

COMPUESTOS FENÓLICOS Y ANTIOXIDANTES EN ALBAHACA (*Ocimum basilicum* L.) BAJO SOLUCIONES NUTRITIVAS ORGÁNICAS EN INVERNADERO

MARÍA DEL ROSARIO MONCAYO LUJÁN

Tesis

Presentada como requisito parcial para optar por
el grado de Doctor en Ciencias Agrarias



Universidad Autónoma
Agraria Antonio Narro
Unidad Laguna
SUBDIRECCIÓN DE
POSTGRADO

Torreón, Coahuila, junio de 2015

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO**

TESIS

**Compuestos fenólicos y antioxidantes en Albahaca (*Ocimum basilicum*
L.) bajo soluciones nutritivas orgánicas en invernadero**

MARÍA DEL ROSARIO MONCAYO LUJÁN

Elaborada bajo la supervisión del comité particular de asesoría y aprobada como
requisito parcial para optar al grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS AGRARIAS

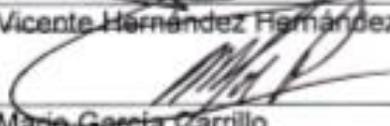
Comité Particular de Asesoría

Asesor principal 
Dr. Vicente De Paol Álvarez Reyna

Asesor 
Dr. Guillermo González Cervantes

Asesor 
Dra. Manuela Bolívar Duarte

Asesor 
Dr. Vicente Hernández Hernández

Asesor 
Dr. Mario García Carrillo


Dr. Raúl Villegas Vizcaino
Jefe del Departamento de Postgrado


Dr. Alberto Sandoval Rangel
Subdirector de Postgrado

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por abrirme la puerta para estudiar el programa de Doctorado en Ciencias Agrarias.

A la Universidad Politécnica de Gómez Palacio por darme la oportunidad de superación y permitirme usar sus instalaciones para realizar parte de este trabajo.

Al Ph.D. Vicente de Paul Álvarez Reyna, por aceptarme en el programa de doctorado, por aceptar ser mi director de tesis, por su apoyo incondicional, por su amistad invaluable y por su paciencia y sobre todo por confiar en mí. Gracias Doctor.

Al Dr. Guillermo González Cervantes por ser Co-director en el proyecto de investigación, por su valioso apoyo, consejos y paciencia.

A la Dra. Lilia Salas Pérez por su asesoría, disposición y paciencia para enseñarme las técnicas de análisis.

A la Dra. Manuela Bolívar Duarte, al Ph.D. Vicente Hernández y al Dr. Mario García Carrillo, ustedes formaron parte muy importante en mi formación, preparación académica y personal.

Al personal administrativo de la UAAAN por facilitar mi tránsito por sus instalaciones.

A Abby por ser mi amiga y apoyarme incondicionalmente durante todo el doctorado.

Al Ph. D. Pedro Cano Ríos por su paciencia y palabras de aliento y apoyo en todo momento.

Al M.C. Miguel Ángel Serrano García, Director Académico de la Universidad Politécnica de Gómez Palacio por su amistad y por apoyarme en cada una de mis iniciativas, especialmente en esta.

Al Dr. Miguel Ángel Segura Castruita por su decidido apoyo en la recta final de mis estudios. Gracias Doctor.

DEDICATORIA

A Osauro, Marianne y Michelle

*Por su comprensión, por estar siempre conmigo, por cederme su tiempo...
por ayudarme a cumplir mis sueños.*

A mi mamá, Nieves y Jesús Manuel...

por obsequiarme parte de su luz.

*A mi papá y a Lucy
...por regresar siempre que les llamé.*

ÍNDICE GENERAL

| | Página |
|--------------|--------|
| COMPENDIO | i |
| ABSTRACT | iii |
| INTRODUCCIÓN | 12 |
| OBJETIVOS | 14 |

CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

| | | |
|------|--|----|
| 1.1. | Origen e historia de la especie | 15 |
| 1.2. | Descripción y características botánicas | 15 |
| 1.3. | Partes útiles de la planta | 16 |
| 1.4. | Principales componentes | 16 |
| 1.5. | Uso de la especie | 16 |
| | 1.5.1. En la cocina | 17 |
| | 1.5.2. Tradicional | 17 |
| | 1.5.3. Cosmético | 18 |
| 1.6. | Fenología del cultivo | 18 |
| 1.7. | Aspectos fitotécnicos del cultivo | 19 |
| | 1.7.1. Condiciones edafoclimáticas | 19 |
| | 1.7.2. Siembra | 19 |
| | 1.7.3. Plagas | 20 |
| | 1.7.4. Enfermedades más comunes de la albahaca | 20 |
| | 1.7.5. Cosecha y postcosecha | 21 |
| | 1.7.6. Condiciones de almacenamiento | 21 |
| 1.8. | Cultivos sin suelo | 21 |
| 1.9. | Sustratos | 22 |
| | 1.9.1. Perlita | 23 |

| | |
|---|----|
| 1.9.2. Arena..... | 23 |
| 1.10. Bioestimulantes..... | 23 |
| 1.11. Espectroscopia de infrarrojo..... | 25 |
| 1.12. Los compuestos fenólicos en las plantas..... | 26 |
| 1.12.1. Estructuras de los compuestos fenólicos..... | 26 |
| 1.12.2. Función de los compuestos fenólicos..... | 27 |
| 1.12.3. Biosíntesis de los compuestos fenólicos..... | 29 |
| 1.13. Antioxidantes..... | 32 |
| 1.13.1. Tipos de antioxidantes presentes en las plantas..... | 33 |
| 1.13.2. Cuantificación de los compuestos fenólicos y capacidad antioxidante..... | 35 |

CAPÍTULO 2. ARTÍCULOS

| | |
|--|----|
| 2.1. PRODUCCIÓN ORGÁNICA DE ALBAHACA EN INVERNADERO EN LA COMARCA LAGUNERA..... | 37 |
| 2.2. PRODUCCIÓN DE ALBAHACA (<i>Ocimum basilicum</i> L.) ORGÁNICA EN INVERNADERO COMO FUENTE DE COMPUESTOS FENÓLICOS Y ANTIOXIDANTES..... | 50 |

CAPÍTULO 3. DISCUSIÓN GENERAL Y CONCLUSIONES

| | |
|-----------------------------|----|
| 3.1. Discusión general..... | 71 |
| 3.2. Conclusiones..... | 71 |

CAPÍTULO 4. BIBLIOGRAFÍA.....

COMPENDIO

COMPUESTOS FENÓLICOS Y ANTIOXIDANTES EN ALBAHACA (*Ocimum basilicum* L.) BAJO SOLUCIONES NUTRITIVAS ORGÁNICAS EN INVERNADERO

COMPENDIO

POR

MARÍA DEL ROSARIO MONCAYO LUJÁN

DOCTORADO EN CIENCIAS AGRARIAS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

RESUMEN

La albahaca (*Ocimum basilicum* L.) es muy utilizada en medicina tradicional para curar afecciones gastrointestinales (diarreas y parasitismo), respiratorias (bronquitis y tos), dolor de oídos y reumatismo. Tópicamente es usada en baños y cataplasmas para tratar afecciones de la piel. Se le atribuyen propiedades antisépticas, antiinflamatorias, antiespasmódicas y analgésicas, debidas al contenido de compuestos fitoquímicos con elevada bioactividad como los compuestos fenólicos. Estos compuestos constituyen un amplio grupo de sustancias químicas consideradas metabolitos secundarios de las plantas y se relacionan con el mejoramiento del valor nutritivo y de la salud; lo que ha generado un creciente interés por su evaluación en plantas. El contenido de compuestos fenólicos en las plantas está en función de factores como la especie, variedad, tejido vegetal, condiciones ambientales y condiciones de manejo agronómico, entre las que destaca la fertilización.

El objetivo de esta investigación fue evaluar la factibilidad de sustituir los fertilizantes químicos por soluciones nutritivas orgánicas y la respuesta en rendimiento, contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante de albahaca blanca producida en invernadero en dos sustratos (perlita y perlita-arena).

Los resultados obtenidos indican que el rendimiento fue mayor mediante fertilización tradicional aplicando soluciones químicas que con las soluciones nutritivas orgánicas. Los sustratos también afectaron el rendimiento; se obtuvo mayor rendimiento con el sustrato arena.

Al considerar los tratamientos, la combinación de arena con solución química tradicional presentó mayor rendimiento.

Las soluciones nutritivas orgánicas favorecieron la producción de compuestos fenólicos, mientras que la menor cantidad fue producida mediante la fertilización química.

Los sustratos afectaron la producción de compuestos fenólicos; la mayor cantidad fue producida en el sustrato arena.

Al evaluar los tratamientos se encontró que la combinación de arena con solución de compost presentó mayor cantidad de compuestos fenólicos.

En cuanto a la capacidad antioxidante, los extractos obtenidos de las plantas tratadas con solución de vermicomposta y con solución de composta, presentaron mayor capacidad antioxidante que los demás tratamientos.

Se concluye que la producción de albahaca orgánica en condiciones protegidas, utilizando arena como sustrato y solución de compost o vermicompost como soluciones nutritivas, es una alternativa para estimular la producción de compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante, además de la reducción del uso de agroquímicos, quedando abierta la oportunidad para implementar la producción sostenible de este importante cultivo.

Palabras clave: Fitoquímicos; agricultura protegida; nutrición orgánica.

ABSTRACT

Basil (*Ocimum basilicum* L.) is widely used in traditional medicine to treat gastrointestinal (diarrhea, parasites), respiratory (bronchitis, cough) disorders, eye pain and rheumatism. Topically is used in baths and poultices to treat skin conditions. Antiseptic, antiinflammatory, analgesic and antispasmodic properties are attributed to the plant due to the content of phytochemicals with high bioactivity as phenolic compounds.

These compounds represent a large group of chemicals, considered secondary as metabolites of plants and related to improvement of the nutritional value and therefore, of health; This has generated a growing interest in the evaluation of the plant.

The content of phenolic compounds in plants is based on factors such as species, variety, plant tissue, environmental conditions and agronomic management conditions, among which fertilization.

The objective of this research was to evaluate the feasibility of replacing chemical fertilizers with organic nutrient solutions and yield response, phenolic content and antioxidant capacity of banking basil produced in greenhouses on two substrates (perlite and sand-perlita).

The results indicate that yield was increased by fertilization using traditional chemicals. The substrates also affected the performance; higher performance with sand substrate was obtained. When considering the treatments, the highest yield was obtained with the combination of sand and traditional chemical solution. Organic nutrient solutions favored the production of phenolic compounds, while the lowest amount of the compounds was produced with chemical fertilization. Substrates affected the production of phenolic compounds; the highest amount produced in the sand substrate.

In evaluating treatments was found that the combination of sand with compost solution showed higher amount of phenolic compounds.

As to the antioxidant, the extracts obtained from plants treated with SC and SV had higher antioxidant capacity than the other treatments.

It is concluded that the production of organic basil in protected conditions, using sand as substrate and solution compost or vermicompost as nutrient solutions, is an alternative to stimulate the production of phenolic and antioxidant compounds to ando reduce the use of agrochemicals, leaving open the opportunity to implement sustainable production of this important crop.

Keywords: Phytochemicals; protected agriculture; organic nutrition.

INTRODUCCIÓN

Las plantas son una fuente inagotable de productos químicos bioactivos, muchos de ellos con importantes aplicaciones tecnológicas. Esto ha generado un particular interés por las actividades biológicas de las plantas y ha llevado a una serie de investigaciones de plantas medicinales.

Ocimum basilicum L. es un cultivo de importancia económica global, con una producción mundial anual de 100 ton de aceites esenciales (Chirinos *et al.*, 2009), almacenados ubicados en diversos órganos de la planta (flores, hojas, brotes, tallos y semillas) con una calidad que depende de factores externos (climáticos y agronómicos) e internos del cultivo (variedad, edad de la planta y órgano utilizado) (Werker *et al.*, 1993).

Esta planta es muy utilizada en la medicina tradicional para curar afecciones gastrointestinales (diarreas, parasitismo), respiratorias (bronquitis y tos), dolor de oídos y reumatismo. Tópicamente es usada en baños y cataplasmas para tratar afecciones de la piel. Se le atribuyen propiedades antisépticas, antiinflamatorias, antiespasmódicas y analgésicas.

Las propiedades anteriormente descritas derivan de los compuestos fenólicos que contiene (Solís *et al.*, 2008).

El interés por este tipo de compuestos ha aumentado recientemente debido a las aplicaciones industriales como la producción de pinturas, papel, cosméticos, fragancias, agentes curtientes, insecticidas, fungicidas, y en la industria alimentaria como aditivos, colorantes y conservantes (Taiz y Zeiger, 2006).

Los compuestos fenólicos tienen una posición significativa entre las sustancias naturales utilizadas por el hombre para propósitos terapéuticos (Piñol *et al.*, 2001) debido a la relación que existe entre el contenido de estos y la capacidad antioxidante de muchas

frutas y vegetales, la misma que ha mostrado estar implicada en el tratamiento y prevención de varias enfermedades.

El uso de especias y hierbas supone una alternativa prometedora al uso de antioxidantes sintéticos, por lo que surge la necesidad de encontrar antioxidantes naturales de extractos de plantas (Pokorny *et al.*, 2005).

La agricultura orgánica en México y en el mundo, muestra una tendencia acelerada de crecimiento en cuanto a superficie cultivada y consumo (IFOAM, 2004). Esta es una alternativa que ha mostrado bondades para los consumidores por la inocuidad de los alimentos, para los productores por su rentabilidad y para la sociedad por su efecto positivo en salud humana y ambiental.

Implica, en términos prácticos, una forma de producir alimentos sin uso de insumos sintéticos o agroquímicos. Por otro lado, la agricultura orgánica es un movimiento mundial que tiene que ver con agricultura ecológica, biodinámica y biológica.

Es un movimiento filosófico que tiene implícito ciertos valores, creencias y comportamiento de la gente. Actualmente existe una mayor preocupación por la salud humana y esto es motivo esencial para la demanda de alimentos sanos, frescos y exentos de contaminantes o patógenos (Pérez *et al.*, 2012).

La fertilización destaca entre los factores que determinan el contenido de los compuestos fenólicos en las plantas, además de la especie, variedad, tejido vegetal, condiciones ambientales y condiciones de manejo agronómico (Alizadeh *et al.*, 2010).

En México, algunos estados como Morelos, Baja California Sur, Baja California, Estado de México, Nayarit, Oaxaca, Puebla y Tlaxcala, sobresalen como los principales productores de hierbas aromáticas de exportación que cumplen con los protocolos de Buenas Prácticas Agrícolas o certificación orgánica (Pérez *et al.*, 2012).

En la Comarca Lagunera, la albahaca no se produce a nivel comercial, por lo que este estudio se enfoca a producción de albahaca como fuente de compuestos fenólicos y antioxidantes bajo bioestimulación orgánica.

OBJETIVOS

1. Evaluar soluciones nutritivas orgánicas y sustrato sobre el rendimiento de la albahaca blanca en invernadero.
2. Evaluar soluciones nutritivas orgánicas en el contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante de la albahaca blanca producida en invernadero.

HIPÓTESIS

H₁: Las soluciones nutritivas orgánicas mejoran la producción de albahaca blanca en invernadero.

H₂: La bioestimulación con soluciones nutritivas orgánicas aumenta el contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante en albahaca blanca en invernadero.

CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1. Origen e historia de la especie

La albahaca es una especie de la familia de las labiadas, originaria de Punjab, India. El nombre científico de la albahaca se deriva del griego *basilickón*, que quiere decir real y su nombre genérico se deriva de la palabra griega *ókimon*, que significa oloroso, en alusión a la fragancia de sus hojas.

En la India, de donde es originaria, así como en las regiones cálidas de África se le considera una planta sagrada, ofrecida a los dioses Vishnu y Krishna (Mukherjee y Wahile, 2006).

La albahaca fue introducida en Europa en el siglo XVI por los griegos y sucesivamente por los romanos; en Egipto se utilizaba como uno de los componentes del bálsamo para momificación; para los romanos además de ser un símbolo de los enamorados, era una de las especias usadas en la cocina.

El género *Ocimum* está difundido en Asia, África y América Central y del Sur, sin embargo, según Adigüzel *et al.* (2005), su centro de diversidad se encuentra en África.

1.2. Descripción y características botánicas

La albahaca es una planta herbácea, anual, de tallo erecto, ramificado, que alcanza una altura de 30 a 50 cm. Las hojas son opuestas, pecioladas, aovadas lanceoladas y ligeramente dentadas. Las brácteas que acompañan a las flores caen precozmente y cada una de éstas presenta en la axila tres pequeñas flores. El color de las flores es blanco o

purpúreo y están dispuestas en tirso alargados en la parte superior del tallo y en los extremos de las ramas.

Sus flores son hermafroditas, pentámeras, gamosépalas, gamopétalas, con cuatro estambres blancos y gineceo bicarpelar con estilo largo, bífido y estigma de mayor longitud que los estambres. El fruto está constituido por cuatro aquenios pequeños, ovoides y lisos de 2 a 3 milímetros (Collura y Storti, 1971; Gulati, 1977; Ceroni, 1989).

1.3. Partes útiles de la planta

Las partes útiles son las hojas y las partes florales, desecadas o frescas. Su olor es pronunciado y agradable, su sabor algo salado y picante, por eso es usada en salsas y ensaladas. También se le extrae el aceite esencial ya que éste posee propiedades estimulantes, antiespasmódicas, digestivas, carminativas y antitusígenas (Ceroni, 1989). Además, tiene propiedades antifúngicas, antibacterianas y repele insectos (Sinha y Gulati, 1991).

1.4. Principales componentes

El aceite esencial (menos de 1 %) tiene una composición compleja y variable. Dentro de esta especie existe variabilidad en el contenido de sus diversas propiedades químicas (Briseño *et al.*, 2013).

La calidad de aceite esencial está en función de la composición de este, la cual está enormemente influenciada por el clima, el suelo y la época de cosecha como por el manejo de los nutrientes (Anwar *et al.*, 2005).

Los componentes más importantes del aroma son el 1,8-cineol, linalol, citral, metilchavicol (estragol), eugenol y metilcinamato. Las especies africanas contienen a menudo alcanfor. Otros monoterpenos (ocimeno, geraniol, alcanfor), sesquiterpenos (bisaboleno, caryofileno) y fenilpropanoides (metil-eugenol) pueden estar presentes en cantidades variables e influyen fuertemente el sabor.

El aceite esencial se acumula en los pétalos en las flores y se obtiene por destilación con arrastre de vapor de agua, de la parte aérea de la planta, siendo muy utilizado principalmente en la industria alimentaria.

1.5. Uso de la especie

1.5.1. En la cocina

De la albahaca sólo se usan sus hojas frescas o secas; gracias a su sabor en fresco es apta en la preparación de platos gourmet. Su aceite esencial localizado en las flores de la planta se obtiene por destilación con arrastre de vapor de agua, de la parte aérea de la planta siendo muy utilizado en la industria alimenticia fundamentalmente en Francia como saborizante y condimento.

1.5.2. Tradicional

Es considerada estimulante tónico, carminativo, febrífugo, expectorante, diurético, digestivo, laxante, vermífugo, analgésico, antibacterial, antidiarreico, antiemético, antiespasmódico, sedante, ayuda en el parto, calmante de las picaduras de los insectos y también se le atribuyen propiedades afrodisíacas (PDR, 2000).

1.5.3. Cosmético

La albahaca también tiene uso cosmético y farmacéutico, y un elevado valor curativo para varias enfermedades. El aceite esencial se utiliza en la elaboración de jabones, cosméticos y perfumes, en farmacia como estimulante, antiespasmódico y en la industria de perfumería para aromatizar cosméticos y perfumería fina (Vega *et al.*, 2008).

1.6. Fenología del cultivo

Los estudios fenológicos resultan de gran utilidad en el manejo agrícola de los cultivos pues brindan la posibilidad de conocer las necesidades en cada etapa de desarrollo (Cruz *et al.*, 2005). Las etapas de la fenología son las siguientes (Barroso, 2003):

- A. Germinación.
- B. Emergencia a la superficie del suelo.
- C. Emisión del primer par de hojas verdaderas.
- D. Emisión del primer par de brotes axilares.
- E. Aparición de las yemas florales.
- F. Aparición de las inflorescencias en el ápice del tallo.
- G. Aparición de las inflorescencias laterales.
- H. Inicio de la senescencia en el primer par de hojas.

El ciclo biológico es de 76 días en la siembra de enero y de 60 días en la siembra de abril, lo que se debe al efecto de la mayor temperatura en esta última, lo que provoca un crecimiento más rápido.

1.7. Aspectos fitotécnicos del cultivo

1.7.1. Condiciones edafoclimáticas para la producción de masa vegetal, rendimiento y calidad.

Los factores de mayor importancia para el crecimiento y producción de la albahaca son:

- **Clima:** requiere un clima cálido o templado-cálido, (las plantas no resisten heladas ni temperatura inferior a 0°C). Las temperatura entre 24-30 °C durante el día y 16-20 °C durante la noche, combinadas con una longitud del día de 16 horas (Colombia), inducen una alta tasa de desarrollo. Temperaturas mayores (> a 30°C) causan estrés y marchitamiento.
- **Altitud:** el cultivo de albahaca se distribuye en regiones entre los 0-1000 msnm
- **Humedad relativa (HR):** la planta de albahaca requiere una HR de 60 a 70 % (CCI, 2007).

1.7.2. Siembra

El instituto nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pesqueras (INIFAP, 2002) recomienda realizar la siembra preferentemente del 15 de febrero al 15 de abril, o bien, del 15 de septiembre al 15 de octubre. Como las semillas son tan pequeñas, la profundidad de siembra no debe superar los 0.3 cm. El poder germinativo es de un 80 %. Para cultivos orgánicos, la semilla no debe ser tratada con fungicidas, insecticidas o agroquímicos sintéticos.

1.7.3. Plagas

El cultivo de albahaca se puede ver afectado por diferentes plagas de insectos, los cuales se presentan dependiendo de la época en que se haya realizado la siembra y del medio ambiente, así como de cambios climáticos y corrientes de aire, ya que los insectos son arrastrados por el viento (Briseño *et al.*, 2013). Los más frecuentes son:

- Minador de la hoja (*Liriomyza spp*)
- Gusano soldado (*Spodoptera exigua*)
- Trips (*Frankliniella occidentalis*)
- Mosquita blanca (*Bemisia tabaci*)
- Pulgones (*Mizus persicae*)

1.7.4. Enfermedades más comunes de la albahaca

Los principales agentes causales de enfermedades fungosas en las hojas y afectaciones vasculares en las plantas son: *Cercospora ocimicola* Petrok y Cifferi, *Curvularia sp*, *Fusarium sp* y *Alternaria sp*.

Estos organismos son de suma importancia en el cultivo de albahaca ya que se presentan en los meses de calor o de neblinas muy fuertes (cambios bruscos de temperatura), por lo que se debe estar atento con el monitoreo, ya que una vez que la enfermedad ocurre en la planta es difícil erradicarla y se debe tomar en cuenta que lo que interesa son las hojas, por lo cual el follaje debe ser sano y de un color verde oscuro para que el producto tenga una mayor demanda.

1.7.5. Cosecha y post cosecha

Se recomienda que la cosecha de albahaca se realice muy temprano en la mañana para obtener producto turgente. Los tallos se cortan entre 10 a 15 cm sobre la superficie del suelo, dejando parte del área foliar para garantizar el rebrote de las ramas.

La primera cosecha se realiza entre los 90 y 110 días después de la siembra, momento en que el rendimiento potencial del aceite se encuentra entre 0.3 y 0.4%. Las plantas cortadas se depositan en canastillas plásticas con una capacidad máxima de 2.5 kg para evitar maltratar el producto; estas canastillas deben contener agua para favorecer la conservación del producto y evitar que incremente la temperatura.

1.7.6. Condiciones de almacenamiento

- Temperatura de almacenamiento: 10-12°C.
- Humedad relativa: 80-90%.
- Almacenamiento de atmósfera controlada: 5.0% O₂, 5.0% de CO₂ y 90% N₂.
- Vida de almacenamiento: aproximadamente de 2 a 3 semanas.

1.8. Cultivo sin suelo

Por cultivo sin suelo se entiende cualquier sistema que no emplea el suelo para su desarrollo, pudiéndose cultivar en una solución nutritiva, o sobre cualquier sustrato con adición de solución nutritiva.

La nutrición puede ser controlada mejor que en los sistemas de cultivo en suelo; se emplea una solución nutritiva directamente o aplicada a un sustrato totalmente inerte, sin actividad química, o sobre sustratos con una baja capacidad de intercambio catiónico. Se pueden emplear sustratos distintos a los comercialmente conocidos y procedentes de

residuos, como la paja de cereales, fibra de coco, ladrillo triturado, fibra de madera, residuo de la industria del corcho, perlita, arena, etc. (Baixauli y Aguilar, 2002).

En estos cultivos se puede conseguir una mayor precocidad y mayor potencial productivo, debido a que la planta cuando toma la solución nutritiva, consume menos energía para su desarrollo que en los sistemas de cultivo en suelo. Se puede obtener una mejor calidad de cultivo y por lo tanto del producto.

El sistema requiere de precisión en el manejo del riego y nutrición. En cultivos sin suelo generalmente se trabaja con bajo volumen de sustrato, con poca reserva de agua y un error puede traer consecuencias fatales.

El establecimiento de un cultivo sin suelo, supone un mayor costo de producción, tanto por los elementos de riego como por la adquisición de contenedores y sustratos.

Se puede considerar que el sistema es eficaz en la mayor parte de los cultivos hortícolas y en algunos florales, como rosas, gerbera, clavel, cultivados en invernadero (Baixauli y Aguilar, 2002).

1.9. Sustrato

La elección del tipo de sustrato es una de las decisiones más importantes. Un primer dato que puede ayudar a su elección es la evolución que han seguido los distintos sustratos en la Comarca Lagunera en años recientes. La arena de río y la perlita han sido ampliamente utilizados en el cultivo de hortalizas en invernadero, como lo demuestran diversos proyectos de investigación (Segura *et al.*, 2008).

1.9.1. Perlita.

La perlita es un silicato de aluminio de origen volcánico. El material recién sacado se muele y es transformado industrialmente mediante un tratamiento térmico con precalentado a 300-400°C y depositado en hornos a 1000°C. A estas temperaturas se evapora el agua contenida en sus partículas, obteniendo un material muy ligero con una alta porosidad y 128 kg/m³ de densidad (Baixauli y Aguilar, 2002).

Existen en el mercado diferentes tamaños de partícula, que dan lugar a los distintos tipos de perlita, siendo uno de los más comercializados el tipo B-12, que está formado por fracciones medias y gruesas junto con fracciones finas. Se debe prestar especial atención a su manipulación evitando la posible degradación de su granulometría, una perlita pulverulenta puede reducir la aireación del sustrato y afectar al buen drenaje del mismo (Baixauli y Aguilar, 2002).

1.9.2. Arena

Es un material de naturaleza silíceo y de composición variable, dependiendo de la roca silíceo original.

Procede de canteras (granito, gneis, basalto, etc.), o de ríos procedente de depósitos de formación aluvial, más o menos reciente. Las primeras son más homogéneas que las de río. Deben estar exentas de limo y arcilla. El nivel de carbonato cálcico no deberá ser superior al 10%. El tamaño de las partículas debe estar comprendido entre 0,02 y 2 mm y una adecuada distribución de los tamaños.

Tiene una densidad aparente de 1,5 g /cm³, un espacio poroso <50%, con tamaños de partícula inferiores a 0,5 mm la capacidad de retención de agua es alta. Con los tamaños mencionados presenta un buen drenaje.

Si está exenta de limo, arcilla y carbonato cálcico, es inerte químicamente y presenta una capacidad de intercambio catiónico muy baja < 5 meq /100 g. Por su gran resistencia mecánica es un sustrato permanente.

1.10. Bioestimulante

Un bioestimulante es definido por sus efectos, por lo que hace, y no por lo que es, puesto que la categoría incluye una gran diversidad de sustancias. La palabra bioestimulante sugiere “estimulación del crecimiento”, pero estas sustancias hacen mucho más que eso.

La tolerancia al estrés, sequía y resistencia a las enfermedades son quizá los beneficios más importantes que proporcionan los bioestimulantes, pero también estimulan el crecimiento de la raíz y promueven la actividad antioxidante, y aún falta estudiar muchos otros aspectos sobre su actividad, identificación y caracterización (García y González, 2005).

El compostaje es un proceso de descomposición y humificación que determina la disponibilidad de nutrimentos y ecología microbiana. Los composts tienen una cantidad sustancial de materia orgánica con una cantidad significativa de sustancias húmicas (Chang Chien *et al.*, 2006).

Las sustancias húmicas son el producto de la descomposición de residuos de plantas y animales. Los téis de composta y vermicomposta y el lixiviado de vermicomposta,

son el producto de la fermentación aeróbica de composta o vermicomposta en agua, pueden utilizarse como soluciones nutritivas o bioestimulantes debido a que contiene nutrimentos solubles y microorganismos benéficos (Ingham, 2005).

En cultivos aromáticos empleando tés de composta y vermicomposta se ha obtenido mayor contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante (Pant *et al.*, 2009).

1.11. Espectroscopía de infrarrojo

La técnica de espectroscopía de Infrarrojo permite la identificación de los grupos funcionales de un compuesto. Esto, debido a que cuando una molécula absorbe radiación infrarroja, la vibración intramolecular con frecuencia igual a la de la radiación, aumenta en intensidad, lo que genera señales con frecuencias que corresponden a la vibración de un enlace específico

Los métodos de espectroscopia cuantifican la composición química que forman las capas de las sustancias húmicas. La espectroscopia infrarroja (IR) es un análisis de precisión, utilizado en la actualidad para caracterizar las sustancias húmicas y sus fracciones: ácidos húmicos (AH) y ácidos fúlvicos (AF); proporciona información sobre los grupos funcionales contenidos en la estructura de los AH y AF (Gostishcheva *et al.*, 2009).

Algunos de los grupos funcionales que pueden ser detectados por IR son: -N-R, esto representa una amina terciaria en la banda 760 y 631 cm^{-1} , los -OH secundarios para ambos ácidos húmicos, se localizan en las bandas 1130 y 1120 cm^{-1} , los grupos CH-OH, -OH del vehículo de extracción, se encuentran en la misma banda 1390 cm^{-1} para las dos mezclas, las aminas o amidas N-H o con enlace carboxilos-C=O en 1620 y 1600 cm^{-1} , respectivamente, el -CH₃ se presenta en 1930

cm⁻¹, el CH₂-CH₃ se localiza en 2870 y 2840 cm⁻¹, de igual manera el -OH libre se presenta en la misma onda 3390 cm⁻¹ (López *et al.*, 2014).

1.12. Los compuestos fenólicos en las plantas.

Las plantas vasculares sintetizan una gran cantidad de moléculas orgánicas, como consecuencia de su metabolismo secundario. Los fenoles son metabolitos secundarios ampliamente distribuidos en el reino vegetal. Se localizan en todas las partes de las plantas y su concentración es variable a lo largo del ciclo vegetativo.

Estos compuestos participan en diversas funciones, tales como la asimilación de nutrimentos, síntesis proteica, actividad enzimática, fotosíntesis, formación de componentes estructurales, alelopatía y defensa ante los factores adversos del ambiente.

Los fenoles están asociados al color, características sensoriales (sabor, astringencia, dureza), características nutritivas y propiedades antioxidantes de los alimentos de origen vegetal. La característica antioxidante de los fenoles se debe a la reactividad del grupo fenol (Robbins, 2003; Kähkönen *et al.*, 2001).

1.12.1. Estructuras de los compuestos fenólicos

El término fenoles comprende aproximadamente 8000 compuestos que aparecen en la naturaleza. Todos ellos poseen una estructura común: un anillo fenol (un anillo aromático que lleva al menos un sustituyente hidroxilo) (Figura 1).

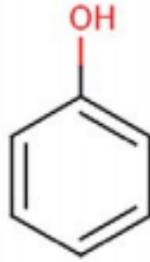


Figura 1. Estructura química del fenol. (Tomado de Azcon-Bieto y Talón, 1993)

Desde el punto de vista de la estructura química, son un grupo muy diverso que comprende desde moléculas sencillas como los ácidos fenólicos hasta polímeros complejos como los taninos y la lignina. En el grupo también se encuentran pigmentos flavonoides (Avalos *et al.*, 2009).

1.12.2. Función de los compuestos fenólicos

La función está determinada por su estructura química, por lo que existe diferencia en la efectividad como antioxidantes entre los distintos grupos de compuestos.

El comportamiento antioxidante de los compuestos fenólicos está relacionado con su capacidad para quelatar metales, inhibir la lipoxigenasa y captar radicales libres. Para que un compuesto fenólico sea clasificado como antioxidante debe cumplir dos condiciones básicas:

- La primera es que cuando se encuentre en una concentración baja con relación al sustrato que va a ser oxidado pueda enlentecer o prevenir la oxidación mediada por un radical libre.

- La segunda es que el radical formado tras el secuestro sea estable y no pueda actuar en oxidaciones posteriores.

Entre los compuestos fenólicos con una reconocida actividad antioxidante destacan los flavonoides, ácidos fenólicos (principalmente hidroxicinámico, hidroxibenzóico, caféico, clorogénico), taninos (elligataninos), calconas y cumarinas, los cuales constituyen la fracción polifenólica de una gran diversidad de alimentos (Shahidi y Wanasundara, 1992).

En situaciones de estrés se produce una acumulación de compuestos fenólicos y, dado el carácter antioxidante de éstos, se ha sugerido que los fenoles desempeñan un papel protector celular clave en estas circunstancias (Dixon y Paiva, 1995).

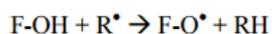
Así, los derivados de hidroxicinamatos y los flavonoides han sido implicados en la protección frente a la peroxidación de los lípidos, proceso que conllevaría la rotura de membranas, pérdida de compartimentación, y por tanto la funcionalidad de la célula (Rice-Evans *et al.*, 1997).

El mecanismo de protección de lípidos por los polifenoles ocurre en el estado inicial y, más efectivamente, durante el estado de propagación de la oxidación lipídica por captura de los radicales libres (R), inhibiendo de esta manera la reacción en cadena.

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.

A su vez, el radical formado puede ser recuperado por otras sustancias antioxidantes, como el ascorbato. En este sentido, se ha sugerido que los compuestos fenólicos podrían participar, en conjunción con el ácido ascórbico y, posiblemente otros reductores, y junto con la enzima peroxidasa, en un sistema encargado de regular el estado redox de la célula (Takahama, 1998).

La capacidad antioxidante de los compuestos fenólicos se debe a su bajo potencial redox por ello son capaces de inactivar de forma efectiva a las EAO, como el anión superóxido y los radicales peroxilo, alcoxilo e hidroxilo, mediante la donación de un protón:



Donde R^{\bullet} representa al anión superóxido y los radicales peroxilo, alcoxilo e hidroxilo.

El radical arilo ($F-O^{\bullet}$) puede seguir reaccionando hasta formar compuestos estables, por ejemplo, las quinonas.

1.12.3. Biosíntesis de los compuestos fenólicos

El conocimiento de las rutas biosintéticas de los compuestos fenólicos, en vegetales, ha experimentado un gran avance, gracias, por un lado, al desarrollo de la enzimología.

Los compuestos fenólicos se originan a partir del metabolismo secundario de las plantas y pueden seguir dos vías principalmente, la vía del ácido shikimico y

la vía del ácido malónico (Taiz y Zeiger, 2006) (Figura 2). La ruta del ácido shikímico, la principal en plantas superiores, depende de la luz y se inicia en los plastos por condensación de dos productos: la eritrosa 4-fosfato (que procede de la ruta de las pentosas fosfato) con el fosfoenolpiruvato (PEP) (intermediario de la glucólisis), y por diversas modificaciones se obtiene el ácido shikímico, del cual deriva el ácido corísmico o corismato, que es un intermediario clave en la síntesis de la fenilalanina, un aminoácido aromático que da origen a los compuestos fenólicos. Los primeros cuatro pasos conducen al shiquimato, cuyos siete carbonos proceden de la eritrosa 4-fosfato y del fosfoenolpiruvato (Figura 1). El shiquimato se convierte en corismato en tres pasos, en los cuales se incorporan otros tres átomos de carbono procedentes de otra molécula de fosfoenolpiruvato. El corismato es el primer punto de ramificación de la vía, con una rama que conduce al triptófano y otra a la fenilalanina y la tirosina (Lehninger, 2007). La fenilalanina se sintetiza a partir del corismato. El intermediario común es el prefenato. El último paso es la transaminación del glutamato. La fenilalanina, aminoácido esencial y parte del metabolismo primario de las plantas, entra al metabolismo secundario cuando la enzima fenilalanina amonio liasa (PAL) cataliza la eliminación de un amonio convirtiendo a la fenilalanina.

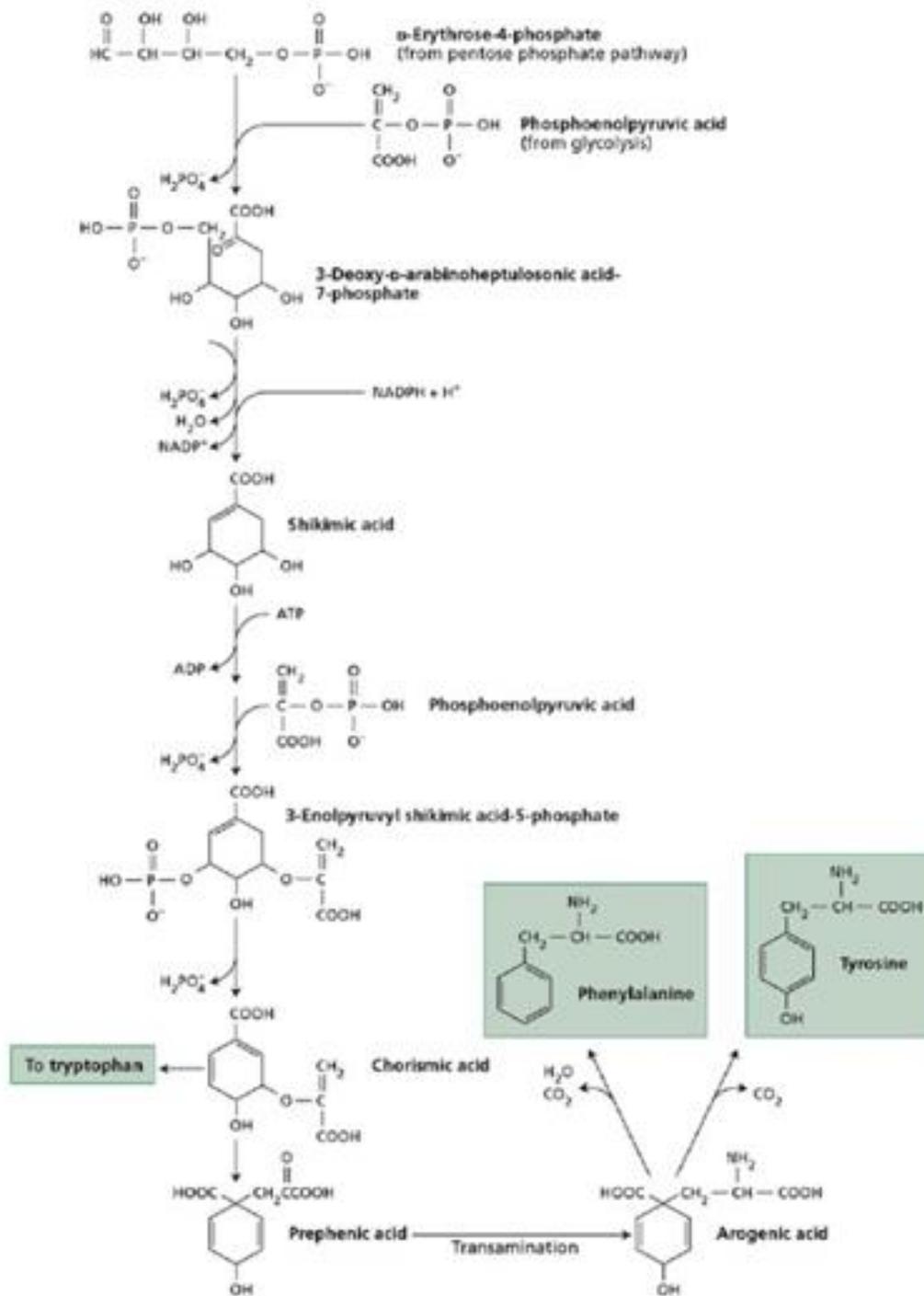


Figura 2. Ruta del ácido shikimico, en donde los compuestos fenólicos son sintetizados por precursores de carbono derivados de la vía de las pentosas fosfato y la glicólisis. Obtenido de Taiz y Zeiger, 2006.

1.13. Antioxidantes

Los antioxidantes son un conjunto heterogéneo de sustancias formado por vitaminas, minerales, compuestos fenólicos, enzimas y otros compuestos vegetales, que bloquean el efecto dañino de los radicales libres (Ferreira, 1995).

El término antioxidante significa que impide la oxidación perjudicial de otras sustancias químicas, ocasionada por reacciones metabólicas. Se puede definir como antioxidante a toda sustancia que hallándose presente a baja concentración respecto a las de una molécula oxidable (biomolécula) retarda o previene la oxidación de ese sustrato (Balch, 2006).

Como sustrato oxidable se pueden considerar casi todas las moléculas orgánicas o inorgánicas que se encuentran en las células vivas, como proteínas, lípidos, hidratos de carbono y las moléculas de ADN.

Los antioxidantes impiden que otras moléculas se unan al oxígeno, al reaccionar-interactuar más rápido con los radicales libres del oxígeno y las especies reactivas del oxígeno que con el resto de las moléculas presentes, en un determinado microambiente (plasmático, citosol, núcleo o líquido extracelular).

La acción del antioxidante es de pérdida de su propia integridad molecular para evitar alteraciones de moléculas (lípidos, proteínas, ADN, etc.) funcionalmente vitales o más importantes (Gutiérrez, 2002).

Su acción la realizan tanto en medios hidrofílicos como hidrofóbicos. Actúan como eliminadoras (Scavengers), con el objetivo de mantener el equilibrio prooxidante/antioxidante a favor de estos últimos.

Entre ellos destacan, a nivel fisiológico, el sistema microvascular, cuya función es mantener los niveles de O₂ en los tejidos y a nivel bioquímico, la defensa antioxidante puede ser enzimática o no enzimática, así como ser un sistema reparador de moléculas.

Los diferentes compuestos con propiedades antioxidantes se encuentran distribuidos por los diversos compartimentos celulares. Su principal función es controlar el daño oxidativo provocado por diferentes compuestos. Estos sistemas antioxidantes tienden a impedir la formación de especies activas del oxígeno (EAO) y especies activas del nitrógeno (EAN), sobre todo de los radicales hidroxilo (\bullet OH) mediante la eliminación de sus precursores: los radicales superóxido y el peróxido de hidrógeno (Hansberg, 2002).

Las especies activas del oxígeno son derivadas del oxígeno (O₂) que son más reactivas que éste en su estado basal de triplete. Son moléculas señaladoras activas a bajas concentraciones. Las EAO son moléculas que contienen uno o más electrones desapareados. Son extremadamente reactivas y pueden provocar daño y muerte celular (Mittler, 2002).

1.13.1. Tipos de antioxidantes presentes en las plantas

Antioxidantes enzimáticos

- Catalasa (CAT). Actúa en presencia de altas concentraciones de peróxido de hidrógeno.
- Glutación peroxidasa (GPx). Es una enzima selenio dependiente, cataliza la reducción de peróxido de hidrógeno a lipoperóxido (L-OOH), usa como agente reductor el glutati6n reducido (GSH).

- Superóxido dismutasa. Esta enzima dismuta el oxígeno para formar peróxido de hidrógeno y su principal función es la protección contra el anión superóxido (Peralta y Volke, 2011).

Antioxidantes no enzimáticos.

En las células vegetales, los antioxidantes más importantes que regulan la homeostasis de ERO son el ascorbato (ASC) y el glutatión (GSH), además de taninos, flavonoides, α -tocoferol, carotenoides y precursores de la lignina (Apel y Hirt, 2004).

Estas moléculas actúan como una red que, a través de una serie de reacciones redox, evita el daño por ERO (Blokhina *et al.*, 2003; Grataoñy *et al.*, 2005). Los carotenoides y flavonoides neutralizan ERO como H_2O_2 , $\cdot OH$ y 1O_2 . El α -tocoferol es el principal antioxidante liposoluble en las membranas fotosintéticas, donde elimina 1O_2 y protege los lípidos contra peroxidación (Gechev *et al.*, 2006). El ASC es el más abundante y poderoso antioxidante hidrosoluble que protege las membranas mediante la reducción de la forma oxidada del α -tocoferol y por la eliminación directa de $\cdot O_2^-$ y $\cdot OH$; es además sustrato de la (ascorbato peroxidasa) APX, que cataliza la reducción de H_2O_2 . El GSH se considera la defensa más importante contra ERO, además de estar involucrado en funciones vitales como el transporte y almacenamiento de azufre reducido, la protección contra metales tóxicos como precursor de fitoquelatinas y la detoxificación de xenobioticos a través de reacciones de conjugación por la glutatión-S-transferasa (Mittler, 2002; Martí *et al.*, 2009).

Las EAO, en determinadas circunstancias, juegan un papel esencial en la ruta de transducción de señales y en los mecanismos de activación enzimática. Esto

indica que la función de los antioxidantes no es la de eliminar por completo las especies activas de oxígeno sino la de regular de forma muy precisa los niveles de estas especies (Singh *et al.*, 2003).

1.13.2. Cuantificación de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante

La determinación de compuestos fenólicos totales se centra en el método de Folin-Ciocalteu, que determina la concentración de polifenoles que se expresa en mg de ácido gálico equivalente por gramo en base seca (mg AG equiv/g BS).

La actividad antioxidante en la albahaca puede ser evaluada de distintas maneras. El método utilizado fue DPPH+ en el que a partir de la formación de radicales, se determina la capacidad que tiene la muestra de extracto para reducir estos radicales, que será proporcional a la cantidad de antioxidantes contenidos en la muestra (Brand *et al.*, 1995).

CAPÍTULO 2. ARTÍCULOS

ARTÍCULO 1

PRODUCCIÓN ORGÁNICA DE ALBAHACA EN INVERNADERO EN LA COMARCA LAGUNERA

Organic Basil Greenhouse Production in the Lagunera Region

María del Rosario Moncayo Luján, Vicente de Paul Álvarez Reyna,
Guillermo González Cervantes, Lilia Salas Pérez y Jorge Armando Chávez
Simental

Terra Latinoamericana 33: 69-77.

Recibido: julio de 2014. Aceptado: febrero de 2015.

TERRA

Latinoamericana

*2015, Año Internacional de los Suelos:
"Crear conciencia en la sociedad para el manejo sostenible del suelo"*



Órgano Oficial de Divulgación de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo

Enero • Marzo de 2015 • Volumen 33 • Número 1 ISSN 2395 - 8030

TERRA LATINOAMERICANA

ENERO - MARZO DE 2015 • VOLUMEN 33 • NÚMERO 1
JANUARY - MARCH, 2015 • VOLUME 33 • NUMBER 1

- 1 Physiological diversity and characterization of benthic microaerobic bacteria.
Diversidad fisiológica y caracterización de bacterias microaeróbicas bentónicas.
José Roberto Angeles Vázquez, Néstor Octavio Pérez Ramírez, Facundo Rivera Becerril, Daniel Martínez Gómez, Alfonso Esquivel Herrera, Marc Pagano, and María Jesús Ferrara Guerrero
- 17 Comparación de métodos para estimar disponibilidad hídrica en cuencas forestales.
Comparison of methods to estimate water availability on forest watersheds.
Carlos Rodrigo Martín Clemente, Joaquín Sosa Ramírez, Manuel Maass Moreno, José de Jesús Luna Ruíz, Antonio de Jesús Mércz Jiménez y Ernesto Flores Ancira
- 27 Alcances y limitaciones de los índices espectrales de la vegetación: análisis de índices de banda ancha.
Scopes and limitations of spectral vegetation indices: analysis of broad band indices.
Fernando Paz Pellat, Martín Enrique Romero Sánchez, Enrique Palacios Vélez, Martín Bolaños González, José René Valdez Lazaide y Arnulfo Alárete
- 51 Análisis de crecimiento y rendimiento de maíz en clima cálido en función del genotipo, biofertilizante y nitrógeno.
Analysis of maize growth and grain yield in a hot climate in function of genotype, biofertilizer and nitrogen.
Cid Aguilar Carpio, José Alberto Salvador Escalante Estrada e Immer Aguilar Mariscal
- 63 Efecto del ácido salicílico en el crecimiento de la raíz y biomasa total de plántulas de trigo.
Effect of salicylic acid on root growth and total biomass of wheat seedlings.
Cesar J. Tucuch Hacs, Gabriel Alcántar González y Alfonso Larqué Sacavedra

TERRA LATINOAMERICANA

69 Producción orgánica de albahaca en invernadero en la comarca lagunera.

Organic basil greenhouse production in the lagunera region.
María del Rosario Moncayo Luján, Vicente de Paul Álvarez Reyna, Guillermo González Cervantes, Lilia Salas Pérez y Jorge Armando Chávez Simental

79 Cambios en el almacenamiento de nitrógeno y agua en el suelo de un matorral desértico transformado a sabana de buffel (*Pennisetum ciliare* (L.) Link).

Changes in nitrogen and water storage in the soil of a desert scrub transformed to buffel (*Pennisetum ciliare* (L.) Link) savanna.
Hernán Celaya Michel, Felipe García Oliva, Julio C. Rodríguez y Alejandro E. Castellanos Villegas

NOTA DE INVESTIGACIÓN / Research Note

95 Mean infiltration speed in a vertisol under different tillage systems. Velocidad media de infiltración en un vertisol bajo distintos sistemas de labranza.

Juan José Martínez Villanueva, Víctor Manuel Vaca García, María Vicenta Esteller Alberich, Andrés González Huerta, Martín Rubi Arriaga, and Francisco Gutiérrez Rodríguez

Revisores de este número
Reviewers of this number

101

PRODUCCIÓN ORGÁNICA DE ALBAHACA EN INVERNADERO EN LA COMARCA LAGUNERA

Organic Basil Greenhouse Production in the Lagunera Region

María del Rosario Moncayo Luján¹, Vicente de Paul Álvarez Reyna¹,
Guillermo González Cervantes^{2*}, Lilia Salas Pérez³ y Jorge Armando Chávez Simental⁴

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar los componentes de producción de albahaca producida con tres tipos de solución nutritiva orgánica en invernadero, con el fin de establecer un esquema de producción en una región árida de México como la Comarca Lagunera. Tres soluciones nutritivas orgánicas fueron evaluadas: lixiviado de vermicomposta (LV), solución de composta (SC) y solución de vermicomposta (SV). Una solución química (SQ) fue utilizada como control; así como dos tipos de sustratos uno arena (A) y una mezcla de perlita-arena (PA) en relación porcentual 80:20, respectivamente. El diseño experimental fue un factorial 2 × 4 en un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones. Las variables respuesta fueron: contenido relativo de clorofila (SPAD), altura de planta (AP), número de hojas (NH), área foliar (AF), rendimiento (R), materia seca (MS) y compuestos fenólicos totales (CFT). Los resultados indican, una diferencia significativa entre AP, AF y CFT. Las diferentes soluciones nutritivas orgánicas tuvieron efecto sobre AP, NH, AF, R y CFT; de tal manera que la SQ produjo plantas con mayor altura (73 cm), NH (89 hojas, promedio) y AF (1259 cm², promedio) seguida por la SC y SV. El LV presentó el mayor R (79 g). La producción de CFT fue favorecida por SV (6.4 mg AG equiv/g BS), en cambio la SQ tuvo la menor cantidad (4.6 mg AG equiv / g BS) aunque este tratamiento mostró

el mayor contenido de MS (12 g). Por último, las interacciones mostraron diferencia altamente significativa sobre AP, NH, AF y CFT. Se concluye que la albahaca orgánica en invernadero es un cultivo con potencial productivo en la Comarca Lagunera bajo condiciones de invernadero.

Palabras clave: *Ocimum basilicum L.*, fertilización orgánica, cultivos protegidos.

SUMMARY

The aim of this study was to evaluate production components of basil produced with three types of organic nutrient solution in a greenhouse, in order to establish a production schedule in an arid region of Mexico, the Lagunera Region. Three organic nutrient solutions were evaluated: vermicompost lixivate (LV), compost solution (SC) and vermicompost solution. A chemical solution (SQ) was used as a control. Two types of substrates were used, one sand (A) and a mixture of perlite-sand (PA) in a ratio of 80:20, respectively. The experimental design was completely randomized 2 × 4 factorial with four replications. The response variables were relative chlorophyll content (SPAD), plant height (AP), number of leaves (NH), leaf area (AF), yield (R), dry matter (MS) and total phenolic compounds (CFT). The results show significant differences for AP, AF and CFT. The organic nutrient solutions had different effects on AP, NH, AF, R and CFT, so that the SQ produced taller plants (73 cm), number of leaves (89 leaves, average) and leaf area (1259 cm², average) followed by SC and SV. In contrast, LV had the highest R (79 g). CFT production was favored by SV (6.4 mg AG equiv / g BS), whereas the SQ had the lowest CFT (4.6 mg AG equiv / g BS), although this treatment showed the highest content of MS (12 g). Finally, interactions showed highly significant differences for AP, NH, AF and CFT. Therefore, it was concluded that organic basil production has potential in the Lagunera Region under greenhouse conditions.

¹ UAAAN-UL, Periférico y Carretera a Sta. Fe s/n. 27052 Torreón, Coahuila, México.

² CENID-RASPA-DNEFAP. Canal Sacramento km 6.5. 35140 Gómez Palacio, Durango, México.

* Autor responsable (gonzalez.guillermo@imifap.gob.mx)

³ Universidad Politécnica de Gómez Palacio. Carretera El Vergel-La Torreña km 0.820. 35120 El Vergel, Gómez Palacio, México.

⁴ Instituto de Silvicultura e Industria de la Madera. SIAP UJED: Boulevard Guadiana 501 Cd. Universitaria. 34120 Durango, Durango, México.

Index words: *Ocimum basilicum* L., organic fertilizers, protected crops.

INTRODUCCIÓN

La albahaca (*Ocimum basilicum* L.) es una planta herbácea aromática originaria de la India (Briseño *et al.*, 2013), es de carácter anual, con tallos erectos y ramificados, frondosa que alcanza de 0.30 a 0.50 m de altura. Se propaga por estacas o semillas; se reproduce en climas áridos y semiáridos y se relaciona con el fotoperiodo, así como en un gradiente altitudinal de 0 a 1000 m (Enciso, 2004).

Existen más de cincuenta especies de albahaca que se diferencian en el tamaño, el color, la apariencia y el sabor (Sánchez y Lucero, 2012), siendo la especie *O. basilicum* L. la que produce mayor cantidad de aceite esencial (Rodríguez *et al.*, 2011), lo que permite su uso en la industria alimenticia, cosmética y farmacéutica. En este sentido, el efecto medicinal de esta planta se debe a los contenidos de alcaloides, taninos, flavonoides y compuestos fenólicos que se encuentran en ella (Naczki, 2006). Específicamente, los compuestos fenólicos son un grupo de antioxidantes naturales, producto del metabolismo secundario de las plantas (Canelas y Olivares, 2002) que se encuentran particularmente en hierbas aromáticas, frutas, vegetales y cereales, por lo que su consumo provoca efectos benéficos para la salud (Naczki, 2006). La síntesis de estos compuestos en las plantas se debe a factores tanto intrínsecos (especie, variedad y tejido vegetal) como extrínsecos, (condiciones ambientales y de manejo agronómico) (Salas *et al.*, 2012), por lo cual su manejo es una alternativa para incrementar la calidad fitoquímica de las plantas.

La agricultura orgánica en México cubre 400 000 ha, con una tasa media de crecimiento del 20% anual en los últimos 10 años; 90% de la producción orgánica es para exportación y está en continua expansión (SAGARPA, 2012). Por otra parte, la superficie que se cultiva orgánicamente para la producción comercial de hierbas aromáticas es de 8351 ha, de las cuales 5% está dedicada a albahaca, con un rendimiento promedio de 6 Mg ha⁻¹ (SIAP, 2012). Los estados productores de albahaca en diferentes tipos de producción son: Baja California (invernadero), Morelos, Nayarit (convencional) y Baja California Sur (orgánico), siendo éste estado el mayor productor de ésta hierba, que es

destinada a la exportación (Sánchez y Lucero, 2012). Estudios realizados por Hochmut *et al.* (2008), demostraron la productividad de la albahaca en condiciones protegidas con la aplicación de soluciones nutritivas preparadas a partir de fertilizantes orgánicos certificados (Black Hen, Fertrell 3-2-3, Osmocote 19-6-12), en el estado de Florida, USA. No obstante, en este estudio únicamente se evaluó el efecto de la fertilización orgánica sobre el rendimiento. En diferentes estudios se ha comprobado la eficiencia de soluciones nutritivas orgánicas a base de composta, vermicomposta e inclusive de lixiviados de vermicomposta en la producción de cultivos con calidad fitoquímica (Campos *et al.*, 2013; González *et al.*, 2013; Moreno *et al.*, 2014). Es probable que al utilizar una solución elaborada con alguna de las variantes de la composta se incremente la calidad de la albahaca, así como de algunos de sus componentes de rendimiento; sin embargo, estudios relacionados con estos temas son escasos. Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue evaluar los componentes de rendimiento de albahaca producida con tres tipos de solución nutritiva orgánica en invernadero, con el fin de establecer un esquema de producción en invernadero en una región árida de México como la Comarca Lagunera.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación

El estudio fue establecido bajo condiciones de invernadero con enfriamiento semiautomático en el Instituto Tecnológico de Torreón, en Torreón Coahuila, México, la institución se localiza en la Comarca Lagunera (24° 22'-26° 23' N, 102° 22'-104° 47' O) al norte de México, a una altitud de 1139 m, con precipitación de 235 mm y temperatura media anual de 18.6 °C (Moreno *et al.*, 2014).

Material Vegetativo y Condiciones de Crecimiento

El material vegetal en este estudio fue albahaca (*Ocimum basilicum* L.) variedad Nufar, ya que estudios realizados reportan que esta planta produce altos contenidos de compuestos fenólicos y antioxidantes (Lee *et al.*, 2005). Inicialmente, la siembra se efectuó de forma manual en un contenedor de poliestireno de 35 × 20 cm con Peat Moss Pro-Mix® (Premier Tech, Ltd. Quebec,

Canadá); la cual se mantuvo en condiciones húmedas con agua potable en un medio cubierto con plástico transparente a temperatura ambiente (35 ± 2 °C) hasta que las semillas germinaron. Posteriormente, las plántulas fueron trasplantadas, al aparecer las dos primeras hojas (González *et al.*, 2013), en una charola de poliestireno con 200 cavidades de 25 cm² cada una, donde una plántula correspondió a una cavidad. Se regó de manera manual, con una regadera, una vez al día, por la mañana, en cantidad necesaria para humedecer la superficie. Cuando la planta alcanzó una altura de 0.15-0.20 m y aparecieron tres o cuatro hojas verdaderas (González *et al.*, 2013), se efectuó nuevamente un trasplante a macetas de poliestireno color negro de 7 L de capacidad, que contenían sustrato.

Sustratos

El número total de macetas que se utilizaron fueron 32, en 16 de ellas se depositaron cinco litros de arena (A) en cada una; mientras que en el resto se colocaron cinco litros de una mezcla de perlita con arena (PA) (relación porcentual 80:20, respectivamente) en cada una. Los sustratos en las macetas se desinfectaron con una solución de hipoclorito de sodio al 5% y se lavaron con agua para eliminar el exceso de hipoclorito (Rodríguez *et al.*, 2009).

Soluciones Nutritivas

Cuatro soluciones nutritivas fueron utilizadas, una preparada a partir de fertilizantes sintéticos y tres orgánicas.

La solución química universal de Steiner (SQ) se preparó con fertilizantes comerciales de alta solubilidad en un dispositivo conectado a una bomba de aire, con la finalidad de proporcionarle oxígeno al agua y nutrientes

esenciales en forma iónica (Rodríguez *et al.*, 2011). La solución nutritiva debe estar balanceada químicamente en sus macro nutrientes: K⁺, Ca²⁺ y Mg²⁺ para los cationes y NO₃⁻, H₂PO₄⁻ y SO₄²⁻, para el caso de los aniones (Steiner, 1984).

Tres soluciones nutritivas orgánicas se prepararon a partir de composta (SC) y vermicomposta (SV) (Cuadro 1), que se obtuvieron de excretas de bovino (Mamani *et al.*, 2012). La composta se preparó mediante un proceso aeróbico (Ochoa *et al.*, 2009) y para la vermicomposta se empleó la lombriz *Eisenia foétida* por ser un organismo capaz de generar un abono orgánico de excelente calidad (González *et al.*, 2012). Aparte, se colectaron los lixiviados que se produjeron durante el proceso de vermicompostaje. En la preparación de las soluciones nutritivas orgánicas, la composta y vermicomposta fueron sometidos a fermentación aeróbica en agua, (Rippy *et al.*, 2004; Ochoa *et al.*, 2009); para lo cual, 60 L de agua fueron oxigenados en dos tanques de 200 L (uno por cada componente orgánico) con una bomba de aire durante dos horas. Después de transcurrido el tiempo, seis kilogramos del componente orgánico se agregaron al tanque respectivo, así como 0.40 kg de piloncillo a cada tanque como fuente de energía para los microorganismos. La oxigenación de ambas preparaciones continuó hasta el fin del proceso (24 h). El líquido obtenido después de 24 h fue filtrado a través de una malla de plástico. Por otra parte, para la preparación del lixiviado de vermicomposta (LV) (Cuadro 1), se depositaron 60 L de agua natural en un tanque de 200 L y se oxigenaron mediante una bomba de aire durante dos horas; luego se agregaron 6 L de lixiviado de vermicomposta y la oxigenación fue continua hasta el fin del proceso (Rodríguez *et al.*, 2011). Todas las soluciones fueron ajustadas a una conductividad eléctrica de 2 dS m⁻¹, con agua potable para evitar problemas de fitotoxicidad

Cuadro 1. Composición química de las cuatro fuentes de fertilización.

| Fertilizante | Elemento químico | | | | | | | | | | | | | CE | pH |
|--------------|--------------------|----|------|-----|-----|-----------------|-----|------|------|------|---|-----|----|--------------------|----|
| | Ca | Mg | Na | K | Cl | SO ₄ | Fe | Cu | Zn | Mn | B | N | P | | |
| | mg L ⁻¹ | | | | | | | | | | | | | dS m ⁻¹ | |
| SQ | 162 | 96 | 100* | 321 | 57* | 1230 | 22 | 1 | 2 | 11 | 2 | 125 | 44 | 3 | 6 |
| LXVC | 84 | 40 | 158 | 297 | 78 | 600 | 1 | 1 | 0.1 | 0.05 | 1 | 15 | 20 | 2 | 5 |
| SC | 238 | 34 | 101 | 266 | 78 | 288 | 3 | 0.13 | 0.11 | 0.73 | 4 | 12 | 36 | 3 | 6 |
| SVC | 165 | 97 | 188 | 459 | 185 | 200 | 0.5 | 0.01 | 0.06 | 0.32 | 2 | 33 | 95 | 4 | 7 |

SQ = solución química; LV = lixiviado de vermicomposta; SC = solución de composta; SV = solución de vermicomposta; CE = conductividad eléctrica. * Presentes en el agua utilizada.

(Carballo *et al.*, 2009; Oliva-Llaven *et al.*, 2010). El pH fue ajustado a 5.5 con H_2SO_4 . Las soluciones que se obtuvieron y sus contenidos nutrimentales aparecen en el Cuadro 1. Estas soluciones se utilizaron en el fertirriego de las plantas de albahaca, por su contenido de nutrientes solubles y compuestos benéficos para las especies vegetales (Rippy *et al.*, 2004; Ochoa *et al.*, 2009).

Preparación de Muestras para la Determinación de Compuestos Fenólicos Totales

Las hojas frescas de albahaca fueron lavadas con solución de hipoclorito de sodio al 3%, extendiéndose en papel estroza y secadas a temperatura ambiente ($25\text{ }^\circ\text{C} \pm 2$) durante 15 días. Las muestras se molieron en una licuadora Hamilton Beach y se almacenaron a $5\text{ }^\circ\text{C}$ para la obtención de extractos (Ramos *et al.*, 2012).

Obtención de Extractos

Se mezclaron 150 mg de muestra seca en 5 ml de metanol al 70% en tubos CORNING Centrisar TM con tapa de rosca y capacidad de 14 ml, los cuales fueron colocados en un agitador Test Tube Rocker a 20 rpm (marca UNICO modelo L-TTR-200) durante cuatro horas. Los tubos fueron centrifugados a 3000 rpm durante cinco minutos y el sobrenadante fue extraído para su análisis.

Compuestos Fenólicos Totales

El contenido de compuestos fenólicos totales en extracto metanólico fue cuantificado con base en el método Folin-Ciocalteu (Singleton, *et al.*, 1998). Se tomaron 300 μl de la dilución de la muestra y se agregaron 1680 μl de agua destilada y 120 μl de reactivo de Folin-Ciocalteu, se mezcló vigorosamente en vortex a 2500 rpm durante 10 s, después se dejó reposar durante 30 minutos exactos. Transcurrido ese tiempo, se agregaron 0.9 ml de carbonato de sodio al 7.5% (p/v) y se mezcló en vortex a 2500 rpm durante 10 segundos, luego se dejó reposar a temperatura ambiente durante 30 min y se leyó la absorbancia a 765 nm en espectrofotómetro GENESYS 6.

El contenido fenólico se calculó mediante una curva patrón usando ácido gálico (Sigma, St. Louis, Missouri,

EEUU) y los resultados se reportaron en mg de ácido gálico equivalente por g de muestra en base seca (mg AG equiv / g BS). Los análisis fueron realizados por triplicado.

Diseño Experimental

El estudio consistió del análisis de dos factores, A (sustratos) con dos niveles y B (soluciones nutritivas), con cuatro niveles, de tal manera que se generaron ocho tratamientos con cuatro repeticiones formando un total de 32 unidades experimentales; en un diseño factorial completamente al azar y un arreglo en cuatro líneas con una distancia entre macetas de 0.50 m.

Variables Evaluadas

Siete variables en planta fueron analizadas para determinar el efecto de los factores de estudio: clorofila (unidades SPAD), altura de planta (cm), rendimiento (g) número de hojas, área foliar por planta (cm^2), materia seca por planta (g) y concentración de compuestos fenólicos. El contenido de clorofila se midió de manera indirecta con un equipo SPAD-501 (Minolta) al inicio de la floración, en hojas jóvenes completamente expandidas correspondientes a cuatro plantas por tratamiento; en cada planta se realizaron tres mediciones y con el mismo equipo se registró el promedio generado (González *et al.*, 2013). La altura de la planta fue medida desde la parte basal a la parte apical con una cinta métrica retráctil de 5 m de longitud, un día antes de la cosecha (González *et al.*, 2013). Las hojas fueron separadas de los tallos y pesadas en una balanza electrónica de precisión (KERN & SOHN, Alemania), el peso fresco total se obtuvo de la suma del peso de hojas y tallos. El área foliar fue medida usando un analizador Láser Portátil CID Ref. CI-202, como lo establecen Ky-Dembele *et al.*, 2010 y Cogliati *et al.*, 2010. Hojas y tallos fueron depositadas en bolsas de papel estroza debidamente etiquetadas para luego secarlos a temperatura ambiente (Murillo, *et al.*, 2007). Los pesos secos de hojas y tallos se obtuvieron con la misma balanza electrónica. Posteriormente, las hojas secas fueron molidas en una licuadora Hamilton Beach para someterlas a una solución de metanol como solvente, para extraer los compuestos fenólicos. El contenido total de compuestos fenólicos en el extracto metanólico de albahaca, se cuantificó mediante el método Folin-Ciocalteu (Singleton *et al.*, 1998).

Análisis Estadístico

Los resultados obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza y una comparación de medias mediante la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$), usando el programa estadístico SAS (1999) versión 9.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del desarrollo fenológico del cultivo fueron los siguientes:

Clorofila

Los tratamientos LV-PA y LV-A mostraron 39 unidades SPAD de clorofila, mayor que el resto de los tratamientos (Cuadro 2). No obstante, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$) entre tratamientos. La síntesis de clorofila requiere nitrógeno ya que parte de ésta molécula está involucrado en el proceso de la fotosíntesis (Rincón y Ligarreto, 2010). Aunque el contenido de nitrógeno sea mayor en la solución química, el resultado similar con los orgánicos puede deberse a la actividad microbiana, de estos últimos aportando aminoácidos y nitratos (Campos *et al.*, 2013). El resultado señala que los tres tratamientos orgánicos podrían representar una opción viable como fuente de nutrientes para albahaca en invernadero.

Altura de Planta

Desde el punto de vista agronómico la altura de planta, número y tamaño de hojas son indicadores de crecimiento en sistemas orgánicos (Fenech-Larios *et al.*, 2008).

Respecto a los tratamientos, en SQ-A se produjeron plantas con mayor altura que con los demás tratamientos (Cuadro 2). Existió diferencia significativa en altura de planta debido al tipo de sustrato y solución nutritiva (Cuadro 3). Los tratamientos con sustrato A presentaron plantas más altas (74 cm, en promedio), que las plantas en el sustrato PA (66 cm, en promedio). La arena que se utilizó tenía partículas de arena media (tamaño de partícula de 0.25 a 0.5 mm) que hacen de ésta un sustrato deseable (Calderón y Cevallos, 2003), pues sus propiedades físicas como porosidad, drenaje rápido y buena aireación, son óptimas para el desarrollo de cultivos (Ansorena, 1994), lo que explica la altura alcanzada. Los resultados anteriores señalan que el volumen lixiviado es afectado por el sustrato en otoño-invierno durante la floración y fructificación bajo condiciones de invernadero, la utilización de arena como sustrato disminuye el lixiviado, por lo que resulta mejor que la mezcla perlita-arena, ya que es más eficiente en el uso de soluciones nutritivas (Yescas *et al.*, 2011). Sin embargo, Bastida (2004), señala que no existe un material que reúna todas las propiedades físicas y químicas óptimas para todos los usos.

Cuadro 2. Comparación de medias de las variables evaluadas en albahaca bajo diferentes soluciones nutritivas y sustratos.

| Tratamiento | Lecturas SPAD | Altura de planta cm | Número de hojas | Área foliar cm ² | Rendimiento g | Materia seca g | Compuestos fenólicos totales ^a mg AG equiv / g BS |
|-------------|---------------|------------------------|-----------------|--------------------------------|------------------|-------------------|---|
| SQ-PA | 36.3 a | 68.5 bc | 103 a | 1395.7 ab | 92.4 ab | 12 a | 4.8 cd |
| SQ-A | 35.6 a | 77.5 a | 74.2 b | 1122.4 cd | 100.7 a | 12.3 a | 4.4 d |
| LV-PA | 39.4 a | 65.2 c | 67.5 b | 993.7 d | 80.3 bc | 9.0 bc | 4.5 d |
| LV-A | 38.8 a | 68.5 bc | 66.5 b | 1006.4 cd | 78.2 bc | 10.7 abc | 5.6 bc |
| SC-PA | 34.0 a | 68 bc | 76.2 b | 1037.8 cd | 74.4 bc | 10.2 abc | 4.4 d |
| SC-A | 36.8 a | 73.7 ab | 97.2 a | 1233.1 bc | 75.4 bc | 11.2 ab | 7.6 a |
| SV-PA | 34.8 a | 64 c | 62.7 b | 909.1 d | 66.1 c | 12.3 a | 5.9 b |
| SV-A | 37.2 a | 75.5 a | 97.2 a | 1498.1 a | 66.1 c | 8.4 c | 6.9 a |

^a Datos expresados como mg equivalente de ácido gálico por g base seca. SPAD = contenido relativo de clorofila. SQ = solución química; PA = perlita-arena; A = arena; LV = lixiviado de vermicomposta; SC = solución de composta; SV = solución de vermicomposta. Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$).

Las plantas fertilizadas con solución nutritiva de composta y vermiconposta no fueron significativamente diferentes en comparación con las fertilizadas con químicos (Cuadro 3), por lo que se presume que ésta podría ser sustituida por cualquiera de las dos soluciones nutritivas anteriores. Respecto a esto, Arcos *et al.* (2010) señalan que el crecimiento de la planta está mediado por el aporte de energía, agua, aire y nutrientes y por la presencia de citoquininas y auxinas presentes en las soluciones nutritivas orgánicas, presumiblemente sintetizadas por microorganismos debido a la abundancia de poblaciones de comunidades microbianas en la vermiconposta (Zhang *et al.*, 2014).

Número de Hojas

El mayor NH se obtuvo en el tratamiento SQ-PA (103 hojas). Con el sustrato A y las SC y SV las plantas tuvieron el mismo promedio en cuanto al número de hojas (Cuadro 2).

No existió diferencia significativa en cuanto a los sustratos (Cuadro 3), por lo que se presume que para la producción de hoja, los dos son adecuados. El número de hojas mostró diferencia significativa entre las soluciones nutritivas; las plantas fertirrigadas con SQ produjeron mayor cantidad de hojas, seguido por la SC. El menor número de hojas fue producido por las plantas fertirrigadas con LV (Cuadro 3). La interacción sustrato * solución nutritiva resultó altamente significativa (Cuadro 3).

Área Foliar

El área foliar fue afectada significativamente por los factores estudiados (Cuadro 3), y la interacción también resultó altamente significativa. La mayor área foliar se presentó en el tratamiento SV-A, seguida de SQ-PA.

Las plantas en el sustrato A presentaron mayor área foliar que en el sustrato PA; la diferencia puede explicarse debido a las características físicas de los mismos, como la densidad aparente, la capacidad de retención de humedad, la capacidad de intercambio catiónico, así como la relación aire/agua, lo cual afecta la capacidad del sistema radicular de la planta para crecer en el sustrato, proveerle fuerza de sostenimiento y anclaje y asimilar eficientemente los nutrientes (Baixauli y Aguilar, 2002), por lo tanto la arena pudo ejercer un mejor efecto sobre la capacidad de asimilación de nutrientes. Estos resultados son consistentes al asociarse con las propiedades físicas de la arena, en cuanto a la densidad aparente y al agua fácilmente disponible que favorece la asimilación de nutrientes, a diferencia de las plantas que crecieron en AP, que presentaron menores valores de densidad aparente y agua fácilmente disponible (Baixauli y Aguilar, 2002). Según Hidalgo *et al.* (2009), la vermiconposta contiene sustancias fenólicas que activan los procesos de respiración y con ello, el metabolismo y la absorción vegetal. El resultado de área foliar encontrado en el presente trabajo muestra la misma tendencia que en otras

Cuadro 3. Parámetros evaluados en albahaca bajo las soluciones nutritivas química (SQ), lixiviado de vermiconposta (LV), solución de composta (SC), solución de vermiconposta (SV) y dos sustratos arena (A) y perlita-arena (PA).

| Factor | Nivel | Lecturas SPAD | Altura de planta cm | Número de hojas | Área foliar cm ² | Rendimiento g | Materia seca g | Compuestos fenólicos totales [†] mg AG equiv/ g BS |
|--------|-------|---------------|------------------------|-----------------|--------------------------------|------------------|-------------------|---|
| S | A | 37 a | 74 a | 84 a | 1215 a | 83 a | 11 a | 6.0 a |
| | PA | 36 a | 66 b | 77 a | 1084 b | 80 a | 11 a | 4.7 b |
| SN | SQ | 36 a | 73 a | 89 a | 1259 a | 97 a | 12 a | 4.6 c |
| | LV | 39 a | 66 b | 67 b | 1000 b | 79 ab | 10 a | 5.0 cb |
| | SC | 36 a | 71 ab | 87 a | 1135 ab | 75 b | 11 a | 5.4 ab |
| | SV | 35 a | 70 ab | 80 ab | 1204 ab | 75 b | 10 a | 6.4 a |
| S*SN | | ns | ** | ** | ** | ns | * | ** |

[†]Datos expresados como mg equivalente de ácido gálico por g base seca. Medias con diferente letra en la misma columna y factor indican diferencia significativa, según la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). * = significativo $\alpha = 0.05$, ns = no significativo, ** = altamente significativo $\alpha = 0.01$.

investigaciones en las que se han probado tratamientos con y sin materiales compostados y fertilización química en diferentes cultivos (Cruz *et al.*, 2012). Los valores encontrados para el sustrato coinciden con el trabajo de Contreras y Gómez (2008), que reportan valores de área foliar de 901 cm² al evaluar tres variedades de albahaca (Nufar, Genovese y Aromaz).

En cuanto a la aplicación de soluciones nutritivas, se observó que el área foliar fue significativamente mayor al aplicar solución química, y muy similar en la solución de vermicomposta y solución de composta (Cuadro 3). Estos resultados no concuerdan con lo reportado en otros trabajos que mencionan que la aplicación de efluentes orgánicos vía foliar o adicionados al suelo, favorecen la sanidad vegetal y aumentan el rendimiento en plantas aromáticas, debido principalmente a que contienen microorganismos benéficos favorables para la absorción de los nutrientes esenciales en forma iónica (Ingham, 2005; Pant *et al.*, 2011; Albert *et al.*, 2012; González *et al.*, 2013).

La interacción sustrato*solución nutritiva resultó altamente significativa (Cuadro 3).

Rendimiento

Para el factor sustrato, no hubo diferencia significativa ($P \leq 0.05$), por lo que se presume que los dos sustratos son aptos para el cultivo de albahaca.

Los resultados de rendimiento indican diferencias ($P \leq 0.05$) atribuibles al tipo de solución nutritiva utilizada, observándose que el mayor valor se obtuvo al aplicar solución SQ a las plantas, seguido por LV y SC; el menor rendimiento se obtuvo al fertilizar con la SVC (Cuadro 3).

Resultados similares fueron reportados por Ochoa *et al.* (2009), quienes encontraron menor rendimiento en cultivos fertilizados con soluciones nutritivas orgánicas. En este sentido, García *et al.* (2008), reportan que la dilución de las soluciones orgánicas, con la finalidad de disminuir la conductividad eléctrica (CE), disminuye la concentración de nutrientes, lo que incide directamente en el rendimiento, lo cual probablemente afectó a las unidades experimentales en este trabajo. Sin embargo, los valores de rendimiento observados pueden considerarse aceptables, se encuentran dentro de los rangos reportados en otros trabajos, van desde 56 hasta 90 g planta⁻¹ (Hochmuth *et al.*, 2008), por lo que puede considerarse que el uso de soluciones nutritivas orgánicas

es una alternativa ecológica y sustentable para este tipo de especies.

La interacción sustrato*solución nutritiva, resultó no significativa.

Materia Seca

En el sustrato PA se observa que la mayor cantidad de materia seca fue producida por las plantas fertilizadas con SQ, seguida por el LV y SC, en tanto que para A, la fertilización con SV produjo rendimientos similares a los obtenidos con la solución química (Cuadro 2).

El análisis estadístico para esta variable, no detectó diferencia significativa con respecto al uso de estos sustratos ni a las soluciones nutritivas; sin embargo, se presentó mayor cantidad de materia seca en las plantas nutridas con solución química. Por otra parte, la interacción sustrato* solución nutritiva resultó significativa.

Compuestos Fenólicos Totales

El contenido de compuestos fenólicos totales en albahaca presentó diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre tratamientos, encontrándose en niveles de 0.55% en base seca.

En cuanto al factor sustrato, el contenido de compuestos fenólicos totales en las plantas fue mayor en un 23% en arena que en la mezcla perlita-arena (Cuadro 3). Según Baixauli y Aguilar (2002), los tamaños de partícula de la arena van de 0.02 hasta 2 mm por lo que la capacidad de retención de agua fácilmente disponible es alta y presenta un buen drenaje, además de un adecuado contenido de aire (Calderón y Cevallos, 2003), lo que puede influir en la disponibilidad de nutrientes. Para el factor tipo de solución nutritiva, se observó diferencia significativa ($P \leq 0.05$); los extractos de plantas tratadas con soluciones de origen orgánico presentaron mayor contenido de compuestos fenólicos totales. El mayor contenido se presentó en las plantas tratadas con solución de vermicomposta, seguida por la solución de composta, lixiviado de vermicomposta y, finalmente la solución nutritiva Steiner que aportó el menor contenido de compuestos fenólicos totales (Cuadro 3). Niveles más altos de compuestos fenólicos fueron encontrados por Taie *et al.* (2010), al tratar albahaca con sustancias nutritivas orgánicas contra fertilización química, lo que podría ser explicado por

las diferencias en las condiciones de crecimiento de la planta y el origen de las fuentes orgánicas (Dossier FiBL, 2007).

CONCLUSIONES

En la evaluación de los componentes de rendimiento de albahaca producida con tres tipos de solución nutritiva orgánica en invernadero, se encontró que el uso de soluciones nutritivas orgánicas permitió el desarrollo del cultivo influyendo significativamente en los parámetros altura de planta (AP), área foliar (AF) y compuestos fenólicos totales (CFT). El mejor desarrollo vegetativo fue en el sustrato arena (A). El tratamiento solución de composta-arena (SC-A) generó mayor cantidad de CFT (7.6 mg AG equiv / g BS) que la fertilización química (4.8 mg AG equiv/g BS en SQ-PA y 4.4 mg AG equiv / g BS en SQ-A). Dado el interés creciente que existe actualmente por la producción sustentable y por los beneficios que los fitoquímicos aportan a la salud, se concluye que la albahaca orgánica es un cultivo con potencial productivo en la Comarca Lagunera bajo condiciones de invernadero.

LITERATURA CITADA

- Albert, N., K. Nazire, and K. Hartmut. 2012. The relative effects of compost and non-aerated compost tea in reducing disease symptoms and improving tuberization of *Solanum tuberosum* in the field. *Int. J. Agric. Res. Rev.* 2: 504-512.
- Ansorena M., J. 1994. Sustratos: Propiedades y caracterización. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Arcos, B., O. Benavides y M. Rodríguez. 2011. Evaluación de dos sustratos y dos dosis de fertilización en condiciones hidropónicas bajo invernadero en lechuga (*Lactuca scariola* L.) *Rev. Cienc. Agríc.* 28: 95-108.
- Bajzani S., C. y J. M. Aguilar O. 2002. Principales sustratos empleados, características y propiedades. pp. 15-26. *In:* C. Bajzani S. y J. M. Aguilar. Cultivo sin suelo de hortalizas. Aspectos prácticos y experiencias. GENERALITAT VALENCIANA España.
- Bastida, A. 2004. Los sustratos. pp. 41. *In:* III Curso Internacional de Invernaderos. Universidad Autónoma Chapingo. Guadalajara, México.
- Briseño Ruiz, S. E., M. Aguilar García y J. A. Villegas Espinoza. 2013. El cultivo de la albahaca. Publicaciones CIB. La Paz, Baja California Sur, México.
- Calderon S., F. y F. Cevallos. 2003. Los sustratos. www.drcalderonlabs.com/index.html pp. 923-928. *In:* M. A. Segura-Castruita, P. Preciado, G. González, J. E. Frias, G. García, J. A. Orozco y M. Enriquez. 2008. Adición de material pomáceo a sustratos de arena para incrementar la capacidad de retención de humedad. *Interciencia* 33. Caracas, Venezuela.
- Campos-Mota, L. y D. Flores Sánchez. 2013. Sustratos orgánicos como alternativa para la producción de albahaca (*Ocimum selloi* Benth). *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 5: 1055-1061.
- Canellas, L. P., F. Lopes Olivares, A. L. Okorokova F., and A. R. Facanha. 2002. Humic acids isolated from earthworm compost enhance root elongation, lateral root emergence, and plasma H⁺-ATPase activity in maize roots. *Plant Physiol.* 130: 1951-1957.
- Carballo, T., M. V. Gil, L. F. Calvin, and A. Morán. 2009. The influence of aeration system, temperature and compost origin on the phytotoxicity of compost tea. *Compost Sci. Util.* 17: 127-139.
- Cogliani, D. H., M. F. Cataldi y F. Iglesias. 2010. Estimación del área de las hojas en plantas de trigo bajo diferentes tipos de estrés abiótico. *Agriscientia* 27: 43-53.
- Cruz, E., M. Sandoval, V. H. Volke, A. Can y J. Sánchez. 2012. Efecto de mezclas de sustratos y concentración de la solución nutritiva en el crecimiento y rendimiento de tomate. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 3: 1361-1373.
- Dossier FiBL (Forschungsinstitut für biologischen Landbau). 2007. La calidad y seguridad de los alimentos ecológicos. Comparación de los sistemas alimentarios. Calidad ecológica: Los beneficios. España.
- Enciso, A. J. 2004. Producción y comercialización de Plantas aromáticas y especies desecadas. <http://www.almeriscan.com/apices/default.htm> 27oct ISO 9001 (Consulta: noviembre 7, 2012).
- Fenech-Larios, L., E. Troyo-Diéguez, M. Trastuña-Castro, F. Ruiz-Espinoza, A. Beltrán-Morales, B. Murillo-Amador, J. García-Hernández y S. Zamora-Salgado. 2009. Relación entre un método no destructivo y uno de extracción destructivo, para medir el contenido de clorofila en hojas de plántula de albahaca (*Ocimum basilicum* L.). *Univ. Cienc. Trop. Hum.* 25: 99-102.
- García G., R. C., L. Dendooven, and F. A. Gutiérrez M. 2008. Vermicomposting leachate (Worm Tea) as liquid fertilizer for maize (*Zea mays* L.) forage production. *As. J. Plant Sci.* 7: 360-367.
- González Solano, Karla D., M. N. Rodríguez Mendoza, L. Trejo-Teller, J. L. García Cue y J. Sánchez Escudero. 2013. Efluente y té de vermicompost en la producción de hortalizas de hoja en sistema NFT. *Interciencia* 38: 863-869.
- González-Rosales, G., A. Nieto-Garibay, B. Murillo-Amador, R. Ramírez-Serrano, E. A. Villavicencio-Floriani, J. D. Hernández-Medina, X. Aguilar-Murillo y Z. E. Guerrero-Medrano. 2012. Guía técnica para la producción de lombricomposta. CIB. La Paz, Baja California Sur, México.
- Hidalgo, P. R., M. Sindoni y C. Marín. 2009. Evaluación de sustratos a base de vermicompost y enmiendas orgánicas líquidas en la propagación de parchita (*Passiflora edulis* v. *flavicarpa*) en vivero. *Rev. UDO Agríc.* 9: 126-135.
- Hochmuth, R. C., L. L. Davis, W. L. Laughlin, and E. H. Simonne. 2008. Evaluation of organic nutrient sources in the production of greenhouse hydroponic basil. North Florida Research and Education Center – Suwannee Valley, UF/IFAS. Live Oak, FL, USA.
- Ingham, E. R. 2005. The compost tea brewing manual. Soil Foodweb Inc. Corvallis, OR, USA.
- Ky-Dembele, C., J. Bryala, P. Savadogo, M. Tigabu, P. C. Odén, and J. B. Issaka. 2010. Comparison of growth responses of

- Kluya senegalensis* seedlings and seedlings to four irrigation regimes. *Silva Fennica* 44: 787-798.
- Lee, J., N. Koo, and D. B. Min. 2005. Reactive oxygen species, aging, and antioxidative nutraceuticals. *Compre. Rev. Food Sci Food Saf* 3: 21-33.
- Mamani-Mamani, G., F. Mamani-Pati, H. Sainz-Mendoza y R. Villca-Huamaco. 2012. Comportamiento de la lombriz roja (*Eisenia* spp.) en sistemas de vermicompostaje de residuos orgánicos. *J. Sel. And. Res. Soc.* 1: 44-54.
- Moreno-Reséndez, A., G. Solís-Morales, E. Blanco-Contreras, J. Vázquez-Arroyo, L. M. Guzmán-Cedillo, N. Rodríguez-Dimas y U. Figueroa-Viramontes. 2014. Desarrollo de plántulas de huijache (*Acacia formicosa*) en sustratos con vermicompost. *Rev. Chapingo. Serie Cienc. For. Amb.* 20: 55-62.
- Murillo, E., K. Fernández, A. Viña y J. Méndez. 2007. Actividad antioxidante in vitro y antimicrobiana de extractos metanólicos de cuatro albahacas cultivadas en Itagué. *Rev. Tumbaga* 2: 72-84.
- Naczki, M. and F. Shalizi. 2006. Phenolics in cereals, fruits and vegetables: Occurrence, extraction and analysis. *J. Pharmaceut. Biomed. Anal.* 41: 1523-1542.
- Ochoa-Martínez, E., U. Figueroa-Viramontes, P. Cano-Ríos, P. Preciado-Rangel, A. Moreno-Reséndez y N. Rodríguez-Dimas. 2009. Té de compost como fertilizante orgánico en la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* mill.) en invernadero. *Rev. Chapingo Serie Hort.* 15: 245-250.
- Oliya-Llaven, M. A., H. L. Rodríguez, N. P. Mendoza, S. B. Ruiz, S. J. D. Álvarez, and L. Dendooven. 2010. Optimization of worm-bed leachate for culturing of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) inoculated with *glomus fasciculatum* and *Pseudomonas fluorescens*. *Electron. J. Biotechnol.* 13:1-8.
- Pant A., T. J. K. Radovich, N. V. Huel, and N. Q. Aranzon. 2011. Effects of vermicompost tea (Aqueous extract) on pak choi yield, quality, and on soil biological properties. *Compost Sci Util.* 19: 279-292.
- Ramos de León, N., M. E. Sanabria, D. A. Rodríguez y D. Ulacio. 2012. Efecto del extracto etanólico de albahaca genovesa (*Ocimum basilicum* var. Genovese) sobre *Cercospora apii* Friesen y el tizón temprano del celery (*Apium graveolens*). *Rev. Cient. UDO Agríc.* 12: 472-478.
- Rincón, A. y G. A. Ligarreto. 2010. Relación entre nitrógeno foliar y el contenido de clorofila, en maíz asociado con pastos en el Piedemonte Llanero colombiano. *Rev. Corpoica - Cienc. Tecnol. Agrop.* 11: 122-12.
- Rippy, J. F. M., M. M. Peet, F. J. Louwa, P. V. Nelson, D. B. Orr, and K. A. Sorensen. 2004. Plant development and harvest yield of greenhouse tomatoes in six organic growing systems. *Hort Sci* 39: 223-229.
- Rodríguez, H. L. F., G. A. Giraldo y P. E. Murillo. 2011. Determinación del quimiotipo de la fracción volátil del aceite esencial de hojas de albahaca de variedad ocimum, por cromatografía de gases acoplada a masas (GC-MS). *Rev. Tumbaga* 1: 53-62.
- Rodríguez-Dimas, N., P. Cano-Ríos, U. Figueroa-Viramontes, E. Favela-Chávez, A. Moreno-Reséndez, Cándido Márquez-Hernández, E. Ochoa-Martínez y P. Preciado-Rangel. 2009. Uso de abonos orgánicos en la producción de tomate en invernadero. *Terra Latinoamericana* 27: 319-327.
- Ruiz-Espinoza, F. H., B. Murillo-Amador, J. L. García-Hernández, L. Fenech-Larios, E. O. Rueda-Puente, E. Troyo-Diéguez, K. Cengiz, and A. Beltrán-Morales. 2010. Field evaluation of the relationship between chlorophyll content in basil leaves and a portable chlorophyll meter (SPAD-502) readings. *J. Plant Nutr.* 33: 423-438.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación) 2012. Consejo Nacional de Producción Orgánica. México, D. F.
- Salas, L., J. R. Esparza, P. Preciado, V. de P. Álvarez, J. A. Meza, J. R. Velázquez y M. Murillo. 2012. Rendimiento, calidad nutricional, contenido fenólico y capacidad antioxidante de forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays* L.) producido en invernadero bajo fertilización orgánica. *Interciencia* 37: 215-220.
- Sánchez-Verdugo, C. y J. M. Lucero-Flores. 2012. Nichos de mercado de especies aromáticas orgánicas tipo gourmet. CIB. La Paz, Baja California Sur, México.
- SAS. 1999. Statistic Analysis System 9.0 Program. Stat Soft. EEUU. Inc. Cary, NC, USA.
- Segura-Castruita, M. A., P. Preciado, G. González, J. E. Frias, G. García, J. A. Orozco y M. Enriquez. 2008. Adición de material pómaceo a sustratos de arena para incrementar la capacidad de retención de humedad. *Interciencia* 33: 923-928.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2012. Informe nacional. México, D. F.
- Singleton, V. L., R. Orthofer, and R. M. Lamuela-Raventós. 1998. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. *Methods Enzymol.* 299: 152-178.
- Steiner, A. A. 1984. The universal nutrient solution. pp. 633-649. *In: Proc. Sixth International Congress on Soilless Culture.* ISOSC. Lunteren, The Netherlands.
- Tzie, H. A. A., Z. A. R. Salama, and S. Radwan. 2010. Potential activity of basil plants as a source of antioxidants and anticancer agents as affected by organic and bio-organic fertilization. *Not. Bot. Hort. Agrobot. Cluj.* 38:119-127.
- Yescas-Coronado, P., M. A. Segura-Castruita, J. A. Orozco-Vidal, M. Enriquez-Sánchez, J. L. Sánchez-Sandoval, J. E. Frias-Ramírez, J. A. Montemayor-Trejo y P. Preciado-Rangel. 2011. Uso de diferentes sustratos y frecuencias de riego para disminuir lixiviados en la producción de tomate. *Terra Latinoamericana* 29: 441-448.
- Zhang H., S. N. Tan, W. S. Wong, Ng. CYL, C. H. Teo, L. Ge, X. Chen, and J. W. H. Yong. 2014. Mass spectrometric evidence for the occurrence of plant growth promoting cytokinins. *Biol. Fertil. Soils* 50: 401-403.

ARTÍCULO 2

**PRODUCCIÓN DE ALBAHACA (*Ocimum basilicum* L.) ORGÁNICA EN
INVERNADERO COMO FUENTE DE COMPUESTOS FENÓLICOS Y
ANTIOXIDANTES**

PRODUCTION OF ORGANIC BASIL (*Ocimum basilicum* L.) IN GREENHOUSE
AS SOURCE OF PHENOLIC AND ANTIOXIDANT COMPOUNDS

**Rosario Moncayo-Luján R, Vicente de Paúl Álvarez-Reyna, Miguel Angel Segura-
Castruita, Guillermo González Cervantes, Lilia Salas-Pérez, Jorge Alberto Chávez-
Simenta**

Revista: Ecosistemas y recursos agropecuarios. Enviado para revisión

CARTA DE RECEPCIÓN

Para: **GONZALEZ CERVANTES GUILLERMO**

Asunto: Acuse de recibo de envío

Autor de correspondencia: Guillermo González Cervantes:

Gracias por enviar el manuscrito "PRODUCCIÓN DE ALBAHACA (*Ocimum basilicum* L.) ORGÁNICA EN INVERNADERO COMO FUENTE DE COMPUESTOS FENÓLICOS Y ANTIOXIDANTES" a Ecosistemas y Recursos Agropecuarios. Con nuestro sistema de gestión de revistas en línea, podrá iniciar sesión en el sitio web de la revista y hacer un seguimiento de su progreso a través del proceso editorial.

URL del manuscrito:

<http://132.248.10.25/era/index.php/rera/author/submission/784>

Nombre de usuario/a: guillermo3024

En caso de dudas, contacte conmigo. Gracias por elegir esta revista para publicar su trabajo.

Dr. Efraín de la Cruz Lázaro

Ecosistemas y Recursos Agropecuarios

Ecosistemas y Recursos Agropecuarios <http://132.248.10.25/era/index.php/era>

Albahaca orgánica fuente de antioxidantes

**PRODUCCIÓN DE ALBAHACA (*Ocimum basilicum* L.) ORGÁNICA EN
INVERNADERO COMO FUENTE DE COMPUESTOS FENÓLICOS Y
ANTIOXIDANTES**

**PRODUCTION OF ORGANIC BASIL (*Ocimum basilicum* L.) IN
GREENHOUSE AS SOURCE OF PHENOLIC AND ANTIOXIDANT
COMPOUNDS**

Rosario Moncayo-Luján R^{1,4}, Vicente de Paúl Álvarez-Reyna¹, Miguel Angel Segura-Castruita², Guillermo González-Cervantes^{3*}, Lilia Salas-Pérez⁴, Jorge Alberto Chávez-Simental⁵

¹Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, U.L. Periférico y carretera a Santa Fe s/n, C.P. 27052, Torreón, Coahuila, México.

²Instituto Tecnológico de Torreón, Carretera Torreón-San Pedro Km 7.5, Torreón, Coahuila.

³Centro Nacional de Investigaciones Disciplinarias en Relaciones Agua Suelo Planta Atmósfera, INIFAP. Canal Sacramento km 6.5, C. P. 35140. Gómez Palacio, Durango, México.

⁴Universidad Politécnica de Gómez Palacio. Carretera El Vergel-La Torreña Km. 0 820, C.P. 35120 Localidad El Vergel, Gómez Palacio, Durango, México.

⁵Instituto de Silvicultura e Industria de la Madera. ISIMA UJED. Boulevard Guadiana 501, C.P. 34120, Ciudad Universitaria, Durango, Durango. México.

*Autor para correspondencia: gonzalez.quillermo@inifap.gob.mx

RESUMEN

La albahaca (*Ocimum basilicum*) es una planta aromática que se emplea como ingrediente en la preparación de alimentos, en medicina tradicional y aromaterapia debido al contenido de compuestos fenólicos, su capacidad antioxidante y antimicrobial, entre otras. Dado que la popularidad de las plantas orgánicas cada vez es mayor debido a los beneficios para la salud, así como al sabor, olor y composición de ácidos grasos que se les atribuyen, el objetivo del presente trabajo fue determinar la influencia del tipo de solución nutritiva (SN) y sustrato en el rendimiento (R), área foliar (AF), compuestos fenólicos totales (CFT) y capacidad antioxidante total (CAT) en albahaca blanca (*Ocimum basilicum* L.) como fuente de compuestos fenólicos y antioxidantes, producida en invernadero en la Comarca Lagunera (México). Los sustratos utilizados fueron: Arena (A) y una combinación de perlita-arena (PA); las soluciones nutritivas fueron: Solución química (SQ), lixiviado de vermicompost (LV), solución de compost (SC) y solución de vermicompost (SV) preparadas a partir de estiércol bovino. Estos factores conformaron un arreglo factorial 2×4 en un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones. Las variables agronómicas evaluadas fueron: Rendimiento (R) y área foliar (AF); Los parámetros químicos evaluados fueron: Compuestos fenólicos totales (CFT) y capacidad antioxidante total (CAT). La cantidad de CFT fue determinada mediante el método de Folin-Ciocalteu y la CAT por el método DPPH⁺. La presencia de grupos funcionales en las SN fue detectada mediante espectrofotometría infrarroja. Los parámetros agronómicos fueron favorecidos por la SQ (1259 cm² de AF y 97g de R), mientras que los CFT y la CAT presentaron niveles más altos con la SVC (6.44 mg AG equiv / g BS y 139.36 μM

equiv TROLOX/g BS, respectivamente). En cuanto a las interacciones, la arena en combinación con la solución de compost favoreció la producción de CFT y CAT (7.6 mg AG equiv / g BS y 146 µM equiv TROLOX/g BS, respectivamente). Por lo anterior se concluye que el cultivo de albahaca blanca en arena como sustrato y solución de compost presenta una alternativa para producir de manera sustentable estos compuestos fitoquímicos en una región con alta disponibilidad de estiércol bovino.

Palabras clave: Fitoquímicos; agricultura protegida; nutrición orgánica.

ABSTRACT

Basil (*Ocimum basilicum*) is an aromatic plant used as an ingredient in the preparation of food, traditional medicine and aromatherapy due to phenolic content, antioxidant and antimicrobial capacity, among others. Since the popularity of organic plants is increasing due to health benefits and taste, odor and fatty acid composition attributed to them, the objective of this study was to determine the influence of the type of nutrient solution (SN) and substrate in yield (R), leaf area (AF), total phenolic compounds (CFT) and total antioxidant capacity (CAT) in white basil (*Ocimum basilicum* L.) as a source of phenolic and antioxidant compounds produced in greenhouse in the Laguna region (Mexico). Substrates were used: Sand (A) and a combination of perlite-sand (PA); nutrient solutions were: Chemical Solution (SQ), leached from vermicompost (LV) solution compost (SC) and vermicompost solution (SV) prepared from bovine manure. These factors formed a 2 × 4 factorial arrangement in a completely randomized design with four replications. The agronomic variables evaluated

were: yield (R) and leaf area (AF); the chemical parameters evaluated were: total phenolic compounds (CFT) and total antioxidant capacity (CAT). The amount of CFT was determined by the Folin-Ciocalteu and CAT by DPPH+ method. The presence of functional groups in the SN was detected by infrared spectrophotometry. The agronomic parameters were favored by the SQ (1259 cm² of AF and 97g of R), while the CFT and the CAT had higher levels with the SVC (6.44 mg AG equiv / g BS and 139.36 μM equiv TROLOX / g BS, respectively). Regarding interactions, sand in combination with the compost solution favored the production of CFT and CAT (7.6 equiv AG mg / g BS and 146 μM equiv TROLOX / g BS, respectively). Therefore it is concluded that growing basil in white sand as substrate and compost solution presents an alternative to sustainably produce these phytochemicals in a region with high availability of cattle manure.

Keywords: Phytochemicals; protect agriculture; organic nutrition.

INTRODUCCIÓN

La demanda de alimentos inocuos, nutritivos y producidos con técnicas amigables al medio ambiente, para consumo humano se incrementa día a día (Cantillano et al. 2012); sobre todo de alimentos que traen beneficios para la salud (Biesiada y Kus 2010, Dzida 2010). Uno de estos alimentos lo constituyen las hierbas aromáticas, entre las que se encuentra la albahaca (Naczki 2006). La albahaca tiene más de cincuenta especies, que se diferencian por el tamaño, color, apariencia y sabor (Sánchez y Lucero 2012); siendo la especie *Ocimum basilicum* L., mejor conocida como albahaca blanca, la que produce mayor cantidad de aceite esencial, lo que permite su uso en la industria alimenticia,

cosmética y farmacéutica (Rodríguez et al. 2011). El efecto medicinal de esta planta se debe a los contenidos de alcaloides, taninos, flavonoides y compuestos fenólicos que se encuentran en ella (Naczk 2006). Los compuestos fenólicos son un grupo de antioxidantes naturales, producto del metabolismo secundario de las plantas (Canellas et al. 2002) que se encuentran particularmente en hierbas aromáticas, frutas, vegetales y cereales, por lo que su consumo provoca efectos benéficos para la salud (Naczk 2006). Salas et al. (2012) mencionan que la síntesis de estos compuestos en las plantas se debe a factores intrínsecos (especie, variedad y tejido vegetal) y extrínsecos, (condiciones ambientales y de manejo agronómico), por lo cual su manejo es una alternativa para incrementar la calidad fitoquímica de las plantas. De tal manera que el uso de fuentes nutritivas orgánicas incrementan el contenido fenólico y la capacidad antioxidante en hierbas aromáticas como la albahaca (Nur et al. 2012). Al respecto, Moncayo et al. (2015), concluyeron que el sustrato de arena en combinación con sustancias orgánicas tiene influencia en el desarrollo vegetativo de la albahaca y se llegan a producir hasta 7.6 mg AG equiv/g BS de compuestos fenólicos totales (CFT); sin embargo, información acerca de la influencia del tipo de solución orgánica en el rendimiento y la generación de CFT en albahaca blanca es escasa. Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue determinar la influencia del tipo de solución nutritiva orgánica y sustratos en el rendimiento (R), área foliar (AF), CFT y capacidad antioxidante total (CAT) en *O. basilicum* como fuente de compuestos fenólicos y antioxidantes, producida en invernadero en la Comarca Lagunera (México).

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación. El estudio se desarrolló bajo condiciones de invernadero con enfriamiento semiautomático en el Instituto Tecnológico de Torreón, en Torreón Coahuila, México. La institución se localiza en la Comarca Lagunera (24° 22'-26°23 N, 102° 22'- 104° 47' O) al norte de México, a una altitud de 1,139 m, con precipitación de 235 mm y temperatura media anual de 18.6 °C (Moreno et al. 2014).

Material vegetativo y condiciones de crecimiento. El material vegetal en este estudio fue albahaca blanca (*Ocimum basilicum* L.) variedad Nufar, ya que estudios realizados reportan que esta planta produce altos contenidos de compuestos fenólicos y antioxidantes (Lee et al. 2005). Inicialmente, la siembra se efectuó de forma manual en un contenedor de poliestireno de 35 x 20 cm con Peat Moss Pro-Mix ® (Premier Tech, Ltd. Quebec, Canadá); la cual se mantuvo en condiciones húmedas con agua potable en un medio cubierto con plástico transparente a temperatura ambiente (35±2 °C) hasta que las semillas germinaron. Posteriormente, las plántulas fueron trasplantadas al aparecer las dos primeras hojas (González et al. 2013) en una charola de poliestireno con 200 cavidades de 25 cm³ cada una, donde una plántula correspondió a una cavidad. Se regó por aspersión de manera manual con una regadera una vez al día, por la mañana, en cantidad necesaria para humedecer la superficie y el sustrato se tornara más oscuro debido a la humedad. Cuando la planta alcanzó una altura de 0.15 - 0.20 m y presentó tres o cuatro hojas verdaderas (González et al. 2013), se efectuó nuevamente un trasplante a macetas de poliestireno color negro de 7 L de capacidad, que contenían sustrato.

Sustratos. El número total de macetas que se utilizaron fueron 32, en 16 de ellas se depositaron cinco litros de arena (A) en cada una; mientras que en el resto se colocaron cinco litros de una mezcla de perlita con arena (PA) (relación porcentual 80:20, respectivamente) en cada una maceta. Los sustratos en las macetas se desinfectaron con una solución de hipoclorito de sodio al 5% y se lavaron con agua para eliminar el exceso de hipoclorito (Rodríguez et al. 2009).

Soluciones nutritivas. Cuatro soluciones nutritivas fueron utilizadas, una preparada a partir de fertilizantes sintéticos y tres orgánicas. La solución química (SQ) consistió en la solución universal de Steiner, que se preparó con fertilizantes comerciales de alta solubilidad en un dispositivo conectado a una bomba de aire, con la finalidad de proporcionarle oxígeno a la solución (Rodríguez et al. 2011); de tal manera que la solución nutritiva se encuentre balanceada químicamente en sus macro nutrientes: K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} para los Aparte, tres soluciones orgánicas se utilizaron para la nutrición del cultivo. Estas soluciones fueron preparadas a partir de excretas de bovino (Mamani et al. 2012), como composta (SC), vermicomposta (SV) y lixiviado de vermicomposta (LV) que se obtuvo durante el proceso de vermicompostaje (Tabla 1). La composta se preparó mediante un proceso aeróbico (Ochoa et al. 2009) y para la vermicomposta se empleó la lombriz *Eisenia foétida* por ser un organismo capaz de generar un abono orgánico de excelente calidad (González et al. 2012). En la preparación de las soluciones nutritivas orgánicas, la composta y vermicomposta fueron sometidas a fermentación aeróbica en agua, (Rippy et al. 2004, Ochoa et al. 2009); para lo cual, 60 L de agua fueron oxigenados en dos tanques de 200 L (uno por cada solución nutritiva orgánica) con una bomba de aire durante dos horas. Después de transcurrido el tiempo, seis kilogramos de

composta y vermicomposta se agregaron al tanque respectivo, así como 0.40 kg de piloncillo a cada tanque como fuente de energía para los microorganismos. La oxigenación de ambas preparaciones continuó hasta el fin del proceso (24 h). El líquido obtenido después de 24 horas fue filtrado a través de una malla de plástico. Por otro parte, para la preparación del LV (Tabla 1), se depositaron 60 L de agua potable en un tanque de 200 L y se oxigenaron mediante una bomba de aire durante dos horas; luego se agregaron 6 L de lixiviado de vermicomposta y la oxigenación continuó por 24 h más (Rodríguez et al. 2011). Todas las soluciones fueron ajustadas a una conductividad eléctrica de 2 dSm^{-1} , con agua potable para evitar problemas de fitotoxicidad (Carballo et al. 2009, Oliva-Llaven et al. 2010). El pH fue ajustado a 5,5 con H_2SO_4 . Estas soluciones se utilizaron en el fertirriego de las plantas de albahaca, por su contenido de nutrientes solubles y compuestos benéficos para las especies vegetales (Ochoa et al. 2009).

Variables de comparación. Cuatro variables fueron evaluadas al final del ciclo vegetativo: R, AF, CFT y CAT. El rendimiento (gr/planta) se obtuvo al pesar hojas y tallos por separado en una balanza electrónica de precisión marca KERN & SOHN (Alemania). Mientras que el AF o área foliar se determinó directamente con un analizador Láser Portátil CID Ref. CI-202 USA. (Ky-Dembele et al. 2010, Coggliati et al. 2010).

Aparte se obtuvieron los compuestos fenólicos totales (CFT) y la capacidad antioxidante total (CAT), como se menciona a continuación:

Determinación de CFT. Las hojas frescas de albahaca fueron lavadas con solución de hipoclorito de sodio al 3%, luego fueron extendidas en papel estraza y secadas a temperatura ambiente ($25^\circ\text{C} \pm 2$) durante 15 días. Posteriormente

las muestras fueron molidas en una licuadora Hamilton Beach y almacenadas a 5 °C para la obtención de extractos (Ramos et al. 2012), para lo cual se mezclaron 150 mg de muestra seca en 5 ml de metanol al 70% en tubos CORNING Centrisar TM con tapa de rosca y capacidad de 14 ml, los cuales fueron colocados en un agitador Test Tube Rocker a 20 rpm (marca UNICO modelo L-TTR-200) durante cuatro horas. Los tubos fueron centrifugados luego a 3000 rpm durante cinco minutos y el sobrenadante fue extraído para su análisis. Una vez que se tuvo el sobrenadante, se tomaron 300 µl de la dilución de la muestra y se agregaron 1680 µl de agua destilada y 120 µl de reactivo de Folin-Ciocalteu, se mezcló vigorosamente en vortex a 2500 rpm durante 10 segundos, después se dejó reposar durante 30 minutos exactos. Transcurrido ese tiempo, se agregaron 0.9 ml de carbonato de sodio al 7.5% (p/v) y se mezcló en vortex a 2500 rpm durante 10 segundos, luego se dejó reposar a temperatura ambiente durante 30 minutos y se leyó la absorbancia a 765 nm en espectrofotómetro GENESYS 6. Este análisis se realizó por triplicado. El contenido fenólico total se calculó mediante una curva patrón usando ácido gálico (Sigma, St. Louis, Missouri, EE.UU.) y los resultados se reportaron en mg de ácido gálico equivalente por g de muestra en base seca (mg AG equiv g⁻¹), como se indica en el método Folin-Ciocalteu (Singleton et al. 1998).

Determinación de la CAT: La determinación de la capacidad antioxidante total de las diferentes muestras se llevó a cabo con base en el método Brand-Williams et al. (1995), con ligeras modificaciones. La solución del radical libre 1,1-difenil-2-picril-hidrazilo (DPPH⁺) (Aldrich, St. Louis MO, EE.UU.) fue preparada en un matraz completamente cubierto con papel aluminio, con 5 mg de DPPH⁺ /100 ml de etanol grado analítico; la mezcla fue agitada vigorosamente y el matraz se

mantuvo cubierto para evitar la rápida degradación. Posteriormente fueron depositados 300 µl de muestra de extracto diluido en tubos de ensayo, por triplicado y se adicionaron 1200 µl de agua destilada agitándose a 3000 rpm durante 10 s. Se adicionó 1 ml de solución de DPPH⁺ y se agitó nuevamente en vortex a 3000 rpm durante 10 s. Las lecturas fueron hechas en un espectrofotómetro marca GENESYS 6 a 515 nm después de 90 segundos. La actividad antioxidante total fue calculada mediante una curva patrón usando el antioxidante de referencia Trolox (Palomino et al., 2009), y los resultados fueron expresados en base seca como µM equiv TROLOX g⁻¹.

Diseño experimental. El estudio consistió del análisis de dos factores, A (sustratos) con dos niveles y B (soluciones nutritivas), con cuatro niveles, de tal manera que se generaron ocho tratamientos con cuatro repeticiones formando un total de 32 unidades experimentales; en un diseño factorial completamente al azar y un arreglo en cuatro líneas con una distancia entre macetas de 0.50 m.

Análisis estadístico. Los resultados obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza y una comparación de medias mediante la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$), usando el programa estadístico SAS, (1999) versión 9.0.

RESULTADOS

El análisis de los valores obtenidos en el desarrollo fenológico del cultivo presenta los siguientes resultados:

Rendimiento. El rendimiento de *O. Basilicum* no mostró diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$) a los sustratos, e incluso la interacción sustrato-soluciones, no fue significativa, de acuerdo al ANOVA, presentando el

mayor rendimiento el tratamiento SQ-A (Tabla 2). En cambio, el tipo de solución nutritiva sí influyó en el rendimiento ($p \leq 0,05$), ya que el resultado mayor se obtuvo cuando se aplicó la SQ a las plantas; mientras que la soluciones orgánicas con mayor rendimiento fue la SL (Tabla 3). Resultados similares fueron reportados por Ochoa et al. (2009), quienes encontraron menor rendimiento en cultivos fertilizados con soluciones nutritivas orgánicas. En este sentido, García et al. (2008), reportan que la dilución de las soluciones orgánicas, con la finalidad de disminuir la conductividad eléctrica (CE), disminuye la concentración de nutrientes, lo que incide directamente en R, lo cual probablemente afectó a las unidades experimentales en este trabajo. Sin embargo, los valores de R se encuentran dentro de los rangos reportados en otros trabajos, los cuales varían por planta de 56 a 90 g (Hochmut et al. 2008), por lo que puede considerarse que el uso de soluciones nutritivas orgánicas es una alternativa ecológica y sustentable para este tipo de especies (Márquez et al. 2013).

Área foliar. Los factores estudiados afectaron significativamente el área foliar (Tabla 3); asimismo, la interacción resultó altamente significativa. La mayor AF se presentó en el tratamiento SV-A, seguida de SQ-PA (Tabla 2). Este resultado tuvo la misma tendencia que en otras investigaciones en las que se han probado tratamientos con y sin materiales compostados y fertilización química en diferentes cultivos (Cruz et al. 2012) y coinciden con el trabajo de Contreras y Gómez (2008), que reportan valores de área foliar de 901 cm² al evaluar tres variedades de albahaca (Nufar, Genovese y Aromaz). En nuestro trabajo, el AF en el sustrato A fue mayor que PA; esta diferencia se puede deber a las características físicas de los mismos, lo que influye en el crecimiento del sistema radicular de la planta en el sustrato ya que el sustrato arena-perilita tiene una

densidad aparente y porcentaje de agua fácilmente disponible menores que la arena (Baixauli y Aguilar 2002); en este sentido la arena pudo ejercer un mayor efecto sobre en la asimilación de nutrientes. En cuanto a la aplicación de soluciones nutritivas, se observó que el AF fue significativamente mayor al aplicar SQ, en cambio en las soluciones orgánicas la SV y SC, tuvieron una AF similar (Tabla 3). Al respecto, diferentes investigadores mencionan que la aplicación de efluentes orgánicos, vía foliar o adicionados al suelo, favorecen la sanidad vegetal y aumentan el rendimiento en plantas aromáticas, debido principalmente a que contienen microorganismos benéficos que favorecen la absorción de los nutrientes esenciales en forma iónica (Albert et al. 2012, González et al. 2013). Asimismo, la interacción Sustrato*Solución nutritiva resultó altamente significativa (Tabla 2). La mayor AF se presentó al interactuar la solución de vermicompost con arena, seguida de la solución nutritiva química con perlita-arena. Según Hidalgo et al. (2009), el vermicompost contiene sustancias fenólicas que activan los procesos de respiración y con ello, el metabolismo y la absorción de nutrientes. Este material puede comportarse como hormona estimuladora del crecimiento, dado que 1 mg/L de vermicompost equivale en actividad a 0.01 mg/L de ácido indolacético (Delgado 1985). Además, las sustancias húmicas asociadas con la actividad enzimática, aportan una amplia gama de sustancias fitorreguladoras del crecimiento (Martínez 1999) que son adheridas a las partículas de arena, siendo estas más fácilmente asimilables.

Compuestos fenólicos totales. El CFT en albahaca presentó diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre tratamientos, encontrándose en niveles de 0.55% en base seca. En cuanto al factor sustrato, el CFT fue mayor en un 23 % en arena que en la mezcla perlita-arena. Según Baixauli y Aguilar (2002), los tamaños de

partícula de la arena van de 0.02 hasta 2 mm por lo que la capacidad de retención de agua fácilmente disponible es alta, lo que puede influir en la disponibilidad de nutrientes. Para el factor solución nutritiva, se observó diferencia significativa ($p \leq 0.05$); los extractos de plantas tratadas con soluciones de origen orgánico presentaron mayor contenido de CFT; siendo más alto con SV y finalmente la SQ (Tabla 3). Comportamiento similar fue reportado por Taie et al. (2010), al tratar albahaca con sustancias nutritivas orgánicas contra fertilización química, lo que podría ser explicado por las diferencias en las condiciones de crecimiento de la planta y el origen de las fuentes orgánicas (Dossier FiBL 2007). Por otra parte, el uso de soluciones nutritivas orgánicas como bioestimuladores, potencia la producción de metabolitos secundarios, y las sustancias húmicas contenidas en estas soluciones, además de inducir cambios en el metabolismo primario (como la promoción del crecimiento de raíces laterales), pueden también modificar el metabolismo secundario de las plantas (Canelas et al. 2002, Nardi et al. 2007). Por otra parte, en suelos arenosos las sustancias húmicas envuelven las partículas de arena, incrementando la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y la capacidad de retención de humedad y de los elementos nutritivos, asimismo se evita la lixiviación de los elementos nutritivos, sobre todo del nitrato (Selim et al. 2010, Fahramand et al. 2014).

Capacidad antioxidante total. La Tabla 3 muestra los resultados de la CAT de albahaca blanca, obtenidos mediante el método DPPH⁺. No se encontró diferencia significativa en cuanto a los sustratos; respecto a las soluciones nutritivas, se observa que con la SV se presentó una mayor CAT, seguida de la SC, SL y finalmente la SQ. Asimismo, la interacción sustrato-solución nutritiva presentó diferencia altamente significativa, siendo mayor la producción de

antioxidantes por el tratamiento SC-A seguida por SV-A y SV-PA (Tabla 2). De las plantas tratadas con SV y con SC se obtuvo una mayor CAT, lo que coincide con lo que reportaron Zheng y Wang (2001) respecto a la capacidad antioxidante de plantas medicinales. En diversos estudios se ha investigado la influencia de la nutrición orgánica en la calidad fitoquímica de los cultivos, (Dumas et al. 2003, Toor et al. 2006). Al respecto Nur et al. (2012) reportaron que la fertilización con compost y vermicompost presenta efectos significativos en la actividad antioxidante en *Cassava tubers*. Los resultados de esta investigación concuerdan con los reportados por Taie et al. (2010), quienes concluyeron que la capacidad antioxidantes en albahaca se incrementa significativamente mediante fertilización orgánica.

CONCLUSIONES

A partir del presente estudio llevado a cabo con el objetivo de determinar la influencia del tipo de solución nutritiva y sustrato en el rendimiento, área foliar, compuestos fenólicos totales y capacidad antioxidante total en albahaca blanca (*Ocimum basilicum* L.), se concluye que la producción de Albahaca orgánica en condiciones protegidas, utilizando arena como sustrato y solución de compost o vermicompost como soluciones nutritivas, es una alternativa para estimular la producción de metabolitos secundarios (compuestos fenólicos y antioxidantes) y la reducción del uso de agroquímicos, quedando abierta la oportunidad para implementar la producción sostenible de este importante cultivo.

REFERENCIAS

Albert N, Nazaire K, Hartmut K (2012) The relative effects of compost and non-aerated compost tea in reducing disease symptoms and improving

- tuberization of *Solanum tuberosum* in the field. *Int. J. Agric. Res. Rev.* 2: 504-512.
- Baixauli C, Aguilar JM (2002) Cultivo sin Suelo de Hortalizas. Aspectos Prácticos y Experiencias Generalitat Valenciana Sèrie Divulgació Tècnica pp.15-26.
- Biesiada A, Kus A (2010) The effect of nitrogen fertilization and irrigation of yielding and nutritional status of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) *Acta Scientiarum Polonorum, Hortorum Cultus* 9: 3-12.
- Brand-Williams W, Cuvelier ME, Berset C (1995) Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *Lebensmittel Wissenschaften und Technologie* 28: 25-30.
- Canellas LP, Olivares FL, Okorokova-Façanha AL, Façanha AS (2002) Humic acids isolated from earthworm compost enhance root elongation, lateral root emergence and plasma membrane H⁺-ATPase activity in maize roots. *Plant Physiology* 130: 1951-1957.
- Cantillano RFF, Ávila LMM, Peralba MCR, Pizzolato TM, Toralles RP (2012) Actividad antioxidante, compuestos fenólicos y ácido ascórbico de frutillas en dos sistemas de producción. *Horticultura Brasileira* 30: 620-626.
- Carballo T, Gil MV, Calvo LF, Morán A (2009) The influence of aeration system, temperature and compost origin on the phytotoxicity of compost tea. *Compost Sci. Utiliz.* 17: 127-139.
- Cogliatti DH, Cataldi MF, Iglesias F (2010) Estimación del área de las hojas en plantas de trigo bajo diferentes tipos de estrés abiótico. *Agriscientia* 27: 43-53.
- Contreras A, Gómez C (2008) Evaluación de tres variedades de albahaca y dos dosis de fertilización en producción hidropónica y en suelo. *Carrera de Ciencia y Producción Agropecuaria*. Zamorano, Honduras. pp 13.
- Cruz E, Sandoval M, Volke HV, Can A, Sánchez J (2012) Efecto de mezclas de sustratos y concentración de la solución nutritiva en el crecimiento y rendimiento de tomate. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 3: 1361-1373.
- Delgado M (1985) Primera Jornada Nacional de Lombricultura. Sociedad Nacional de Agricultura. Centro de Investigación y Desarrollo de Lombricultura. Universidad Santiago de Chile. Chile. 51 p.
- Dossier FiBL (Forschungsinstitut für biologischen Landbau) (2007) La calidad y seguridad de los productos ecológicos. Los sistemas alimentarios comparados. pp 3.
- Dumas Y, Dadomo M, Di Lucca G, Grolier P (2003) Effects of environmental factors and agricultural techniques on antioxidant content of tomatoes. *J. Sci. Food Agric.* 83: 369-382.
- Dzida K (2010) Biological value and essential oil content in sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) depending on calcium fertilization and cultivar. *Acta Scientiarum Polonorum, Hortorum Cultus* 9:153-161
- Fahramand M, Moradi H, Noori M, Sobhkhizi A, Adibian M, Abdollahi S, Rigi K (2014) Influence of humic acid on increase yield of plants and soil properties. *Intl J Farm & Alli Sci.* 3: 339-341.
- García GR, Dendooven L, Gutiérrez MFA (2008) Vermicomposting leachate (worm tea) as liquid fertilizer for maize (*Zea mays* L.) forage production. *Asian J. Plant Sci.* 7: 360-367.

- González KD, Rodríguez MN, Trejo LI, García JL, Sánchez J (2013) Efluente y té de vermicompost en la producción de hortalizas de hoja en sistema NFT. *Interciencia* 38: 863-869.
- González G, Nieto A, Murillo B, Ramírez R, Villavicencio EA, Hernández JD, Aguilar X, Guerrero ZE (2012) Guía técnica para la producción de lombricomposta. Edit. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz, Baja California Sur, México. 127 p.
- Hidalgo PR, Sindoni M, Marín C (2009) Evaluación de sustratos a base de vermicompost y enmiendas orgánicas líquidas en la propagación de parchita (*Passiflora edulis* v. *flavicarpa*) en vivero. *Revista UDO Agrícola* 9: 126-135.
- Hochmuth RC, Davis LL, Laughlin WL, Simonne EH (2008) Evaluation of Organic Nutrient Sources in the Production of Greenhouse Hydroponic Basil. North Florida Research and Education Center – Suwannee Valley, UF/IFAS, Live Oak, FL 32060.
- Ky-Dembele C, Bayala J, Savadogo P, Tigabu M, Odén PC, Issaka JB (2010) Comparison of growth responses of *Khaya senegalensis* seedlings and stecklings to four irrigation regimes. *Silva Fennica* 44: 787-798.
- Lee J, Koo N y Min DB (2008). Reactive Oxygen Species, Aging, and Antioxidative Nutraceuticals. *Comprehensive Reviews* 449 in *Food Science and Food Safety* 3: 21–33.
- Mamani G, Mamani F, Sainz H, Villca R (2012) Comportamiento de la lombriz roja (*Eisenia* spp.) en sistemas de vermicompostaje de residuos orgánicos. *J. Selva Andina Res. Soc.*1: 44-54
- Márquez-Hernández C, Cano-Ríos P, Figueroa-Viramontes U, Avila-Diaz JA, Rodríguez-Dimas N, García-Hernández JL (2013) Rendimiento y calidad de tomate con fuentes orgánicas de fertilización en invernadero. *Revista de Botánica Experimental PHYTON* 82: 55-61.
- Martínez C (1999) Potencial de la Lombricultura. *Lombricultura Técnica Mexicana*. 2da edición. México. 140 p.
- Moncayo R, Álvarez VP, González G, Salas L, Chávez J (2015) producción orgánica de albahaca en invernadero en la Comarca Lagunera. *Terra Latinoamericana*.
- Moreno A, Solís G, Blanco E, Vásquez J, Guzmán LM, Rodríguez N, Figueroa U (2014) Desarrollo de plántulas de huizache (*Acacia farnesiana*) en sustratos con vermicompost. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 20: 55-62.
- Naczek M, Shaihidi F (2006) Phenolics in cereals, fruits and vegetables: Occurrence, extraction and analysis. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis* 41: 1523-1542.
- Nardi S, Muscolo A, Vaccaro S, Baiano S, Spaccini R, Piccolo A (2007) Relationship between molecular characteristics of soil humic fractions and glycolytic pathway and krebs cycle in maize seedlings. *Soil Biol. Biochem.* 39:3138–3146.
- Nur FO, Siti H, Umi Y, Nur PA, Puteri MW, Uma S (2012) Phenolics, Flavonoids, Antioxidant Activity and Cyanogenic Glycosides of Organic and Mineral-base Fertilized Cassava Tubers. *Molecules* 17: 2378-2387.
- Ochoa ME, Figueroa VU, Cano P, Preciado P, Moreno A, Rodríguez N (2009) Té de composta como fertilizante orgánico en la producción de tomate

- (*Lycopersicon Esculentum* Mill.) en invernadero. Rev. Chapingo Ser. Hort. 15: 245-250.
- Oliva-Llaven MA, Rodríguez HL, Mendoza NP, Ruiz SB, Álvarez SJD, Dendooven L (2010) Optimization of worm-bed leachate for culturing of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) inoculated with *Glomus fasciculatum* and *Pseudomonas fluorescen*. Electron. J. Biotechnol. 13:1-8.
- Palomino LR, García CM, GIL JH, Rojano BA, Durango DL (2009) Determinación del contenido de fenoles y evaluación de la actividad antioxidante de propóleos recolectados en el departamento de antioquia (COLOMBIA). Vitae 16: 388-395.
- Pant AP, Radovich KTJ, Hue V, Talcott TS, Krenek AK (2009) Effects of vermicompost tea (aqueous extract) on pak choi yield, quality, and on soil biological properties. Compost Sci. Util. 19: 279-292.
- Ramos N, Sanabria ME, Rodríguez DA, Ulacio D (2012) Efecto del extracto etanólico de albahaca genovesa (*Ocimum basilicum* var. Genovese) sobre *Cercospora apii* Fressen y el tizón temprano del celery (*Apium graveolens*). Revista Científica UDO Agrícola 12: 472-478.
- Rippy JFM, Peet MM, Louws FJ, Nelson PV, Orr DB, Sorensen KA (2004) Plant development and harvest yield of greenhouse tomatoes in six organic growing systems. Hort Science 39: 223-229.
- Rodríguez HLF, Giraldo GA, Murillo PE (2011) Determinación del quimiotipo de la fracción volátil del aceite esencial de hojas de albahaca de variedad *Ocimum*, por cromatografía de gases acoplada a masas (GC-MS). Revista Tumbaga 6: 53-62.
- Rodríguez N, Cano P, Figueroa U, Favela E, Moreno A, Márquez C, Ochoa E, Preciado P (2009) Uso de abonos orgánicos en la producción de tomate en invernadero. Terra Latinoamericana 27: 319-327.
- Salas L, Esparza JR, Preciado P, Alvarez VP, Meza JA, Velázquez JR, Murillo M (2012) Rendimiento, calidad nutricional, contenido fenólico y capacidad antioxidante de forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays* L.) producido en invernadero bajo fertilización orgánica. Interciencia 37: 215-220.
- Sánchez C, Lucero JM (2012) Nichos de mercado de especies aromáticas orgánicas tipo gourmet. Edit. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz, Baja California Sur, México 72 p.
- SAS (1999) Statistic Analysis System 9.0. Program. Stat Soft. Inc. Cary, NC, EEUU.
- Selim EM, El-Neklawy AS, El-Ashry SM (2010) Beneficial Effects of Humic Substances on Soil Fertility to Fertigated Potato Grown on Sandy Soil. Libyan Agriculture Research Center Journal International 1: 255-262.
- Singleton VL, Orthofer R, Lamuela-Raventós RM (1998) Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. Methods in Enzymology 299: 152-178.
- Steiner AA (1984) The universal nutrient solution. Proc. 6th Int. Cong. on Soilless Culture. ISOSC. Lunteren, Holanda. pp. 633-515 649.
- Taie HAA, Ae Z, Salama R, Radwan S (2010) Potential Activity of Basil Plants as a Source of Antioxidants and Anticancer Agents as Affected by Organic and Bio-organic Fertilization. Not. Bot. Hort. Agrobot. Cluj. 38: 119-127.
- Toor RK, Savage GP, Heeb A (2006) Influence of different types of fertilizers on the major antioxidant components of tomatoes. J. Food Compos. 19: 20-27.

Zheng W, Wang SY (2001) Antioxidant activity and phenolic compounds in selected herbs. J. Agric. Food Chem. 49: 5165-5170.

Tabla 1. Composición química de las soluciones nutritivas

| Solución | Ca | Mg | Na | K | Cl | SO ₄ | Fe | Cu | Zn | Mn | B | N | P | Ce | pH |
|-------------|-------------------------------|----|-----|-----|-----|-----------------|-----|-----|-----|-----|---|-----|---|--------------------|----|
| | -----mg L ⁻¹ ----- | | | | | | | | | | | | | dS m ⁻¹ | |
| SQ | 162 | 96 | 100 | 321 | 57 | 1230 | 22 | 1 | 2 | 11 | 2 | 125 | 4 | 3 | 6 |
| | | | † | | | | | | | | | | 4 | | |
| LXVC | 84 | 40 | 158 | 297 | 78 | 600 | 1 | 1 | 0.1 | 0.0 | 1 | 15 | 2 | 2 | 5 |
| | | | | | | | | | 0 | 5 | | | 0 | | |
| SC | 238 | 34 | 101 | 266 | 78 | 288 | 3 | 0.1 | 0.1 | 0.7 | 4 | 12 | 3 | 3 | 6 |
| | | | | | | | | 3 | 1 | 3 | | | 6 | | |
| SVC | 165 | 97 | 188 | 459 | 185 | 200 | 0.5 | 0.0 | 0.0 | 0.3 | 2 | 33 | 9 | 4 | 7 |
| | | | | | | | | 1 | 6 | 2 | | | 5 | | |

†Presentes en el agua utilizada.

†Present in the water used.

Tabla 2. Comparación de medias de las variables evaluadas en albahaca bajo diferentes soluciones nutritivas y sustratos

| Tratamiento | Rendimiento (g) | Área foliar (cm ²) | CFT ¹ (mg AGEquiv g ⁻¹) | CAT ² (µM equivTROLOX g ⁻¹) |
|--------------|--------------------|--------------------------------|--|--|
| SQ-PA | 92.4 ^{ab} | 1395.7 ^{ab} | 4.8 ^{cd} | 107.1 ^{bc} |
| SQ-A | 100.7 ^a | 1122.4 ^{cd} | 4.4 ^d | 78.2 ^e |
| LV-PA | 80.3 ^{bc} | 993.7 ^d | 4.5 ^d | 102.0 ^{cd} |
| LV-A | 78.2 ^{bc} | 1006.4 ^{cd} | 5.6 ^{bc} | 96.6 ^d |
| SC-PA | 74.4 ^{bc} | 1037.8 ^{cd} | 4.4 ^d | 116.0 ^b |

| | | | | |
|--------------|--------------------|----------------------|------------------|--------------------|
| SC-A | 75.4 ^{bc} | 1233.1 ^{bc} | 7.6 ^a | 146.0 ^a |
| SV-PA | 66.1 ^c | 909.1 ^d | 5.9 ^b | 139.0 ^a |
| SV-A | 66.1 ^c | 1498.1 ^a | 6.9 ^a | 139.0 ^a |

¹Datos expresados como mg equivalente de ácido gálico por gramo base seca

²Datos expresados como μM equivalente de TROLOX por gramo base seca

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

Tabla 3. Resultados por planta de albahaca blanca cultivada en invernadero con diferente sustrato y soluciones nutritiva.

| Factor | Nivel | R | A F | CFT | C AT |
|-----------------------------|------------|------------------|-----------------------|----------------------------------|--|
| | | g | cm² | mg AGequiv g⁻¹ | μM equivTROLOX g⁻¹ |
| Sustrato | A | 83 ^a | 1215 ^a | 6.09 ^a | 114,91 ^a |
| | PA | 80 ^a | 1084 ^b | 4.66 ^b | 116,28 ^a |
| Solución nutritiva | SQ | 97 ^a | 1259 ^a | 4.59 ^b | 92.65 ^b |
| | LVC | 79 ^{ab} | 1000 ^b | 5.06 ^b | 99.19 ^b |
| | SC | 75 ^b | 1135 ^{ab} | 5.42 ^a | 131.18 ^a |
| | SV | 75 ^b | 1204 ^{ab} | 6.44 ^a | 139.36 ^a |
| Sust.*Sol. Nutritiva | | ns | ** | ** | ** |

¹Datos expresados como mg equivalente de ácido gálico por gramo base seca

²Datos expresados como μM equivalente de TROLOX por gramo base seca

[†]Medias con letra diferente en la misma columna y factor indican diferencia significativa, según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$); ns: no significativo, *: significativo $\alpha=0.05$, **: altamente significativo $\alpha=0.01$.

CAPÍTULO 3. DISCUSIÓN GENERAL Y CONCLUSIONES

3.1. Discusión general

Se obtuvieron resultados similares a los obtenidos en otros estudios, lo que sugiere que es recomendable la nutrición orgánica para la producción de metabolitos secundarios (compuestos fenólicos).

La elección del tipo de sustrato es una de las decisiones más importantes para obtener una cosecha de calidad, en un periodo corto de tiempo, con bajos costos de producción y sin provocar un grave impacto ambiental. La arena de río y la perlita han sido ampliamente utilizadas en el cultivo de hortalizas en invernadero, en la Comarca Lagunera en años recientes obteniendo altos rendimientos, lo que es ratificado mediante el presente estudio.

3.2. Conclusiones

En función de las condiciones bajo las cuales fue conducido el presente estudio se concluye que la producción de albahaca orgánica en condiciones protegidas, utilizando arena como sustrato y solución de compost o vermicompost como soluciones nutritivas, es una alternativa para estimular la producción de metabolitos secundarios (compuestos fenólicos) y la capacidad antioxidante así como la reducción del uso de agroquímicos, quedando abierta la oportunidad para implementar la producción sostenible de este importante cultivo.

Hay estudios que abordan la producción de fitoquímicos en las plantas como respuesta al estrés, pero los estudios acerca de la inducción de estos metabolitos secundarios son escasos, por lo que esta situación representa un área de oportunidad para la continuación de este estudio.

CAPÍTULO 4. BIBLIOGRAFÍA

- ADIGÜZEL A., M. GÜLLÜCE, M. ÖĞÜTCÜ., F. ŞAHİN, İ. KARAMAN. 2005. Antimicrobial effects of *Ocimum basilicum* (Labiatae) extract. Turk. J. Biol. 29: 155-160.
- ALIZADEH A, M. KHOSHKUI, K. JAVIDNIA, O. FIRUZI, E.TAFAZOLI, A. KHALIGHI. 2010. Effects of fertilizer on yield, essential oil composition, total phenolic content and antioxidant activity in *Satureja hortensis* L. (Lamiaceae) cultivated in Iran. Journal of Medicinal Plants Research 4:33-40.
- ANWAR M., D.D. PATRA, S. CHAND, A. KUMAR, A. ALPESH, T. NAQVI y S.P.S. KHANUJA. 2005. Effect of organic manures and inorganic fertilizer on growth, herb and oil yield, nutrient accumulation, and oil quality of French basil. Communications in Soil Science and Plant Analysis 36: 1737-1746.
- APEL K. y H. HIRT. 2004. Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction. Annual Review of Plant Biology 55: 373-99.
- ÁVALOS G., C. PÉREZ-URRIA. 2009. Metabolismo secundario de plantas. Reduca (Biología). Serie Fisiología Vegetal. 2: 119-145.
- AZCON-BIETO y M. TALÓN. 1993. Fisiología y bioquímica de plantas. Mc Graw-Hill Interamericana. Madrid, España pp. 373-377.
- BALCH J. F. 2006. Los súper antioxidantes. Muscaria 2ª edición. España.

- BARROSO L. 2002. Fenología de la albahaca blanca (*Ocimum basilicum* L.) cultivada en diferentes fechas de siembra. *Cultivos Tropicales* 23: 5-8.
- BLOKHINA O., E. VIROLAINEN, y K.V. FAGERSTEDT. 2003. Antioxidants, oxidative damage and oxygen deprivation stress: a review. *Annals of Botany* 91: 179-194.
- BRAND-WILLIAMS W., M.E. CUVELIER, C. BERSET. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity, *Food Science and Technology* Vol. 28, pp. 25-30.
- CERONI M. 1989. El Cultivo moderno y rentable de las plantas aromáticas y medicinales. Ed. De Vecchi. Barcelona. Pp. 158
- CHANG CHIEN S.W., M.C. WANG y C.C. HUANG. 2006. Reactions of compost-derived humic substances with least copper, cadmium and zinc, *Chemosphere* 64: 1253-1361.
- CHIRINOS M., R. VELÁSQUEZ, C. ASCANIO, J. MATA y A. CARRASQUEÑO. 2009. Obtención de aceites esenciales de albahaca (*Ocimum basilicum* L.) a partir de tejidos cultivados in vivo e in vitro. *Rev. Fac. Agron. UCV* 35: 28-33.
- COLLURA A.M. y N STORTI. 1971. Manual para el cultivo de plantas aromáticas. INTA. Colección Agropecuaria 234 pp. 53 - 56.
- CORPORACIÓN COLOMBIA INTERNACIONAL (CCI). 2007. Albahaca (*Ocimum basilicum*). pp. 223-232. En: canasta de productos del Plan Hortícola Nacional. Plan Hortícola Nacional-PHN. Corporación Colombia Internacional (CCI). Bogotá, D.C.
- CRUZ O., P. MARRERO, M. HERRERA y L. GARCÍA. 2005. Compendio de Ecología Edit. Feliz Varela La Habana pp.130.
- Dixon R.A. y N.L. Paiva. 1995. Stress-induced phenylpropanoid metabolism. *Plant Cell* 7: 1085-1097.
- FERREIRA R. 1995. El sistema de defensas antioxidantes. Monografía. Estrés oxidativo y antioxidante. Buenos Aires, Argentina.
- GARCÍA I. y L. GONZÁLEZ. 2005. Análisis e identificación de bioestimulantes indólicos en una composta. *Investigación Universitaria Multidisciplinaria* - año 4, nº4.

- GECHEV T.S., F. VANBREUSEGEM, J.M. STONE, I. DENEV, y C. LALOI. 2006. Reactive oxygen species as signals that modulate plant stress responses and programmed cell death. *Bioassays* 28, 1091-1101.
- GRATAO P., A. POLLE, LEA, P.J. y AZEVEDO, R.A. 2005. Making the life of heavy metal-stressed plants a little easier. *Functional Plant Biology* 32: 481-494.
- GOSTISHCHEVA, M. V., M. V. BELOUSOV, M. S. YUSUBOV, R. R. ISMATOVA y S. E. DMITRUK. 2009. Comparative IR spectral characteristics of humic acids from peats of different origin in the Tomsk area. 43:44-47.
- GULATI B. 1977. Methyl Chavicol Type VII International Congress of Essential Oils. Kyoto: 148-152.
- GUTIÉRREZ V. 2002. Daño oxidativo, radicales libres y antioxidantes. *Rev. Cubana Med. Milit*, 31: 126-33.
- HANSBERG T. W. 2002. *Biología de las especies de oxígeno reactivas*. Mensaje Bioquímico. UNAM. Mexico D.F.
- INGHAM E.R. 2005. *The compost tea brewing manual*. 5a ed. Soil Foodweb Inc. Corvallis, OR, EEUU pp. 79.
- INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, Forestales y Pecuarias). 2002. Manual de producción orgánica de albahaca, Baja California Sur, México. pp. 32-45.
- KÄHKÖNEN M., I. A. COPIA AND M. HEINONEN. 2001. Berry phenolics and their Antioxidant activity. *J. Agric. Food Chem.* Vol. 49: 4076 – 4082.
- LEHNINGER. 2007. *Principios de bioquímica*. Cuarta edición.
- MARTÍ M.C., D. CAMEJO, N. FERNÁNDEZ-GARCÍA, R. RELLÁN-ÁLVAREZ, S. MARQUES, F. SEVILLA y A. JIMÉNEZ. 2009. Effect of oil refinery sludges on the growth and antioxidant system of alfalfa plants. *Journal of Hazardous Materials* 172: 879-885.
- MITTLER R. 2002. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. Review. *Trends in Plant Science*. 7: 405-410.

- MUKHERJEE P.K. y A. WAHILE. 2006. Integrated approaches towards drug development from Ayurveda and other Indian system of medicines. *J. Ethnopharmacology* 103: 25-35.
- PANT A.P., K.T.J. RADOVICH, V. HUE, T.S. TALCOTT y A.K. KRENEK. 2009. Effects of vermicompost tea (aqueous extract) on pak choi yield, quality, and on soil biological properties. *Compost Sci. Util.* 19: 279-292.
- PDR for Herbal Medicines. 2000. Medical Economics Company, Montvale. Second Edition. pp 64-5.
- PERALTA-PÉREZ R. y T.L. VOLKE-SEPÚLVEDA. 2012. La defensa antioxidante en las plantas: una herramienta clave para la fitorremediación. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 11: 75-88.
- PÉREZ-VÁZQUEZ A., F. LANG-OVALLE, I. PERALTA-GARAY, F.J. AGUIRRE-PÉREZ F. J. 2012. Percepción del consumidor y productor de orgánicos: El Mercado OCELOTL de Xalapa, Ver. México. *Revista Mexicana de Agronegocios. Sexta Época. Año XVI* 31: 20-29.
- PIÑOL L., J. PALAZON, y R. CUSIDÓ. 2001. Introducción al metabolismo secundario en Azcon, J. y Talón, M., *Fundamentos I, Fisiología Vegetal*. 1era Edición. Ed. Mc Graw Hill-Interamericana, Madrid, España, pp. 261-274.
- POKORONU J., N. YANISHLIEVA y M. GORDON. 2005. Antioxidantes de los alimentos: aplicaciones prácticas. Editorial Acribia. Zaragoza, España pp. 141-148.
- ROBBINS R. 2003. Phenolic acids in foods: an overview of analytical methodology. *J. Agric. Food Chem* 51: 2866-2887.
- SEGURA-CASTRUITA M.A., P. PRECIADO, G. GONZÁLEZ, J. E. FRÍAS, G. GARCÍA, J. A. OROZCO Y M. ENRÍQUEZ. 2008. Adición de material pomáceo a sustratos de arena para incrementar la capacidad de retención de humedad. *Interciencia*. 33: 923-928.
- SINGH O.V., S. LABANA, G. PANDEY, R. BUDHIRAJA, Y R.K. JAIN. 2003. Phytoremediation: an overview of metallic ion decontamination from soil. *Applied Microbiology and Biotechnology* 61, 405-412.

- SINHA G.K. Y B.C. GULATI. 1991. Propiedades antibacterianas de algunos aceites esenciales y sus constituyentes. *Plantas Medicinales y Floricultura* 1: 10-11.
- SOLÍS S., L. HURTADO, M.E. PÉREZ, L.A. ALCÁNTARA. 2009. Análisis, extracción y efectos toxicológicos de rutina a partir de *Ruta graveolens* por medio de la técnica de maceración metanólica.
http://www.uaemex.mx/Red_Ambientales/docs/congresos/Ciudad%20Obregon/TOXICOLOGIA_Y_SALUD/TXA003.doc. Consultado el 3 de enero de 2015.
- TAIZ L. y E. ZEIGER. 2006. *PLANT Physiology*. 4ta Edición. Editorial SINAUER Associates Inc., Sunderland. Estados Unidos pp.322- 329.
- TAKAHAMA U. 1998. Ascorbic acid-dependent regulation of redox levels of chlorogenic acid and its isomers in the apoplast of leaves of *Nicotiana tabacum* L. *Plant Cell Physiol.* 39: 681-689.
- VEGA. S.F. 2008. Instructivo Técnico del Cultivo de Albahaca. Disponible en:
<http://www.fao.org/docs/eims/upload/cuba/5178/albahaca.pdf>. Consultado el 22 de Febrero de 2012.
- WERKER E., E. PUTIEVSKY Y U. RAVID. 1993. Glandular hairs and essential oil developing leaves of *Ocimum basilicum* (Lamiaceae). *Ann. Bot.* 71: 43-50.