acciones antioxidantes. Departamento de Fisiología, Universidad de León y Hospital de León. España, Nutr. Hosp. 17 (6): 271-278.

Meier U. 2001. Estadios de las plantas mono y dicotiledóneas (Escala BBCH). Centro Federal de Investigaciones Biológicas para Agricultura y Silvicultura. Alemania. 2 Ed. 149p.

Miranda J., Armas C., Padilla F y Pugnaire F. 2011. Climatic change and rainfall patterns: Effects on semi-arid plant communities of the Iberian Southeast. Journal of Arid Environments. 75: 1302-1309.

Mukhopadhyay S., Ukukub D. O., Junejaa V. y Fan X. 2014. Effects of UV-C treatment on inactivation of Salmonella enterica and Escherichia coli O157:H7 on grape tomato surface and stem scars, microbial loads, and quality. J. Food Control. 44: 110-117.

Namdeo A. G. 2007. Plant Cell Elicitation for Production of Secondary Metabolites: A Review. Pharmacognosy Reviews. 1 (1): 69-79.

Nickavar B. and Esbati N. 2012. Evaluation of the Antioxidant Capacity and Phenolic Content of Three Thymus Species. J Acupunct Meridian Stud. 5(3):119-125.

O`Farrill H. y Medina S. 2007. Las plagas comunes del jardín – Identificación y manejo integrado. Universidad de Puerto Rico. 116p.

Parra A. 2007. Técnicas de almacenamiento y conservación de frutas y hortalizas frescas. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de ingeniería, Departamento de Ingeniería Agrícola. Bogotá D.C. 120-131p.

Pérez C.P., Ulrichs, C., Huyskens-Keil, S., Schreiner, M., Krumbein, A., Schwarz, D. and Kläring, H.P. 2009. Composition of carotenoids in tomato fruits as affected by moderate UV-B radiation before harvest. Acta Hort. (ISHS). 821: 217-222.

Pérez C.P., Ulrichs, C., Huyskens-Keil, S. 2010. Physiologische veränderungen in fruchten der Solanaceaengewächse in Abhängigkeit von physikalischen elicitoren während der production und nach der Ernte. Humnoldt – Universität zu Berlin. ISBN 978-3-86247-066-2.1-115.

Pichersky E and Lewinsohn E. 2011. Convergent Evolution in Plant Specialized Metabolism. Annu. Rev. Plant Biol. 62: 549–66.

PNUMA. 2005. Cambio Climático: Proyecto ciudadanía ambiental global. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente 33p.

Qaderi M., Reid D. y Yeung E. 2007. Morphological and physiological responses of canola (*Brassica napus*) siliques and seeds to UVB and CO₂ under controlled environment conditions Environmental and Experimental Botany. 60: 428–437.

Ramírez R. A., Herrera A. y Pérez C. P. 2013. Effect of the application of physical elicitors during the post-harvest in mint and rosemary essential oils. VII congreso ibérico de Agroingeniería y ciencias hortícolas. SEAgIng- SECH. Madrid España.

Ramírez R.A, Herrera A.O y Pérez C. P. 2014. Effect of the application of physical elicitors in dry matter in thyme plants (*Thymus vulgaris* L.). Rev. Fac. Agr. Univ. Nac. Medellín. 67 (2): 327-330.

Reifenrath K y Müller C. 2007. Species-specific and leaf-age dependent effects of ultraviolet radiation on two Brassicaceae. *Phytochemistry*. 68: 875–885.

Rivas M., Rojas E. and Madronich S. 2008. Aumento del índice solar ultravioleta con la altura. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*. 16 (2): 383-388.

Rodrigues G.C., Jansen M., van den Noort y van Rensen J. 2006. Evidence for the semireduced primary quinone electron acceptor of photosystem II being a photosensitizer for UVB damage to the photosynthetic apparatus. *Plant Science*. 170: 283–290.

Rodríguez L.A., Ortiz Y., Ochoa Y.P. Barrero A., Ramírez D., Montañó G., Ramírez R.A., Parada F. y Pérez C.P. 2014a. Effect of Application of UV-B Radiation in the essential oil of mint (*Mentha spicata* L.). XV congreso latinoamericano de cromatografía y técnicas afines COLACRO 2014. Cartagena, Colombia. Septiembre de 2014.

Rodríguez L.A., C.A. Galvis, Y. Ortiz, R.A. Ramírez, F. Parada, C.P. Pérez. 2014b. Influence of UV-B radiation in the chemical composition of the oil essential rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.). XV congreso latinoamericano de cromatografía y técnicas afines COLACRO 2014. Cartagena, Colombia. Septiembre de 2014.

Ruiz C.A. 2008. Estudio de los metabolitos secundarios volátiles de *Lippia origanoides* H.B.K., en tres estados fenológicos. Tesis Universidad Industrial de Santander, facultad de ciencias, escuela de química. Bucaramanga, 140p.

Sanjay S., Kataria S., Pandey G.P. and Guruprasad K. 2011. Intraspecific variation in sensitivity to ambient ultraviolet-B radiation in growth and yield characteristics of eight soybean cultivars grown under field conditions. *Braz. J. Plant Physiol.* 23(3): 197-202.

Sanjay S., Kataria S., Pandey P. and Guruprasad K. 2014. Growth, photosynthesis and nitrogen metabolism in soybean varieties after exclusion of the UV-B and UV-A/B components of solar radiation. *The crop journal*: 388–397.

Sánchez F. 2006. Extracción de aceites esenciales, experiencia Colombiana. II congreso internacional de plantas medicinales y aromáticas, Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira. 8p.

Santana O., Cabrera R., Giménez C., González A., Sánchez R., Pascual M., Rodríguez M., Laserna I., Usano J. y Herraiz D. 2012. Perfil químico y biológico de aceites esenciales de plantas aromáticas de interés agro-industrial en Castilla-La Mancha (España). *Rev. Grasas y aceites*. 63 (2): 214-222.

Sárosi S., Sipos L., Kókai Z., Pluhár Z., Szilvássy B. and Novák I. 2013. Effect of different drying techniques on the aroma profile of *Thymus vulgaris* analyzed by GC–MS and sensory profile methods. *Industrial Crops and Products*. 46: 210-216.

Schreiner M. y Huyskens S. 2006. Phytochemicals in fruit and vegetables: Health promotion and postharvest elicitors. *Chemical Reviews in plant sciences*. 25: 267-278.

Selmi S. y Sadok S. 2008. The effect of natural antioxidant (*Thymus vulgaris* Linnaeus) on flesh quality of tuna (*Thunnus thynnus* Linnaeus) during chilled storage, *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*. 3 (1): 36-45.

Shu X. 1994. THYMUS Linnaeus, Sp. *Flora of China* (17): 233–236.

Slaughter S. y Delwiche L. 2010. *The Little SAS (Statistical Analysis System) Book for Enterprise Guide 4.2*. 2010. SAS Institute.

Souza Brito, A. R. M. 1995. *Farmacologia de plantas medicinais*. En: Staci, L. C. *plantas medicinais: arte e ciencia. Um guia de estudo interdisciplinar*. UNESP. 87:97.

Stratman J. 2003. Ultraviolet-B radiation co-opts defense signaling pathways. *TRENDS in Plant Science*. 8: 526-533.

Szumy A., Figiel A., Gutierrez-Ortiz A. and Carbonell-Barrachina A. 2010. Composition of Rosemary essential oil (*Rosmarinus officinalis*) as affected by drying method. *Journal of Food Engineering*. 97: 253-260.

Taghi G. M. y Razaee K. 2008. Comparison of microwave-assisted hydrodistillation with the traditional hydrodistillation method in the extraction of essential oils from thymus vulgaris L. *Food Chemistry*. 109: 925-930.

Taiz, I., and Zeiger, E. *Plant Physiology*. Boston: Sinauer Associates, 2002, p.p. 171-175.

Tittmann S. 2010. Influence of different light qualities on leaf growth and biomass development of horticultural and model plants. *Kumulative Dissertation-zur Erlangung des Doktorgrades der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät. der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf* . 119p.

Tropicos.org. 2013. Missouri Botanical Garden. Consultado 21 Nov 2013 Disponible EN: <<http://www.tropicos.org/Name/17600443>>.

Turtola S., Sallas L., Holopainen J., Julkunen R. and Kainulainen. 2006. Long-term exposure to enhanced UV-B radiation has no significant effects on growth or secondary compounds of outdoor-grown Scots pine and Norway spruce seedlings. *Environmental Pollution*. 144: 166-171.

UPM. 2013. Tema 7: Uso industrial de plantas aromáticas y medicinales, Universidad politécnica de Madrid, 66-75.

Velasco A. Perez J. 1987. Aceites esenciales de tomillos ibéricos. v. contribución al conocimiento del aceite esencial de *Thymus camphoratus* Hoffmanns. & Link. Anales Jardín Botánico de Madrid. 43(2): 383-386.

Venskutonis P. R. 1997. Effect of drying on the volatile constituents of thyme (*Thymus vulgaris* L.) and sage (*Salvia officinalis* L.). *Food Chemistry* 59 (2): 219-227.

Verdeguer S. 2011. Fitotoxicidad de aceites esenciales y extractos acuosos de plantas mediterráneas para el control de arvenses. Tesis Universitat Politècnica de València escuela técnica superior de ingeniería agronómica y del medio natural, departamento de ecosistemas agroforestales. 224p.

Villanueva J. E., Condezo L. y Ramírez E. 2010. Antocianinas, ácido ascórbico, polifenoles totales y actividad antioxidante en la cáscara de camu-camu (*Myrciaria dubia* (H.B.K) McVaugh. *Cienc. Tecnol. Aliment.* 30 (1): 151-160.

Vurro E., Bruni R., Bianchi A. and Sanità L. 2009. Elevated atmospheric CO₂ decreases oxidative stress and increases essential oil yield in leaves of *Thymus vulgaris* grown in a mini-FACE system. *Environmental and Experimental Botany*. 65: 99–106.

Wang G. y Schimel D. 2003. Climate change, climate modes, and climate impacts. *Annu. Rev. Environ. Resour.* 28: 1–28.

Wiermann R. 1981. Secondary plant products and cell and tissue differentiation. *The Biochemistry of Plants*. 7: 85-116.

Wilches I., Carrillon A. y García C. 2010. Preparación de extractos vegetales: determinación de eficiencia de métodos. Universidad de Cuenca facultad de ciencias químicas escuela de bioquímica y farmacia, 138p.

Williams B., Cuvelier M. y Berset C. 1995. Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. *Lebensm. Wiss. Technol.* 22: 25-30.

Yun J., Yan R., Fan X., Gurtler J. and Phillips J. 2013. Fate of *E. coli* O157:H7, *Salmonella* spp. and potential surrogate bacteria on apricot fruit, following exposure to UV-C light. *International Journal of Food Microbiology*. 166: 356–363.

A. Anexo A: Revisión de los compuestos identificados en los extractos de tomillo especie *Thymus vulgaris* L en diferentes estudios y locaciones mundiales.

	Método/número de compuestos identificados	CG-EM (71)	CG-EM (64)	CG-EM (165)	CG-EM (44)	CG-EM (135)	CG-EM (98)	CG-EM (29)	CG-EM (19)
Clasificación	Compuesto	Venskutonis, 1997	Bhaskara et al., 1998	Guillén y Manzanos, 1998	Hudaib et al., 2002	Joo et al., 2005	Jordán et al., 2006	Vurro et al., 2009	De Lisi et al., 2011
Monoterpene hydrocarbons	α -pinene	1	1	1	1	0	1	1	1
	α -thujene	1	1	1	1	0	1	1	0
	camphene	1	1	1	1	0	1	1	1
	β -pinene	1	1	1	1	0	1	1	1
	sabinene	1	1	1	1	0	1	1	0
	α -terpinene	1	1	0	1	1	1	1	1
	α -phellandrene	1	0	0	1	0	1	1	0
	β -phellandrene	1	1	0	0	0	0	0	0
	p-cymene	1	1	1	1	1	1	1	1
	γ -terpinene	1	1	1	1	1	1	1	0
	terpinolene	1	1	0	1	1	1	1	0
	δ -3-carene	1	0	0	0	0	0	0	0
	tricyclene	1	0	1	0	0	1	0	0
	cis-Hex-3-en-1-ol	1	0	0	0	0	0	0	0
	limonene	1	0	1	1	0	0	0	0
	(Z)-limonene oxide	0	0	0	0	0	1	0	0
	(E)-limonene oxide	0	0	0	0	0	1	0	0
	octen-1-3-ol	1	0	0	1	0	0	1	0
	myrcene	1	0	0	1	0	1	0	1
	β -myrcene	0	1	1	0	0	0	0	0
	d-limonene	0	1	0	0	0	0	0	0
3-carene	0	1	0	1	0	1	0	0	
alloocimene	0	0	1	0	0	0	0	0	
p-cymenene	0	1	0	0	0	0	0	0	
p-cymen-8-ol	1	0	0	0	1	1	0	0	
verbenene	0	0	0	0	0	1	0	0	
Oxygenated monoterpenes	1,8-cineole	1	1	1	1	1	1	1	0
	5-one-1,8-cineole	0	0	1	0	0	0	0	0
	5-hydroxy-1,8-cineole	0	0	1	0	0	0	0	0
	camphor	1	1	1	1	1	1	1	0
	linalool (3,7-Dimethyl-1,6-octadien-3-ol)	1	1	1	1	1	1	1	1
	linalool cis-furanoid	0	0	0	0	1	0	0	0

Evaluación del efecto de la aplicación de radiación UV-B durante la poscosecha en la calidad de los extractos de tomillo (*Thymus vulgaris* L.)

linalool oxide cis-furanoid	0	0	0	0	1	0	0	0
linalool trans-furanoid	0	0	0	0	1	0	0	0
linalool oxide trans-furanoid	0	0	0	0	1	0	0	0
linalool oxide cis-pyranoid	0	0	0	0	1	0	0	0
linalool oxide trans-pyranoid	0	0	0	0	1	0	0	0
(Z)-linalool oxide	0	0	0	0	0	1	0	0
epoxylinalool	0	0	1	0	0	0	0	0
epoxylinalool (isomer)	0	0	1	0	0	0	0	0
cis-linalool oxide	0	0	1	0	0	0	0	0
trans-linalool oxide	0	0	1	0	0	0	0	0
linalyl acetate	1	1	1	0	1	0	0	0
isoborneol	1	1	0	0	0	1	0	0
borneol	0	0	0	0	0	1	0	0
endo-borneol	0	0	1	0	0	0	0	0
terpinen-4-ol	1	1	1	1	1	1	1	0
α -terpineol	1	1	1	1	1	1	1	1
d-terpineol	0	0	0	0	1	0	0	0
γ -terpineol	0	0	0	0	0	1	0	0
terpinen-1-ol	0	0	0	0	1	0	0	0
bornyl acetate	1	1	0	0	1	1	0	0
endo-bornyl acetate	0	0	1	0	0	0	0	0
endo-bornyl propanoate	0	0	1	0	0	0	0	0
endo-bornyl butanoate (isomer)	0	0	1	0	0	0	0	0
endo-bornyl isobutanoate	0	0	1	0	0	0	0	0
trans-p-menth-2-en-1-ol	0	0	0	0	1	0	0	0
cis-p-menth-2-ene- 1,8-diol	0	0	1	0	0	0	0	0
trans-p-menth-2-ene-1,8-diol	0	0	1	0	0	0	0	0
thymol (2-Isopropyl-5-methylphenol)	1	1	1	1	1	1	1	1
thymol methyl ether	1	0	0	1	0	0	1	0
carvacrol (2-Isopropyl-2-methylphenol)	1	1	1	1	1	1	1	1
carvacrol methyl ether	1	0	0	1	0	0	1	0
cis-pinocamphone	0	1	0	0	0	0	0	0
trans-p-2-menthen-1-ol	0	1	0	0	0	0	0	0
trans-pinocamphone	0	1	0	0	0	0	0	0
verbenol	0	1	0	0	0	0	0	0
cis-p-2-menthen- 1-ol	0	1	0	0	0	0	0	0
tolyldimethylcarbinol	0	1	0	0	0	0	0	0
isobomyl acetate	1	0	0	1	0	0	0	0

trans-sabinene hydrate	1	0	1	0	1	0	1	0
cis-sabinene hydrate	1	0	0	0	0	0	0	0
<i>E</i> -sabinene hydrate	0	0	0	1	0	1	0	0
(<i>Z</i>)-sabinene hydrate	0	0	0	0	0	1	0	0
ocimene oxide	0	0	0	0	1	0	0	0
cis ocimene	0	0	1	0	0	0	1	0
cis β ocimene	1	0	0	0	0	1	0	0
trans-ocimene	0	0	1	0	0	0	0	0
trans β ocimene	1	0	0	0	0	1	0	0
menthol	0	0	0	0	0	0	0	1
L-menthol	0	0	0	0	1	0	0	0
menthone	1	0	0	0	0	0	0	0
isomenthone	1	0	0	0	0	0	0	0
citral	0	0	0	0	0	0	0	1
α -citral	0	0	0	0	1	0	0	0
carvone	1	0	0	0	0	1	0	0
L-carvone	0	0	0	0	1	0	0	0
citronellol	1	0	0	0	1	0	0	1
β -citronellol	0	0	1	0	0	0	0	0
nerol	1	0	0	0	1	1	0	0
neral	1	0	0	0	0	1	0	0
carveol	0	0	0	0	0	1	0	0
trans-carveol	0	0	1	0	1	0	0	0
geraniol	1	0	0	0	1	1	0	1
geranial	1	0	0	0	0	1	0	0
carvacryl methyl ether	0	0	0	0	1	0	0	0
Exo-methylcamphenilol	0	0	0	0	1	0	0	0
cis-dihydrocarvone	1	0	0	0	1	0	0	0
dihydrocarvone	0	0	0	0	0	1	0	0
hotrienol	0	0	0	0	1	0	0	0
trans-pinocarveol	0	0	1	0	1	0	0	0
lavandulol	0	0	0	0	1	0	0	0
trans-verbenol	0	0	0	0	1	0	0	0
(<i>Z</i>)-verbenol	0	0	0	0	0	1	0	0
(<i>E</i>)-verbenol	0	0	0	0	0	1	0	0
p-menth-1,8-dien-4-ol	0	0	0	0	1	0	0	0
terpinyl formate	0	0	0	0	1	0	0	0
verbenone	0	0	0	0	1	1	0	0
Exo-2-hydroxycineole acetate	0	0	0	0	1	0	0	0

Evaluación del efecto de la aplicación de radiación UV-B durante la poscosecha en la calidad de los extractos de tomillo (*Thymus vulgaris* L.)

	dihydrocarveol	0	0	0	0	1	0	0	1
	trans-piperitol	0	0	0	0	1	0	0	0
	myrtenol	0	1	1	0	1	0	0	0
	guaiacol	0	0	0	0	1	0	0	0
	Exo-2-hydroxycineole	0	0	0	0	1	0	0	0
	piperitenone	0	0	0	0	1	0	0	0
	L-perillyl alcohol	0	0	0	0	1	0	0	0
	cuminy alcohol	0	1	1	0	1	0	0	0
	1,7-exo-trimethylenebicyclo[3.2.1]octane	0	0	1	0	0	0	0	0
	cis-p-menth-2-en-1-ol	0	0	1	0	0	0	0	0
	α -campholene aldehyde	0	0	1	0	0	0	0	0
	pulegone	0	0	0	0	0	0	0	1
	isopulegone	0	0	1	0	0	0	0	0
	1-isopulegol	0	0	0	0	0	0	0	1
	trans-sobrerol	0	0	1	0	0	0	0	0
	4-trimethyl-5-hydroxy-3-cyclohexene-1-methanol	0	0	1	0	0	0	0	0
	cis-p-menthenediol (isomer)	0	0	1	0	0	0	0	0
	vanillin	0	0	1	0	0	0	0	0
	1,2-dimethoxy-4-(2-propenyl)-benzene	0	0	1	0	0	0	0	0
	8-hydroxycarvotanacetone	0	0	1	0	0	0	0	0
	p-menthane-1,2,4-triol	0	0	1	0	0	0	0	0
	p-menthanetriol	0	0	1	0	0	0	0	0
Sesquiterpene hydrocarbons	δ -cadinene	1	1	0	1	1	1	1	0
	γ -cadinene	1	0	1	1	0	1	1	0
	α -copaene	0	1	0	1	0	1	0	0
	α -gurjunene	0	1	1	0	0	0	0	0
	caryophyllene	0	1	0	0	0	0	0	0
	isocaryophyllene	0	0	1	0	0	0	0	0
	α -caryophyllene	0	1	0	0	0	0	0	0
	β -caryophyllene	1	0	0	1	0	0	1	0
	(E)-caryophyllene	0	0	0	0	0	1	0	0
	germacrene B	0	0	1	0	0	0	0	0
	germacrene D	1	0	0	1	0	0	1	0
	germacrene D isomer 1	0	0	0	1	0	0	0	0
	aromadendrene	0	1	1	0	0	1	0	0
	dehydroaromadendrene	0	0	0	0	1	0	0	0
	trans-caryophyllene	0	0	1	0	0	0	0	1

α -selinene	0	1	0	0	0	0	0	0	
β -selinene	0	1	0	0	0	1	0	0	
δ -selinene	0	0	0	0	1	0	0	0	
calamenene	0	1	1	0	0	0	0	0	
trans-calamenene	1	0	0	0	0	0	0	0	
β -cubebene	0	0	0	0	1	0	0	0	
valencene	0	0	0	1	1	1	0	0	
α -amorphene	0	0	0	0	1	0	0	0	
γ -muurolene	1	0	0	1	0	0	0	0	
α -muurolene	1	1	0	1	0	0	0	0	
epi, α -muurolol	0	0	0	0	0	0	1	0	
epi, α -cadinol	0	0	0	0	0	0	1	0	
β -bisabolene	1	1	0	0	0	0	0	0	
(Z)- α -bisabolene	0	0	0	0	0	1	0	0	
β -bourbonene	0	0	1	0	0	0	0	0	
bourbonene	0	0	0	1	0	0	0	0	
caryophyllenol II	0	0	1	0	0	0	0	0	
calarene	0	0	1	0	0	1	0	0	
calarene epoxide	0	0	1	0	0	0	0	0	
aristolene epoxide	0	0	1	0	0	0	0	0	
torreyol	0	0	1	0	0	0	0	0	
7-acetyl-2-hydroxy-2-methyl-5-isopropylbicyclo[4.3.0]nonane	0	0	1	0	0	0	0	0	
1,2,3,4,4a,5,6,8a-octahydro-7-methyl-4-methylene-1-(1-methylethyl)-naphthalene	0	0	1	0	0	0	0	0	
α -bergamotene	0	0	1	0	0	0	0	0	
farnesene	0	0	1	0	0	0	0	0	
[cis]- α -trans-bergamotene	1	0	0	0	0	0	0	0	
Oxygenated sesquiterpenes	caryophyllene oxide	1	1	0	1	1	1	1	0
	Mayurone	0	1	0	0	0	0	0	0
	carotol	0	1	0	0	0	0	0	0
	ledol	0	1	0	0	0	0	0	0
	globulol	0	1	0	0	0	0	0	0
	guaiol	0	1	0	0	0	0	0	0
	<i>cis</i> - α -copaene-8-ol	0	1	0	0	0	0	0	0
	spathulenol	0	1	1	1	1	1	0	0
	α -eudesmol	0	0	0	0	1	0	0	0
	β -eudesmol	0	1	1	0	1	0	0	0
	γ -eudesmol	1	0	0	1	0	0	0	0
	α -humulene	1	0	1	1	0	1	0	0

Evaluación del efecto de la aplicación de radiación UV-B durante la poscosecha en la calidad de los extractos de tomillo (*Thymus vulgaris* L.)

	α -humulene oxide	0	0	0	0	1	0	0	0
	viridiflorol	1	0	1	0	1	0	0	0
	α -cadinol	0	0	0	1	1	0	0	0
	T-cadinol	1	0	0	0	0	0	0	0
	T-murolol	0	0	0	0	1	0	0	0
	β -bisabolol	0	0	0	0	1	0	0	0
	β -bisabolol isomer	0	0	0	0	1	0	0	0
	isopathulenol	0	0	0	0	1	0	0	0
	caryophylla-4	0	0	0	0	1	0	0	0
	8(13)-dien-5 β -ol	0	0	0	0	1	0	0	0
	dihydroactinidiolide	0	0	0	0	1	0	0	0
	caryophylla-3	0	0	0	0	1	0	0	0
	8(13)-dien-5 α (or β)-ol	0	0	0	0	1	0	0	0
	elemol	0	0	1	0	1	0	0	0
	allo-aromadendrene	1	0	1	1	0	1	0	0
	elemene	0	0	0	0	0	1	0	0
	β -elemene	1	0	0	0	0	0	0	0
	hedycaryol	0	0	1	0	0	0	0	0
	aristolone	0	0	1	0	0	0	0	0
Aliphatic alcohols	1-penten-3-ol	0	0	0	0	1	1	0	0
	3-methyl-3-buten-1-ol	0	0	0	0	1	0	0	0
	(Z)-2-pentenol	0	0	0	0	1	0	0	0
	3-methyl-2-buten-1-ol	0	0	0	0	1	1	0	0
	hexanol	0	0	0	0	1	1	0	0
	(Z)-3-hexenol	0	0	0	0	1	1	0	0
	3-octanol	1	0	0	0	1	1	0	0
	cyclohexanol	0	0	0	0	1	0	0	0
	1-octen-3-ol	0	1	0	0	1	1	0	0
	3-methyl-3-buten-2-ol	0	0	0	0	0	1	0	0
	butanol	0	0	0	0	0	1	0	0
	3-methyl-1-butanol	0	0	0	0	0	1	0	0
	3-penten-2-ol	0	0	0	0	0	1	0	0
	(E)-2-hexen-1-ol	0	0	0	0	0	1	0	0
	fenchol	0	0	0	0	0	1	0	0
	(E)-pinocarveol	0	0	0	0	0	1	0	0
	isopulegol	1	0	0	0	0	0	0	0
	trans-nerolidol	1	0	0	0	0	0	0	0
	farnesol	1	0	0	0	0	0	0	0
	methylchavicol	1	0	0	0	0	0	0	0

	octanol	0	0	0	0	1	0	0	0
Acids	tetradecanoic acid	0	0	1	0	0	0	0	0
	hexadecanoic acid	0	0	1	0	0	0	0	0
	9,12-octadecadienoic acid	0	0	1	0	0	0	0	0
	9-octadecenoic acid	0	0	1	0	0	0	0	0
	octadecanoic acid	0	0	1	0	0	0	0	0
	eicosanoic acid	0	0	1	0	0	0	0	0
Aliphatic aldehydes	hexanal	0	0	0	0	1	0	0	0
	(E)-2-hexenal	0	0	0	0	1	1	0	0
	(E,Z)-2,4-heptadienal	0	0	0	0	1	0	0	0
	2-methyl-butanal	0	0	0	0	0	1	0	0
	ventanal	0	0	0	0	0	1	0	0
	heptanal	0	0	0	0	0	1	0	0
	eicosanal	0	0	1	0	0	0	0	0
	docosanal	0	0	1	0	0	0	0	0
	tricosanal	0	0	1	0	0	0	0	0
	tetracosanal	0	0	1	0	0	0	0	0
	pentacosanal	0	0	1	0	0	0	0	0
	hexacosanal	0	0	1	0	0	0	0	0
	heptacosanal	0	0	1	0	0	0	0	0
	octacosanal	0	0	1	0	0	0	0	0
	triacontanal	0	0	1	0	0	0	0	0
	tetratriacontanal	0	0	1	0	0	0	0	0
	nonanal	0	0	0	0	0	1	0	0
	citronellal	0	0	0	0	0	1	0	0
	decanal	0	0	0	0	0	1	0	0
	(E,E)-2,4-heptadienal	0	0	0	0	1	0	0	0
Aliphatic esters	methyl 2-methylbutyrate	0	0	0	0	1	0	0	0
	ethyl acetate	0	0	0	0	0	1	0	0
	ethyl butyrate	0	0	0	0	0	1	0	0
	ethyl caprilate	0	0	0	0	0	1	0	0
	terpenyl acetate	0	0	0	0	0	1	0	0
	neryl acetate	0	0	1	0	0	1	0	0
	neryl formate	0	0	1	0	0	0	0	0
	neryl propanoate	0	0	1	0	0	0	0	0
	neryl isobutanoate	0	0	1	0	0	0	0	0
	(E)-mirtanyl acetate	0	0	0	0	0	1	0	0
	geranyl acetate	1	0	1	0	1	1	0	0
	geranyl formate	0	0	1	0	0	0	0	0

Evaluación del efecto de la aplicación de radiación UV-B durante la poscosecha en la calidad de los extractos de tomillo (*Thymus vulgaris* L.)

	geranyl propanoate	0	0	1	0	0	0	0	0
	geranyl isobutanoate	0	0	1	0	0	0	0	0
	geranyl butanoate (isomer)	0	0	1	0	0	0	0	0
	campholytic acid methyl ester	0	0	1	0	0	0	0	0
	citronellyl acetate	0	0	1	0	0	0	0	0
	citronellyl propanoate	0	0	1	0	0	0	0	0
	thymyl acetate	1	0	0	1	0	0	0	0
	butyl caprilate	0	0	0	0	0	1	0	0
Aliphatic ketones	(Z)-3-hexenyl acetate	0	0	0	0	1	0	0	0
	3-octanone	0	0	0	0	1	1	0	0
	3-hydroxy-2-butanone	0	0	0	0	1	0	0	0
	6-methyl-5-heptenone	0	0	0	0	1	0	0	0
	6-methyl-(E,E)-3	0	0	0	0	1	0	0	0
	5-heptadien-2-one	0	0	0	0	1	0	0	0
	α -ionone	1	0	0	0	1	1	0	0
	β -ionone	0	0	0	0	1	1	0	0
	P-ionone	1	0	0	0	0	0	0	0
	cis-jasmone	0	0	0	0	1	0	0	0
	trans-beta-ionone-5,6-epoxide	0	0	0	0	1	0	0	0
	methyl jasmone	0	0	0	0	1	0	0	0
	2-butanone	0	0	0	0	0	1	0	0
	3-heptanone	0	0	0	0	0	1	0	0
	β -thujene	1	0	0	0	0	1	0	0
	pinocarvone	0	0	0	0	0	1	0	0
	thymoquinone	0	0	0	1	0	1	0	0
	thymodihydroquinone	0	0	0	1	0	0	0	0
	(Z)-jasmone	0	0	0	0	0	1	0	0
	5-(1-methylethyl)-bicyclo[3.1.0]hexan-2-one (sabina ketone)	0	0	1	0	0	0	0	0
3,5-dimethyl-4-ethylidenecyclohex-2-ene-1-one	0	0	1	0	0	0	0	0	
Aliphatic acids	butanoic acid	0	0	0	0	1	0	0	0
	octanoic acid	0	0	0	0	1	0	0	0
	decanoic acid	0	0	0	0	1	0	0	0
Aromatic compounds	benzaldehyde	0	0	0	0	1	0	0	0
	methyl benzoate	0	0	0	0	1	0	0	0
	phenyl acetaldehyde	0	0	0	0	1	0	0	0
	1-methoxy-4-(2-propenyl)	0	0	0	0	1	0	0	0
	benzene (estragole)*	0	0	0	0	1	0	0	0
	methyl salicylate	0	0	0	0	1	0	0	0

p-methylacetophenone	0	0	0	0	1	0	0	0
cuminaldehyde	0	0	0	0	1	0	0	0
anethol	0	1	0	0	1	0	0	0
(E)-anethol	0	0	0	0	0	1	0	0
safrole	0	0	0	0	1	0	0	0
benzyl alcohol	0	0	0	0	1	0	0	0
phenethyl alcohol	0	0	0	0	1	0	0	0
methyl cinnamate	0	0	0	0	1	0	0	0
methyl eugenol	0	0	0	0	1	0	0	0
a,a-dimethylphenylethyl alcohol	0	0	0	0	1	0	0	0
anisaldehyde	0	0	0	0	1	0	0	0
trans-cinnamaldehyde	0	0	0	0	1	0	0	0
p-cresol	0	0	0	0	1	0	0	0
ethyl cinnamate	0	0	0	0	1	0	0	0
eugenol	1	0	1	0	1	1	0	0
isoeugenol	0	0	0	0	0	1	0	0
5-isopropyl-3-methylphenol	0	0	0	0	1	0	0	0
4-allylphenol	0	0	0	0	1	0	0	0
dillaiolec	0	0	0	0	1	0	0	0
p-methoxycinnamaldehyde	0	0	0	0	1	0	0	0
octadecane	0	0	1	0	0	0	0	0
nonadecane	0	0	1	0	0	0	0	0
eicosane	0	0	1	0	0	0	0	0
heneicosane	0	0	1	0	0	0	0	0
docosane	0	0	1	0	0	0	0	0
tricosane	0	0	1	0	0	0	0	0
methyl docosane	0	0	1	0	0	0	0	0
tetracosane	0	0	1	0	0	0	0	0
ethyl docosane	0	0	1	0	0	0	0	0
methyl tricosane	0	0	1	0	0	0	0	0
pentacosane	0	0	1	0	0	0	0	0
ethyl tricosane	0	0	1	0	0	0	0	0
methyl tetracosane	0	0	1	0	0	0	0	0
hexacosane	0	0	1	0	0	0	0	0
ethyl tetracosane	0	0	1	0	0	0	0	0
methyl pentacosane	0	1	1	0	0	0	0	0
heptacosanen	0	1	1	0	0	0	0	0
methyl hexacosane	0	1	1	0	0	0	0	0
octacosane	0	1	1	0	0	0	0	0

Evaluación del efecto de la aplicación de radiación UV-B durante la poscosecha en la calidad de los extractos de tomillo (*Thymus vulgaris* L.)

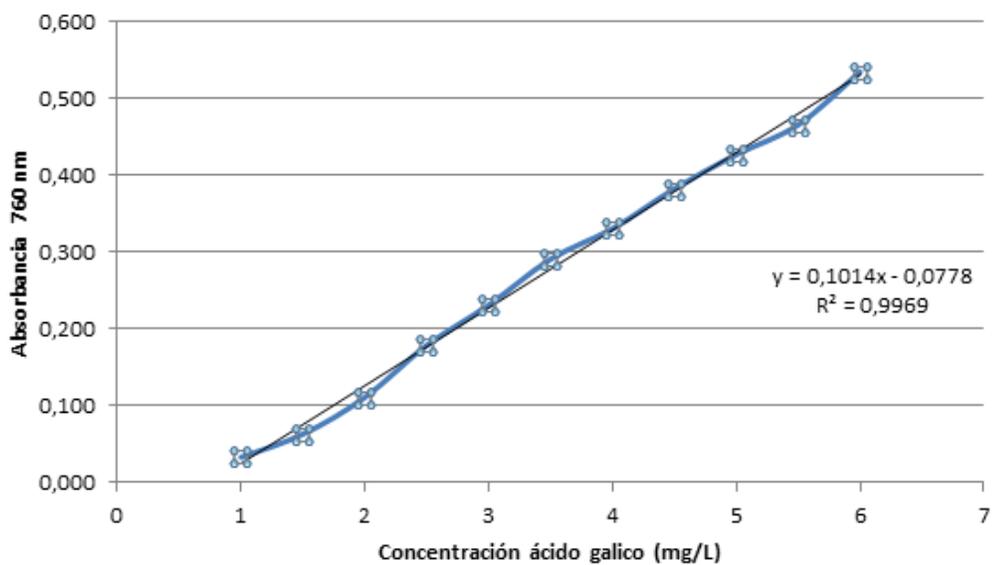
	ethyl hexacosane	0	1	1	0	0	0	0	0
	methyl heptacosane	0	0	1	0	1	0	0	0
	nonacosane	0	0	1	0	1	0	0	0
	ethyl heptacosane	0	0	1	0	1	0	0	0
	methyl octacosane	0	0	1	0	1	0	0	0
	triacontane	0	0	1	0	0	0	0	0
	ethyl octacosane	0	0	1	0	0	0	0	0
	methyl nonacosane	0	0	1	0	0	0	0	0
	hentriacontane	0	0	1	0	0	0	0	0
	ethyl nonacosane	0	0	1	0	0	0	0	0
	methyl triacontane	0	0	1	0	0	0	0	0
	dotriacontane	0	0	1	0	0	0	0	0
	ethyl triacontane	0	0	1	0	0	0	0	0
	methyl hentriacontane	0	0	1	0	0	0	0	0
	tritriacontane	0	0	1	0	0	0	0	0
	ethyl tritriacontane	0	0	1	0	0	0	0	0
	methyl dotriacontane	0	0	1	0	0	0	0	0
	tetratriacontane	0	0	1	0	0	0	0	0
	ethyl dotriacontane	0	0	1	0	0	0	0	0
	methyl tritriacontane	0	0	1	0	0	0	0	0
	pentatriacontane	0	0	1	0	0	0	0	0
	methyl tetratriacontane	0	0	1	0	0	0	0	0
	methyl pentatriacontane	0	0	1	0	0	0	0	0
Phytosterols and other derivatives	5-methyl-5-ethenyldihydro-2(3H)-furanone	0	0	1	0	0	0	0	0
	hexyl butanoaten	0	0	1	0	0	0	0	0
	3-(1-methyl-2-pyrrolidinyl)-pyridine (nicotine)	0	0	1	0	0	0	0	0
	5,6,7,7a-tetrahydro-4,4,7a-trimethyl-2(4H)-benzofuranone (dihydroactinidiolide)	0	0	1	0	0	0	0	0
	5,6,7,7a-tetrahydro-6-hydroxy-4,4,7a-triranone (loliolide)	0	0	1	0	0	0	0	0
	neophytadienea	0	0	1	0	0	0	0	0
	6,10,14-trimethyl-2-pentadecanone (1,2-dinor-3-phytanone)	0	0	1	0	0	0	0	0
	squalene	0	0	1	0	0	0	0	0
	vitamin E	0	0	1	0	0	0	0	0
	ergost-5,24-dien-3-B-01	0	0	1	0	0	0	0	0
	(24R)-ergost-5-en-3-β-ol (campesterol)	0	0	1	0	0	0	0	0
	stigmast-5-en-3β-ol (β-sitosterol)	0	0	1	0	0	0	0	0
	β-amyrin	0	0	1	0	0	0	0	0

Evaluación del efecto de la aplicación de radiación UV-B durante la poscosecha en la calidad de los extractos de tomillo (*Thymus vulgaris* L.)

B. Anexo B: curvas de calibración para las variables analizadas.

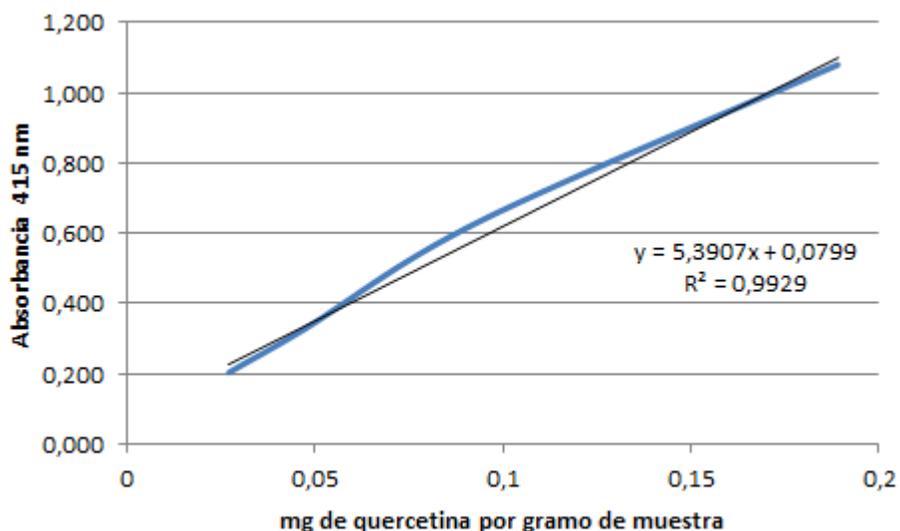
Variable analizada	Método	Ecuación de la curva
Fenoles totales	FOLIN - CIOCALTEU	$y = 0,1014x - 0,0778$ $R^2 = 0,9969$
Flavonoides totales	Espectroscopia UV-VIS 415 nm	$y = 5,3907x + 0,0799$ $R^2 = 0,9929$

Curva de calibración para Folin- Ciocalteu



Patrón	Concentración (mg/L)	Absorbancia 1			Absorbancia 2			Absorbancia 3			Absorbancia promedio	Desviación estándar
		L1	L2	L3	L1	L2	L3	L1	L2	L3		
1	1	0,031	0,035	0,033	0,032	0,023	0,044	0,036	0,034	0,029	0,033	0,0063
2	1,5	0,061	0,071	0,057	0,063	0,028	0,098	0,065	0,063	0,061	0,063	0,0206
3	2	0,11	0,13	0,093	0,111	0,119	0,103	0,112	0,108	0,113	0,111	0,0117
4	2,5	0,177	0,176	0,183	0,179	0,164	0,193	0,18	0,176	0,18	0,179	0,0087
5	3	0,232	0,211	0,25	0,230	0,227	0,236	0,231	0,229	0,233	0,231	0,0116
6	3,5	0,290	0,284	0,299	0,292	0,278	0,303	0,291	0,289	0,293	0,291	0,0084
7	4	0,329	0,325	0,338	0,331	0,329	0,332	0,332	0,314	0,346	0,331	0,0040
8	4,5	0,382	0,391	0,375	0,385	0,372	0,391	0,381	0,376	0,391	0,383	0,0073
9	5	0,423	0,437	0,422	0,429	0,425	0,428	0,43	0,429	0,423	0,427	0,0051
10	5,5	0,466	0,435	0,497	0,465	0,457	0,476	0,467	0,461	0,47	0,466	0,0187
11	6	0,531	0,528	0,546	0,538	0,525	0,542	0,536	0,531	0,538	0,535	0,0076

Curva de calibración para flavonoides totales



Patrón de quercetina	Concentración (µL)	Concentración quercetina (mg/ml)	Absorbancia 1			Absorbancia 2			Absorbancia 13			Absorbancia promedio	Desviación estándar
			L1	L2	L3	L1	L2	L3	L1	L2	L3		
1	700	0,189	1,073	1,071	1,075	1,094	1,093	1,091	1,072	1,076	1,071	1,080	0,010
2	350	0,094	0,637	0,625	0,621	0,683	0,641	0,638	0,612	0,625	0,634	0,635	0,020
3	175	0,047	0,321	0,309	0,328	0,338	0,329	0,332	0,315	0,328	0,337	0,326	0,010
4	100	0,027	0,214	0,193	0,205	0,194	0,212	0,218	0,201	0,198	0,193	0,203	0,010

C. Anexo C: Análisis estadísticos

ANOVA porcentaje de materia seca en tomillo

Procedimiento ANOVA

Información de nivel de clase

Clase	Niveles	Valores
Tratamiento	16	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16

Número de observaciones leídas 320
 Número de observaciones usadas 160

Procedimiento ANOVA

Variable dependiente: tomillo_ tomillo

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	15	472.856542	31.523769	5.11	<.0001
Error	144	888.547731	6.170470		
Total corregido	159	1361.404273			

R-cuadrado 0.347330
 Coef Var 6.593489
 Raíz MSE 2.484043
 tomillo_ Media 37.67418

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	15	472.8565421	31.5237695	5.11	<.0001

Procedimiento ANOVA

Test de Levene para homogeneidad de la varianza tomillo_
 ANOVA de las desviaciones cuadradas de las medias de grupo

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
--------	----	-------------------	----------------------	---------	--------

Tratamiento	15	592.6	39.5062	1.19	0.2839
Error	144	4770.8	33.1309		

Test de Bartlett para la homogeneidad de la varianza tomillo_

Fuente	DF	Chi-cuadrado	Pr > ChiSq
Tratamiento	15	10.6286	0.7785

ANOVA de Welch para tomillo_

Fuente	DF	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	15.0000	5.51	<.0001
Error	54.3419		

Procedimiento ANOVA

Nivel de Tratamiento	N	Media	Dev tip
1	10	40.3609631	1.69054653
2	10	38.4088267	2.47552769
3	10	35.8056558	2.81918575
4	10	35.4014603	1.58038118
5	10	39.9059244	2.58039335
6	10	37.9289358	2.36760570
7	10	36.5635764	2.90062397
8	10	37.2227885	2.08087019
9	10	38.8359493	3.01266282
10	10	38.9945731	2.93716249
11	10	37.5616040	2.33978449
12	10	36.4210650	2.96924269
13	10	37.7929785	1.61326739
14	10	40.7417588	2.42396680
15	10	35.6741008	2.51379992
16	10	35.1667623	2.73803030

Evaluación del efecto de la aplicación de radiación UV-B durante la poscosecha en la calidad de los extractos de tomillo (*Thymus vulgaris* L.)

Procedimiento ANOVA

Prueba del rango estudentizado de Tukey (HSD) para tomillo_

NOTA: Este test controla el índice de error experimentwise de tipo I, pero normalmente tiene un índice de error de tipo II más elevado que REGWQ.

Alpha	0.05	
Error Degrees of Freedom		144
Error de cuadrado medio	6.17047	
Valor crítico del rango estudentizado	4.93231	
Diferencia significativa mínima	3.8744	

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Tukey	Agrupamiento	Media	N	Tratamiento
B	A	40.361	10	1
	D	35.806	10	Control 1
B	D A C	38.409	10	2
	D	35.401	10	Control 2
B	A C	39.906	10	3
B	D C	36.564	10	Control 3
B	D A C	37.929	10	4
B	D A C	37.223	10	Control 4
B	D A C	38.836	10	5
B	D A C	37.562	10	Control 5
B	D A C	38.995	10	6
	D C	36.421	10	Control 6
B	D A C	37.793	10	7
	D	35.674	10	Control 7
	A	40.742	10	8
	D	35.167	10	Control 8

ANOVA para rendimiento de extracción en tomillo

Procedimiento ANOVA

Información de nivel de clase

Clase	Niveles	Valores
Tratamiento	32	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32

Número de observaciones leídas 320
 Número de observaciones usadas 320

Procedimiento ANOVA

Variable dependiente: Rendimiento_g_Kg Rendimiento g/Kg

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	31	8627.924918	278.320159	77.38	<.0001
Error	288	1035.926342	3.596966		
Total corregido	319	9663.851260			

R-cuadrado 0.892804
 Coef Var 12.17094
 Raíz MSE 1.896567
 Rendimiento_g_Kg Media 15.58275

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	31	8627.924918	278.320159	77.38	<.0001

Evaluación del efecto de la aplicación de radiación UV-B durante la poscosecha en la calidad de los extractos de tomillo (*Thymus vulgaris* L.)

Procedimiento ANOVA
Test de Levene para homogeneidad de la varianza Rendimiento_g_Kg
ANOVA de las desviaciones cuadradas de las medias de grupo

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	31	2520.7	81.3137	3.44	<.0001
Error	288	6810.6	23.6478		

Test de Bartlett para la homogeneidad de la varianza Rendimiento_g_Kg

Fuente	DF	Chi-cuadrado	Pr > ChiSq
Tratamiento	31	106.0	<.0001

Procedimiento ANOVA

Nivel de Tratamiento	N	Media	Dev tip
1	10	12.2426272	1.15325605
2	10	12.5123851	0.88267295
3	10	10.3686063	1.39181915
4	10	10.4076370	1.30791266
5	10	11.1906032	1.28071592
6	10	10.8950080	1.10981423
7	10	10.1672750	0.81513638
8	10	10.0086769	1.18412350
9	10	8.4057166	2.48153992
10	10	8.5142624	2.55077653
11	10	10.2691013	2.08219376
12	10	10.6898556	2.60388679
13	10	16.5048497	1.20539321
14	10	15.0839674	2.98846257
15	10	9.6000183	1.91957379
16	10	9.7307841	1.48921776
17	10	25.6320113	2.68834828
18	10	24.9261593	2.50003161
19	10	19.4543678	1.42718497
20	10	18.8356651	1.28924444
21	10	23.9189149	3.14889033
22	10	24.6116661	3.61206881
23	10	19.3658868	0.62384270
24	10	18.7996497	0.87930949
25	10	18.7602432	0.98138985
26	10	18.4131653	0.85392874
27	10	16.5692675	2.11050555
28	10	17.6036263	1.32265682
29	10	17.6334862	1.39826278
30	10	17.1577533	1.35348261
31	10	20.2198263	2.49844685
32	10	20.1549696	2.26147415

Procedimiento ANOVA

Prueba del rango estudentizado de Tukey (HSD) para Rendimiento_g_Kg

NOTA: Este test controla el índice de error experimentwise de tipo I, pero normalmente tiene un índice de error de tipo II más elevado que REGWQ.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	288
Error de cuadrado medio	3.596966
Valor crítico del rango estudentizado	5.40233
Diferencia significativa mínima	3.24

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Tukey	Agrupamiento	Media	N	Tratamiento
F	E	12.2426	10	1
F	G	10.3686	10	Control 1
F	E	12.5124	10	2
F	G	10.4076	10	Control 2
F	G	11.1906	10	3
F	G	10.1673	10	Control 3
F	G	10.8950	10	4
F	G	10.0087	10	Control 4
	G	8.4057	10	5
F	G	10.2691	10	Control 5
	G	8.5143	10	6
F	G	10.6899	10	Control 6
C	D	16.5048	10	7
F	G	9.6000	10	Control 7
E	D	15.0840	10	8
F	G	9.7308	10	Control 8
	A	25.6320	10	9
C	B	19.4544	10	Control 9
	A	24.9262	10	10
C	B	18.8357	10	Control 10
	A	23.9189	10	11
C	B	19.3659	10	Control 11
	A	24.6117	10	12
C	B	18.7996	10	Control 12
C	B	18.7602	10	13
C	D	16.5693	10	Control 13
C	B	18.4132	10	14
C	B	17.6036	10	Control 14
C	B	17.6335	10	15
	B	20.2198	10	Control 15
C	B	17.1578	10	16
	B	20.1550	10	Control 16

Evaluación del efecto de la aplicación de radiación UV-B durante la poscosecha en la calidad de los extractos de tomillo (*Thymus vulgaris* L.)

ANOVA para fenoles totales, antocianinas, flavonoides e índice de saponificación en tomillo

Procedimiento ANOVA
Información de nivel de clase

Clase	Niveles	Valores
Tratamiento	32	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32
		Número de observaciones leídas 96
		Número de observaciones usadas 96

Procedimiento ANOVA

Variable dependiente: _AGeM %AGeM

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	31	827.3413473	26.6884306	27.99	<.0001
Error	64	61.0223118	0.9534736		
Total corregido	95	888.3636592			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	_AGeM Media
0.931309	6.835704	0.976460	14.28470

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	31	827.3413473	26.6884306	27.99	<.0001

Procedimiento ANOVA

Variable dependiente: mgC3G mgC3G

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	31	8113.256023	261.717936	588.94	<.0001
Error	64	28.440987	0.444390		
Total corregido	95	8141.697010			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	mgC3G Media
0.996507	7.856988	0.666626	8.484500

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	31	8113.256023	261.717936	588.94	<.0001

Procedimiento ANOVA

Variable dependiente: mg_QRT__ml mg QRT /ml

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	31	0.04942529	0.00159436	605.23	<.0001
Error	64	0.00016860	0.00000263		
Total corregido	95	0.04959388			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	mg_QRT__ml Media
0.996600	2.734670	0.001623	0.059351

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	31	0.04942529	0.00159436	605.23	<.0001

Procedimiento ANOVA

Variable dependiente: IS IS

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	31	85.1663907	2.7473029	9.62	<.0001
Error	64	18.2793204	0.2856144		
Total corregido	95	103.4457111			

R-cuadrado	Coef Var	Raíz MSE	IS Media
0.823296	8.883045	0.534429	6.016282

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	31	85.16639068	2.74730293	9.62	<.0001

Evaluación del efecto de la aplicación de radiación UV-B durante la poscosecha en la calidad de los extractos de tomillo (*Thymus vulgaris* L.)

Procedimiento ANOVA

Test de Levene para homogeneidad de la varianza _AGeM
ANOVA de las desviaciones cuadradas de las medias de grupo

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	31	73.4856	2.3705	2.70	0.0004
Error	64	56.1372	0.8771		

Test de Bartlett para la homogeneidad de la varianza _AGeM

Fuente	DF	Chi-cuadrado	Pr > ChiSq
Tratamiento	31	64.4684	0.0004

Test de Levene para homogeneidad de la varianza mgC3G
ANOVA de las desviaciones cuadradas de las medias de grupo

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	31	20.0313	0.6462	2.91	0.0002
Error	64	14.2286	0.2223		

Test de Bartlett para la homogeneidad de la varianza mgC3G

Fuente	DF	Chi-cuadrado	Pr > ChiSq
Tratamiento	27	93.4088	<.0001

Test de Levene para homogeneidad de la varianza mg_QRT_ml
ANOVA de las desviaciones cuadradas de las medias de grupo

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	31	2.43E-10	7.85E-12	1.86	0.0181
Error	64	2.7E-10	4.22E-12		

Test de Bartlett para la homogeneidad de la varianza mg_QRT_ml

Fuente	DF	Chi-cuadrado	Pr > ChiSq
Tratamiento	31	24.6792	0.7819

Procedimiento ANOVA

Test de Levene para homogeneidad de la varianza IS
ANOVA de las desviaciones cuadradas de las medias de grupo

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	31	3.9659	0.1279	2.20	0.0040
Error	64	3.7232	0.0582		

Test de Bartlett para la homogeneidad de la varianza IS
Fuente DF Chi-cuadrado Pr > ChiSq

Tratamiento 31 38.0593 0.1789

Nivel de Tratamiento	N	Procedimiento ANOVA					
		-----_AGeM-----		-----mgC3G-----		-----mg_QRT_ml-----	
		Media	Dev tip	Media	Dev tip	Media	Dev tip
1	3	17.8508907	0.58594072	14.2692156	1.32200422	0.08102225	0.00144090
2	3	17.5504036	0.22793490	14.4187881	0.90784465	0.08046574	0.00065147
3	3	14.6567221	0.45412426	12.1153717	1.53353750	0.07286005	0.00266465
4	3	14.5681137	0.20208620	12.1752007	0.84822242	0.07057216	0.00283970
5	3	19.4567444	0.23548114	17.6495539	0.33976339	0.10433401	0.00083649
6	3	19.4835018	0.32283403	18.4273309	0.13708545	0.11385658	0.00154464
7	3	15.7272446	1.74057825	12.8034052	0.88082832	0.07459143	0.00055651
8	3	17.4431058	0.75810416	12.8931487	0.36269401	0.07465326	0.00102168
9	3	16.2517313	0.21711483	17.1110929	1.37085452	0.07508611	0.00157770
10	3	17.0363505	0.56243002	17.4401524	1.13989547	0.07533344	0.00245400
11	3	14.6061168	0.50915153	13.1025502	0.23743897	0.06080225	0.00113345
12	3	13.8546973	2.04929054	13.2222082	0.77373952	0.06160610	0.00121644
13	3	19.5693887	0.09378782	28.3290297	1.17125862	0.09196703	0.00087666
14	3	19.3773384	0.20492312	30.9914201	1.35013512	0.09901621	0.00187656
15	3	14.4173274	0.16908564	17.5598104	0.18681598	0.05690665	0.00144090
16	3	14.4847121	1.92035868	17.4700669	0.61087134	0.05498977	0.00223634
17	3	12.0739280	0.41584640	0.1495725	0.10362686	0.04651839	0.00318255
18	3	15.8063184	0.49660337	0.2692305	0.08974349	0.04447784	0.00042840
19	3	11.2652896	0.07045583	0.0897435	0.00000000	0.03551178	0.00189481
20	3	11.4728149	2.06026228	0.0598290	0.10362686	0.03538811	0.00139232
21	3	14.0271245	0.94588310	0.1794870	0.00000000	0.05684481	0.00136738
22	3	13.6177432	1.47726608	0.0000000	0.00000000	0.05566995	0.00213934
23	3	11.3132546	0.45083626	0.0299145	0.05181343	0.03891270	0.00065147
24	3	11.4098554	1.77409394	0.0897435	0.08974349	0.03847985	0.00083649
25	3	11.2297297	0.91489380	0.1794870	0.08974349	0.03959288	0.00200081
26	3	12.1637131	1.02697675	0.0897435	0.15544029	0.03946921	0.00140462
27	3	10.1906037	0.31598996	0.1495725	0.05181343	0.02809159	0.00065147
28	3	10.6065287	0.64921902	0.0598290	0.10362686	0.02802975	0.00049080
29	3	11.3769608	1.60942969	0.0897435	0.08974349	0.04701307	0.00172363
30	3	12.3834733	0.60631928	0.0598290	0.05181343	0.04658022	0.00161719
31	3	11.0210071	0.86282357	0.0299145	0.05181343	0.03538811	0.00162073
32	3	10.8176295	0.55053654	0.0000000	0.00000000	0.03520260	0.00113345

Evaluación del efecto de la aplicación de radiación UV-B durante la poscosecha en la calidad de los extractos de tomillo (*Thymus vulgaris* L.)

Nivel de Tratamiento	N	-----IS-----	
		Media	Dev tip
1	3	7.06408818	0.45095085
2	3	7.08397493	0.59983318
3	3	7.03981138	0.13473975
4	3	6.86257034	0.50257456
5	3	5.84903357	0.17495053
6	3	5.85977585	0.13800875
7	3	6.94353030	0.73086447
8	3	5.68188177	1.08549791
9	3	6.50954255	0.36054947
10	3	6.44460291	0.52094277
11	3	6.23821440	0.65239235
12	3	5.54471482	0.48927391
13	3	4.77286211	0.18992319
14	3	4.56702834	0.03444977
15	3	6.22969796	0.51352417
16	3	5.70894657	0.16903361
17	3	5.81730948	0.36489100
18	3	6.95072116	0.76709823
19	3	7.02632139	0.23801860
20	3	7.32493266	0.20740943
21	3	4.93930842	0.46623927
22	3	5.36823949	0.76970474
23	3	6.64425467	0.41715507
24	3	6.17380679	0.34426064
25	3	5.46038779	0.35131512
26	3	5.39028236	1.03131530
27	3	5.94341778	0.28313535
28	3	6.98868354	0.28802763
29	3	3.70884213	0.66835506
30	3	3.60564877	0.60769136
31	3	6.09926227	0.27881396
32	3	6.67931882	0.99006438

Procedimiento ANOVA

Prueba del rango estudentizado de Tukey (HSD) para _AGeM

NOTA: Este test controla el índice de error experimentwise de tipo I, pero normalmente tiene un índice de error de tipo II más elevado que REGWQ.

Alpha	0.05	
Error de cuadrado medio	Error Degrees of Freedom	64
	0.953474	
	Valor crítico del rango estudentizado	5.59985
	Diferencia significativa mínima	3.157

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Tukey Agrupamiento		Media	N	Tratamiento
	B A C	17.8509	3	1
E	G D F	14.6567	3	Control 1
	B D A C	17.5504	3	2
E	G D F H	14.5681	3	Control 2
	A	19.4567	3	3
E	D F C	15.7272	3	Control 3
	A	19.4835	3	4
	B D A C	17.4431	3	Control 4
E	B D F C	16.2517	3	5
E	G D F H	14.6061	3	Control 5
E	B D A C	17.0364	3	6
L	G K F J H I	13.8547	3	Control 6
	A	19.5694	3	7
E	G D F J H I	14.4173	3	Control 7
	B A	19.3773	3	8
E	G D F H I	14.4847	3	Control 8
L	G K M N J H I	12.0739	3	9
L	K M N J	11.2653	3	Control 9
E	D F C	15.8063	3	10
L	K M N J H I	11.4728	3	Control 10
E	G K M F J H I	14.0271	3	11
L	K M N J	11.3133	3	Control 11
L	G K M F J H I	13.6177	3	12
L	K M N J I	11.4099	3	Control 12
L	K M N	11.2297	3	13
	N	10.1906	3	Control 13
L	G K M N J H I	12.1637	3	14
	M N	10.6065	3	Control 14
L	K M N J I	11.3770	3	15
L	K M N	11.0210	3	Control 15
L	G K M N J H I	12.3835	3	16
L	K M N	10.8176	3	Control 16

Evaluación del efecto de la aplicación de radiación UV-B durante la poscosecha en la calidad de los extractos de tomillo (*Thymus vulgaris* L.)

Procedimiento ANOVA

Prueba del rango estudentizado de Tukey (HSD) para mgC3G

NOTA: Este test controla el índice de error experimentwise de tipo I, pero normalmente tiene un índice de error de tipo II más elevado que REGWQ.

Alpha	0.05	
Error Degrees of Freedom		64
Error de cuadrado medio	0.44439	
Valor crítico del rango estudentizado	5.59985	
Diferencia significativa mínima	2.1553	

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Tukey Agrupamiento	Media	N	Tratamiento
E D	14.2692	3	1
E	12.1154	3	Control 1
	14.4188	3	2
E D	12.1752	3	Control 2
	17.6496	3	3
E D	12.8034	3	Control 3
	18.4273	3	4
E D	12.8931	3	Control 4
	17.1111	3	5
E D	13.1026	3	Control 5
	17.4402	3	6
E D	13.2222	3	Control 6
	28.3290	3	7
	17.5598	3	Control 7
	30.9914	3	8
	17.4701	3	Control 8
	0.1496	3	9
	0.0897	3	Control 9
	0.2692	3	10
	0.0598	3	Control 10
	0.1795	3	11
	0.0299	3	Control 11
	0.0000	3	12
	0.0897	3	Control 12
	0.1795	3	13
	0.1496	3	Control 13
	0.0897	3	14
	0.0598	3	Control 14
	0.0897	3	15
	0.0299	3	Control 15
	0.0598	3	16
	0.0000	3	Control 16

Procedimiento ANOVA

Prueba del rango estudentizado de Tukey (HSD) para mg_QRT__m1

NOTA: Este test controla el índice de error experimentwise de tipo I, pero normalmente tiene un índice de error de tipo II más elevado que REGWQ.

Alpha	0.05	
Error Degrees of Freedom		64
Error de cuadrado medio	2.634E-6	
Valor crítico del rango estudentizado	5.59985	
Diferencia significativa mínima	0.0052	

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Tukey Agrupamiento	Media	N	Tratamiento
	0.081022	3	1
	0.072860	3	Control 1
F	0.080466	3	2
	0.070572	3	Control 2
	0.104334	3	3
	0.074591	3	Control 3
	0.113857	3	4
	0.074653	3	Control 4
	0.075086	3	5
I	0.060802	3	Control 5
F	0.075333	3	6
	0.061606	3	Control 6
	0.091967	3	7
I	0.056907	3	Control 7
	0.099016	3	8
	0.054990	3	Control 8
	0.046518	3	9
	0.035512	3	Control 9
L	0.044478	3	10
	0.035388	3	Control 10
I	0.056845	3	11
	0.038913	3	Control 11
I	0.055670	3	12
	0.038480	3	Control 12
L	0.039593	3	13
	0.028092	3	Control 13
L	0.039469	3	14
	0.028030	3	Control 14
	0.047013	3	15
	0.035388	3	Control 15
	0.046580	3	16
	0.035203	3	Control 16

Evaluación del efecto de la aplicación de radiación UV-B durante la poscosecha en la calidad de los extractos de tomillo (*Thymus vulgaris* L.)

Procedimiento ANOVA

Prueba del rango estudentizado de Tukey (HSD) para IS

NOTA: Este test controla el índice de error experimentwise de tipo I, pero normalmente tiene un índice de error de tipo II más elevado que REGWQ.

Alpha	0.05
Error de cuadrado medio	0.285614
Error Degrees of Freedom	64
Valor crítico del rango estudentizado	5.59985
Diferencia significativa mínima	1.7278

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

Tukey Agrupamiento	Media	N	Tratamiento				
B	A	7.0641	3	1			
B	A	7.0398	3	Control 1			
B	A	7.0840	3	2			
B	A	6.8626	3	Control 2			
E	B	D	A	C	5.8490	3	3
B	A	6.9435	3	Control 3			
E	B	D	A	C	5.8598	3	4
E	B	D	A	C	5.6819	3	Control 4
B	A	6.5095	3	5			
E	B	D	A	C	6.2382	3	Control 5
B	A	6.4446	3	6			
E	B	D	A	C	5.5447	3	Control 6
E	G	D	F	C	4.7729	3	7
E	B	D	A	C	6.2297	3	Control 7
E	G	F	C	4.5670	3	8	
E	B	D	A	C	5.7089	3	Control 8
E	B	D	A	C	5.8173	3	9
B	A	7.0263	3	Control 9			
B	A	6.9507	3	10			
B	A	7.3249	3	Control 10			
E	G	D	F	C	4.9393	3	11
B	A	6.6443	3	Control 11			
E	B	D	F	C	5.3682	3	12
E	B	D	A	C	6.1738	3	Control 12
E	B	D	A	C	5.4604	3	13
E	B	D	A	C	5.9434	3	Control 13
E	B	D	F	C	5.3903	3	14
B	A	6.9887	3	Control 14			
G	F	3.7088	3	15			
E	B	D	A	C	6.0993	3	Control 15
G	C	3.6056	3	16			
B	A	6.6793	3	Control 16			

ANOVA para actividad antioxidante en tomillo

Procedimiento ANOVA

Información de nivel de clase

Clase	Niveles	Valores
Tratamiento	36	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36

Número de observaciones leídas 108
 Número de observaciones usadas 108

Procedimiento ANOVA

Variable dependiente: _CA %CA

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	35	13308.19921	380.23426	9.03	<.0001
Error	72	3032.74015	42.12139		
Total corregido	107	16340.93936			

R-cuadrado 0.814408
 Coef Var 9.682962
 Raíz MSE 6.490099
 _CA Media 67.02597

Fuente	DF	Anova SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	35	13308.19921	380.23426	9.03	<.0001

Procedimiento ANOVA

Test de Levene para homogeneidad de la varianza _CA
 ANOVA de las desviaciones cuadradas de las medias de grupo

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Tratamiento	35	81507.9	2328.8	2.01	0.0063
Error	72	83335.0	1157.4		

Test de Bartlett para la homogeneidad de la varianza _CA

Fuente	DF	Chi-cuadrado	Pr > ChiSq
Tratamiento	35	31.6173	0.6322

Evaluación del efecto de la aplicación de radiación UV-B durante la poscosecha en la calidad de los extractos de tomillo (*Thymus vulgaris* L.)

Procedimiento ANOVA

Nivel de Tratamiento	N	-----_CA-----	
		Media	Dev tip
1	3	62.3443298	4.3160882
2	3	60.8286298	5.4886791
3	3	50.7967393	8.4880310
4	3	52.3221329	8.9087687
5	3	60.2236534	5.8442476
6	3	67.0880889	2.7684101
7	3	55.1632616	4.0296662
8	3	58.8153480	7.2789776
9	3	93.4438049	3.5565587
10	3	61.8304157	3.9973044
11	3	57.7487834	12.8515700
12	3	52.3926857	6.0198843
13	3	56.4075591	13.4850965
14	3	71.3602373	3.1690922
15	3	77.6265422	7.8413539
16	3	62.4758612	5.7573984
17	3	63.4613065	8.9271167
18	3	91.4916177	4.6228295
19	3	70.8202198	5.8233555
20	3	71.4592252	5.6399864
21	3	65.4054012	3.5836383
22	3	62.6986693	4.4749161
23	3	72.8233648	2.7486616
24	3	74.5103886	8.4470860
25	3	63.2325032	8.9115111
26	3	66.8353102	5.1367567
27	3	95.3517768	1.8978311
28	3	65.1809196	8.8996912
29	3	68.8432071	1.9947017
30	3	61.4640341	9.8202246
31	3	59.5409427	1.5989481
32	3	67.0238882	6.1113689
33	3	73.8766538	4.5924086
34	3	60.0357134	5.1608455
35	3	66.7084590	5.7064027
36	3	91.3032335	0.9111834

Procedimiento ANOVA

Prueba del rango estudentizado de Tukey (HSD) para _CA

NOTA: Este test controla el índice de error experimentwise de tipo I, pero normalmente tiene un índice de error de tipo II más elevado que REGWQ.

Alpha	0.05
Error Degrees of Freedom	72
Error de cuadrado medio	42.12139
Valor crítico del rango estudentizado	5.66121
Diferencia significativa mínima	21.213

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

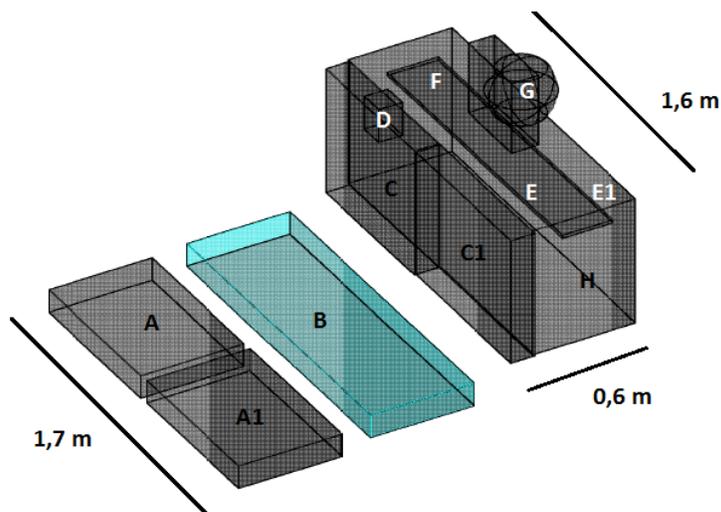
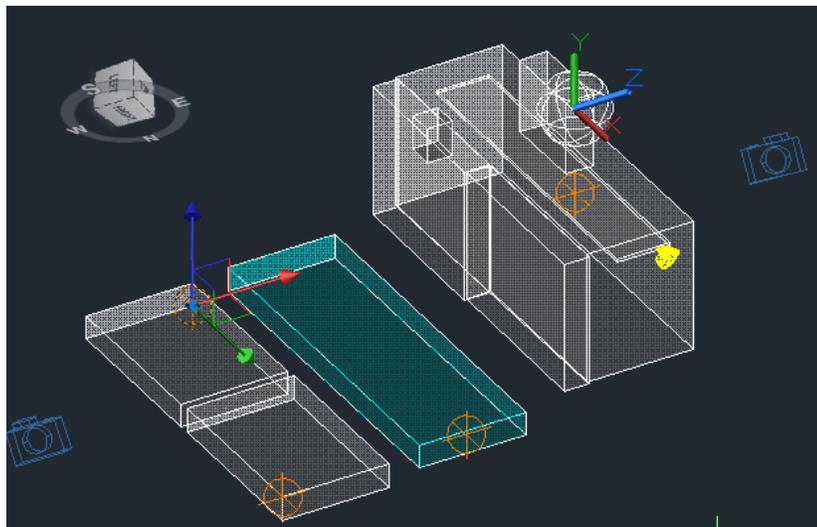
Tukey Agrupamiento	Media	N	Tratamiento
E G D F	62.344	3	1
G	50.797	3	Control 1
E G D F	60.829	3	2
G	52.322	3	Control 2
E G D F	60.224	3	3
E G	55.163	3	Control 3
E G D F	67.088	3	4
E G D F	58.815	3	Control 4
B	93.444	3	Patrón ASB
E G D F	61.830	3	5
G	52.393	3	Control 5
E G D F	57.749	3	6
E G	56.408	3	Control 6
E G D F C	71.360	3	7
E G D F	62.476	3	Control 7
B D A C	77.627	3	8
E G D F	63.461	3	Control 8
B	91.492	3	Patrón ASB
E G D F C	70.820	3	9
E G D F	65.405	3	Control 9
E G D F C	71.459	3	10
E G D F	62.699	3	Control 10
E B D F C	72.823	3	11
E G D F	63.233	3	Control 11
E B D A C	74.510	3	12
E G D F	66.835	3	Control 12
B	95.352	3	Patrón ASB
E G D F	65.181	3	13
E G D F	61.464	3	Control 13
E G D F	68.843	3	14
E G D F	59.541	3	Control 14
E G D F	67.024	3	15
E G D F	60.036	3	Control 15
E B D C	73.877	3	16
E G D F	66.708	3	Control 16
B	91.303	3	Patrón ASB

Evaluación del efecto de la aplicación de radiación UV-B durante la poscosecha en la calidad de los extractos de tomillo (*Thymus vulgaris* L.)

Correlación entre variables

Estado fenológico 1 (39 G_ 75 ddt) y 2 (92 ddt)	Tratamiento 1 (UVB 0,05 Whm-2) y 2 (UVB 0,075 Whm-2)	Tiempo de adaptación Tiempo 1 (24 h): 1 y tiempo 2 (48 h): 2	Matriz 1 (fresco)-2 (seco)	%AGeM	mgC3G	mg QRT /ml	IS
Estado fenológico 1 (39 G_ 75 ddt) y 2 (92 ddt)	0						
Tratamiento 1 (UVB 0,05 Whm-2) y 2 (UVB 0,075 Whm-2)		0					
Tiempo de adaptación Tiempo 1 (24 h): 1 y tiempo 2 (48 h): 2			0				
Matriz 1 (fresco)-2 (seco)	1						
%AGeM	0,776199008	0,312669516	0,072343713	0,776199008			
mgC3G	0,910952971	0,081804967	0,012993312	0,910952971	0,82661174		
mg QRT /ml	0,820667958	-0,27112565	0,011477279	0,820667958	0,9137861	0,85185244	
IS	0,128832765	0,169867664	0,001527954	0,128832765	0,04750729	0,04518213	0,08396337

D. Anexo D: Planos y diseño de la cámara



Software empleado: Autocad © 2011 Autodesk, Inc. All rights reserved. A y A1 (bandejas en lámina galvanizada dimensiones 0,5 m x 0,8 m x 0,05 m), B (Porta bandeja abatible en lámina galvanizada dimensiones 0,6 m x 1,6 m x 0,01 m), C y C1 (Puertas en lámina galvanizada con exterior en triplex de 0,3 mm), D (temporizador encendido lámparas UVB y extractor), E y E1 (lámparas Philips TL 40W/12RS), F (regleta para lámpara Philips TL 40W/12RS), G (Extractor) y H (Aislamiento en lámina galvanizada dimensiones 0,6 m x 0,6 m x 1,7 m).

Evaluación del efecto de la aplicación de radiación UV-B durante la poscosecha en la calidad de los extractos de tomillo (*Thymus vulgaris* L.)



Diseño cámara para aplicación de radiación UVB, 1 (vista lateral extractor y regletas), 2 (Vista exterior bandejas y aislamiento en lámina galvanizada), 3 (temporizador), 4 (regulador de distancia 3 niveles entre bandejas y luminaria UVB) y 5 (equipo UVB en funcionamiento).