

Determinación de las condiciones de germinación y crecimiento hidropónico de especies aromáticas de la región de Guanajuato

CARRILLO-LANDELL Felipe Guadalupe†, AGUILERA-RODRÍGUEZ Natalia, RUIZ-NAVA Luis Fernando y SÁNCHEZ-RAMOS Sanjuana

Instituto Tecnológico Superior de Irapuato, Carr. Irapuato - Silao, El Copal, 36821 Irapuato, Gto.

Recibido 6 de Abril, 2017; Aceptado 9 de Junio, 2017

Resumen

El uso incontrolado de los suelos para la obtención de recursos vegetales para alimento del hombre ha ocasionado diversos daños en los mismos tales como son la erosión del suelo y la pérdida de fertilidad, lo que ha llevado a la investigación de nuevas técnicas agrícolas como lo es la agricultura ecológica. Aunque si bien, el costo de los productos agrícolas obtenidos es elevado, ésta técnica aún requiere de la rotación de cultivos. Técnicas más simples como la hidroponía ofrece múltiples ventajas, siendo las principales la reducción de costos y el aumento de la producción en espacios más pequeños. El objetivo de este trabajo fue determinar las condiciones óptimas de crecimiento y germinación para cinco especies de plantas aromáticas de la región de Guanajuato (Albahaca, Epazote, Eneldo, Orégano y Tomillo) empleando dos sistemas hidropónicos (el sistema NFT y el sistema Estático), con tres formulaciones de soluciones nutritivas (1, Estándar; 2, Estándar reducida y 3, Económica) y tres sustratos (perlita, vermiculita y fibra de coco), esto con el fin de determinar el porcentaje de germinación, altura de la planta, tamaño de la raíz y follaje con las plantas que se experimentó.

NFT, Hidroponía, Solución Nutritiva, Plantas Aromáticas

Abstract

The uncontrolled use of soils to obtain plant resources for man's food has caused a number of damages, such as soil erosion and loss of fertility, which has led to the investigation of new agricultural techniques such as organic farming. Although the cost of agricultural products obtained is high, this technique still requires crop rotation. Simpler techniques such as hydroponics offer multiple advantages, being the main ones the reduction of costs and the increase of the production in smaller spaces. The objective of this work was to determine the optimal growth and germination conditions for five species of aromatic plants from the Guanajuato region (Basil, Herb Tea, Dill, Oregano and Thyme) using two hydroponic systems (the NFT system and the Static system) with three formulations of nutrient solutions (1, Standard, 2, Reduced Standard and 3, Economical) and three substrates (perlite, vermiculite and coconut fiber), in order to determine the percentage of germination, height of the plant, size of the root and foliage with the plants which it was experimented.

NFT, Hydroponic, Nutrient Solution, Aromatic Plants

Citación: CARRILLO-LANDELL Felipe Guadalupe, AGUILERA-RODRÍGUEZ Natalia, RUIZ-NAVA Luis Fernando y SÁNCHEZ-RAMOS Sanjuana. Determinación de las condiciones de germinación y crecimiento hidropónico de especies aromáticas de la región de Guanajuato. Revista de la Invención Técnica 2017. 1-2:14-24

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

En la actualidad debido al uso excesivo de fertilizantes y el mal uso de los suelos, se encuentran deteriorados gran parte de estos, los cuales son destinados a la producción agrícola. Muchas hectáreas de terreno han dejado de producir las cantidades de alimentos y recursos provenientes de la agricultura que se obtenían en años anteriores, debido a esto ha surgido la necesidad de optimizar métodos alternativos para la producción agrícola. Los cultivos hidropónicos han sido en gran medida, una muy importante opción para el desarrollo de diversas especies vegetales.

Este método es una técnica de bajo costo, permite el mejor desarrollo de las plantas, así mismo se obtiene una nutrición completa, un ahorro de espacios, no presentan contaminación, no necesita rotación de cultivos, además, permite una mejor planificación, menor consumo de agua, ahorro de tiempo, disminuye costo de mano de obra e insumos, obteniéndose con ello, productos con calidad de exportación. La hidroponía aunque es una técnica relativamente nueva en nuestro país, es una alternativa para la siembra de hortalizas, frutas y forraje para ganado en áreas limitadas (Espinosa, 2005). Esta técnica permite cosechas en períodos más cortos que la siembra tradicional, con las mismas características de sabor y calidad del producto y mayor producción, también favorece un ahorro considerable en el uso del agua de riego, reduce drásticamente la aplicación de plaguicidas, sustituyéndolos por repelentes orgánicos (Guzmán, 2004). El empleo de la técnica de hidroponía representa un incremento en la producción de hasta un 15- 20%, frente a un mismo cultivo pero realizado en suelo, esto debido a que las plantas obtienen de esta manera las condiciones de nutrición ideales (Sanz *et al.*, 2003).

Para este tipo de técnicas se emplean diferentes soportes o sustratos dependiendo de la técnica hidropónica empleada, ejemplo de ellos son los sustratos sólidos porosos tales como son: La perlita, vermiculita y fibra coco, empleados ampliamente por sus importantes características en cuanto a retención de agua, porosidad, disponibilidad de nutrientes e incluso por los costos (Muñoz, 2007). El sistema NFT (Nutrient Flow Technic) se basa en el flujo constante de una pequeña cantidad de solución. El sistema consta de líneas de distribución, un tanque de almacenamiento de la solución, tanques de formulación y una bomba que contemple las necesidades del sistema (Gilsanz, 2007). Estos tipos de sistemas han sido empleados para hacer crecer diferentes tipos y especies de plantas, tales como son hortalizas, frutas y en pocas ocasiones semillas. Debido a sus características las plantas aromáticas también resultan ser importantes candidatos a desarrollarse en hidroponía. El tomillo es una planta aromática empleada normalmente con fines culinarios. De él se obtiene un aceite esencial rico en timol, que es muy útil en la fabricación de perfumes y jabones. El orégano tiene una buena capacidad antioxidante y antimicrobiana contra microorganismos patógenos como *Salmonella typhimurium*. El epazote es una planta aromática perenne, más o menos pubescente, olor fuerte, de aproximadamente 40 cm de altura (Gómez, 2008). La albahaca es una planta aromática y medicinal, se usa en farmacia, licorería y perfumería. El eneldo tiene propiedades curativas, su infusión facilita la digestión, es anti-flatulenta, estimula al hígado, estimula la producción de leche durante lactancia, de uso tónico y antiespasmódica.

Justificación

Dentro de las especies que son aptas para desarrollarse con el uso de la técnica por hidroponía se encuentran las plantas de tipo aromáticas, siendo estas una buena opción de cultivo ya que presentan una importante cantidad de propiedades tanto medicinales como nutricionales, lo que las hace especies de interés para su estudio.

Problema

En la actualidad debido al uso excesivo de fertilizantes y el mal uso de los suelos éstos están deteriorados y se ha comprometido de manera significativa la producción de alimentos y recursos agrícolas.

Hipótesis

Mediante el uso de técnicas de hidroponía bajo distintos regímenes, impactará de manera significativa la germinación y crecimiento de plantas aromáticas típicas de la región de Guanajuato.

Objetivos

Objetivo General

Determinar las condiciones de germinación y crecimiento hidropónico de especies aromáticas de la región de Guanajuato.

Objetivos específicos

- Recolectar y seleccionar semillas de especies aromáticas en distintas estancias de la región de Guanajuato.
- Realizar ensayos de germinación bajo diferentes tipos de sustrato.

- Preparación de distintos medios nutritivos libres de suelos y su evaluación sobre el crecimiento de las plántulas en medios sólidos porosos artificiales.
- Análisis de parámetros estadísticos de los distintos tratamientos.

Marco Teórico

La agricultura en México

La agricultura en México sigue siendo una de las actividades de mayor importancia para la economía del país, pues de ella depende entre otras cosas, la alimentación de un gran número de personas. Diversos factores han influido en esto tales como la riqueza del suelo, el clima, y la extensión del territorio, son determinantes para el desarrollo productivo del país, sin embargo, de igual manera influyen de forma importante la demanda de dichos productos y varios factores económicos. En México, aunque se tenga una gran extensión territorial, diversos tipos de clima y suelo fértil, hay más elementos adversos que han llegado a producir una drástica modificación en la capacidad productiva. Cabe destacar que en México se tiene una gran variedad de productos agrícolas tales como frijol, maíz, trigo, ajonjolí, cártamo, algodón, soya, cebada, sorgo, aguacate, fresas, limones, mangos, manzanas, melones, naranjas, nueces, piñas, plátanos y uvas, la mayoría de ellos se encuentran ligados a la fertilidad de la cordillera de la Sierra Madre Occidental (SAGARPA, 2000).

Técnicas de agricultura

Existen diversas técnicas de agricultura que se emplean en la actualidad tales como son el monocultivo y el policultivo, también existen lo que son por riego aprovechando los mantos acuíferos y los que son por aprovechamiento de las aguas de lluvia.

La hidroponía es parte de los sistemas de producción llamados cultivos sin suelo. En estos sistemas el medio de crecimiento y/o soporte de la planta está constituido por sustancias de diverso origen, como pueden ser orgánicas o inorgánicas, inertes o no inertes. Incluye también desde sustancias como perlita, vermiculita o lana de roca, materiales que son consideradas propiamente inertes y donde la nutrición de la planta es estrictamente externa, mezclas que incluyen turbas o materiales orgánicos como corteza de árboles picada, cáscara de arroz etc. que interfieren en la nutrición mineral de las plantas. En la Figura 1 se clasifican los tipos de sustratos para hidroponía (Gilsanz, 2007).

El empleo de las técnicas de hidroponía representa un incremento en la producción de hasta un 15- 20%, frente a un mismo cultivo pero realizado en suelo, esto debido a que las plantas obtienen de esta manera las condiciones de nutrición ideales (Sanz et. al., 2003)

Sistemas hidropónicos

Hay cuatro diferentes tipos de sistemas hidropónicos entre los principales se encuentran el sistema flotante o raíz flotante, NFT (Nutrient Flow Technic), DFT (Deep Flow Technic) y el sistema estático: 1) Sistema Flotante: consta de un recipiente en donde se coloca la solución nutritiva y sobre el cual flota una plancha de espuma que soporta las plantas. Este sistema funciona mejor para plantas comestibles como la lechuga, espinaca y algunas plantas aromáticas (Figura 2a) (Medina, 2011). 2) Sistema NFT: (Nutrient Flow Technic) éste sistema se basa en el flujo constante de una pequeña cantidad de solución. En general este sistema se clasifica dentro de los sistemas de elevado costo, ya que requiere del suministro de un volumen de agua constante, y para ello se gasta energía en el proceso de bombeo.

El sistema consta de líneas de distribución, un tanque de almacenamiento de la solución, tanques de formulación y una bomba que contemple las necesidades del sistema (Figura 2b) (Gilsanz, 2007). 3) El Sistema DFT (Deep Flow Technic) se clasifica como un híbrido entre el sistema NFT y el sistema flotante ya que utiliza la distribución de solución nutritiva al igual que el NFT por medio de una bomba y dispone de una plancha sobre la superficie de la solución nutritiva como el sistema flotante. Este sistema funciona mejor para cultivos de hoja (Figura 2c) (Medina, 2011). 4) Sistema Estático: Funciona según el consumo específico de solución nutritiva de la planta, distribuyendo una sola carga de solución al comienzo del ciclo de crecimiento. La circulación del sistema se basa en el ancho del contenedor y de la cámara de aire que va quedando al consumirse la solución nutritiva (Figura 2d) (Gilsanz, 2007).

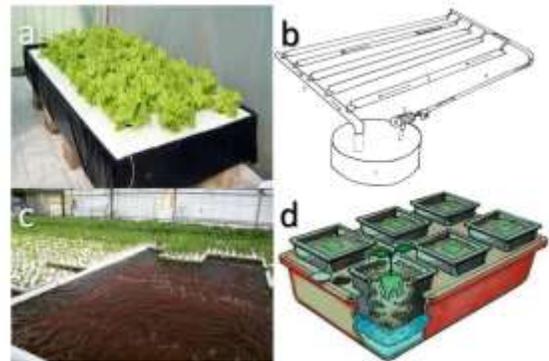


Figura 2 Tipos de sistemas hidropónicos. a) Flotante, b) NFT, c) DFT y d) Estático.

Agricultura en Guanajuato

Guanajuato es uno de los estados agrícolas más importantes del país, y uno de los primeros por la variedad de sus cultivos con casi 70 especies. Las condiciones para el desarrollo agrícola del estado son favorables por las características del suelo y clima con que cuenta, así como por la infraestructura y servicios para la producción y comercialización.

En el caso de cultivos como la alfalfa, brócoli, cebolla, zanahoria, trigo, sorgo y cebada, Guanajuato es de los primeros productores en el ámbito nacional. En el estado se siembra en dos ciclos: Otoño-Invierno con siembras entre los meses de noviembre y febrero. En este ciclo se establecen el trigo, la cebada y la mayor parte de las hortalizas. En promedio se destinan 170 mil hectáreas para este ciclo. En el ciclo Primavera-Verano las siembras se realizan entre los meses de marzo y julio, la mayor superficie la ocupan el maíz y el sorgo. En promedio se siembran 550 mil hectáreas de temporal y 260 mil de riego (Secretaría De Gobierno Del Estado De Guanajuato, 2009).

Metodología de Investigación

Recolección de semillas

La colecta de semillas se realizó en diferentes viveros de la ciudad de Irapuato, estas se colocaron en un recipiente con sílica gel en completa obscuridad para su mejor conservación.

Ensayos de germinación

Para garantizar la germinación y obtención de plantas se realizaron diferentes ensayos de germinación como metodologías alternas a la metodología principal que fue la germinación en soportes para hidroponía los cuales se describen a continuación:

Germinación en medio de cultivo Para la germinación en medio de cultivo se realizó la colocación de semillas sobre la superficie del medio de cultivo estéril para germinación (medio MSO), el cual cubría una quinta parte de la altura del frasco de vidrio.

Germinación en semilleros

Se realizó germinación en semilleros para poder asegurar la obtención de las plantas viables necesarias para el trasplante posterior a los soportes. Esta etapa de germinación duró aproximadamente de 2 a 3 semanas y solo se realizó como metodología alterna, no como la principal.

Germinación directa en soportes

La germinación directa en los soportes se realizó colocando de dos a tres semillas en cada una de las 12 perforaciones que contenían los soportes (botellas de PET recicladas). Al igual que la germinación en semilleros, este proceso duró de 2 a 3 semanas. La germinación se realizó sobre los tres diferentes sustratos predefinidos.

Montaje del sistema NFT y preparación de soluciones nutritivas

Se prepararon tres diferentes soluciones nutritivas: Solución 1 (Estándar), Solución 2 (Estándar reducida) y Solución 3 (Económica) con las siguientes concentraciones de nutrientes (Tabla 1).

COMPUESTO	Solución 1 g/litro	mg/L	Solución 2 g/litro	mg/L	Solución 3 g/litro	mg/L
NH ₄ NO ₃	21.25	1050	21.24	1050		
KNO ₃	55.1	1500	25.27	1350		
CaCl ₂ ·2H ₂ O	0.26	440	0.052	300		
MgSO ₄ ·7H ₂ O	7.03	370	4.201	250	11.4	400
H ₂ PO ₄	3.23	100	3.201	100		
H ₂ BO ₃	0.1178	6.2	0.0524	4.34		
MnSO ₄ ·H ₂ O	0.3182	10.3	0.2234	11.76	0.005	0.0
ZnSO ₄ ·7H ₂ O	0.1834	20.8	0.1432	16.02	0.0076	0.4
Ni	0.058	0.05	0.011	0.051		
Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O	0.0047	0.25	0.0003	0.175		
CaSO ₄ ·2H ₂ O	0.0004	0.020	0.0003	0.0175	0.0076	0.4
CaCl ₂ ·2H ₂ O	0.0004	0.020	0.0003	0.0175		
Hierro-Fe ₂ SO ₄	0.1607	37.3	0.0509	16.11		
FeSO ₄ ·7H ₂ O	0.3252	37.3	0.3252	37.30	0.325	16
CaH ₂					34.51	1320
NH ₄ SO ₄					4.90	240
H ₂ O					11.64	360
H ₂ PO ₄ 85%					4.16g	320
Boras					0.1300	320
					0.078	4.0

Tabla 2 Composición de soluciones nutritivas hidropónicas para el sistema NFT.

Instalación de la estructura de soporte

Se colocó una estructura de aproximadamente 3 m de largo por 2 m de ancho y con una altura de 1.5 m, de tubular cuadrado calibre 18, sobre la cual se colocaron 45 botellas de PET (polietileno tereftalato) de 3.5 L. como soportes para el sustrato. Se alinearon tres grupos con cinco rosetas cada uno (15 botellas en total) y cada grupo fue regado con una solución hidropónica nutritiva diferente. Una roseta estaba formada por tres botellas, cada una de las cuales se relleno con un tipo de sustrato. En cada roseta se sembró una especie aromática (Albahaca, Epazote, Eneldo, Orégano, Tomillo). Cada botella presentaba 12 perforaciones intercaladas alrededor de todo el cuerpo lateral. En cada perforación se sembraron de dos a tres semillas por especie (Figuras 3a y 3c).

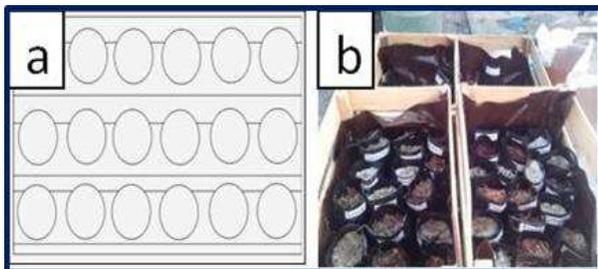


Figura 3 Diseño y presentación de una roseta (a) la cual consta de tres sustrato distintos que fueron regados con una misma solución hidropónica (b). Se aprecia el montaje del sistema NFT completo (c) para hidroponia de plantas aromáticas de la región de Guanajuato.

Sistema de riego

El sistema de riego empleado para el sistema hidropónico NFT se desarrolló de manera semi-automatizada por medio de un PLC programado con un régimen de riego de 8 h entre riego y riego con una duración de 8 minutos cada uno. El tiempo de recuperación de la solución fue de 15 minutos. Se colocaron seis tanques de 35 L., tres de ellos de almacenamiento (ubicados por encima de los de recuperación) y tres de recuperación de solución hidropónica (ubicados debajo de los de almacenamiento). Seis bombas sumergibles de 350 L/H, frecuencia 50/60 Hz, 5.5 watts, y 110/120 V, fueron colocadas en el fondo de los tanques de recuperación y almacenamiento. Una vez que se depositaba por gravedad la solución hidropónica en el tanque de recuperación, esta se dejaba reposar lo suficiente para que los sólidos que llegaban a filtrarse no obstaculizaran el trabajo de la bomba hacia el tanque de almacenamiento. El riego fue por goteo con ayuda de válvulas dosificadoras ajustables (Figura 3b).

Montaje del sistema estático

La segunda alternativa elegida de sistemas hidropónicos fue el sistema estático. Se emplearon cajas de madera de 45 cm de largo por 30 cm de profundidad con un recubrimiento plástico impermeable. Las cajas contenían bolsas para invernadero cada una con los sustratos necesarios para el desarrollo de las plantas. A diferencia del método NFT, se emplearon mezclas entre sustratos las cuales fueron; fibra de coco/vermiculita y perlita/vermiculita. En este tipo de sistema, el riego con la solución nutritiva 3 (variable fija) fue a saturación de campo de manera manual (Figura 4). Se colocaron de dos a tres semillas por bolsa. Posterior a la germinación, se retiraron las plántulas menos vigorosas.

Control de variables independientes y medición de variables dependientes

Se realizó un monitoreo del desarrollo de las plantas en sus diferentes etapas. Las variables independientes (de control) fueron: 1) tipo de solución (1, 2 y 3); 2) tipo de sustrato (Fibra de coco, Vermiculita y Perlita); tipo de especie aromática (Albahaca, Epazote, Eneldo, Orégano y Tomillo). Las variables de respuesta medidas durante el estudio fueron: 1) porcentaje de germinación; 2) altura de las plantas (cm); 3) follaje (# hojas/planta) y 4) longitud de la raíz principal (cm).

Análisis estadístico de los datos

Se llevó a cabo mediante el software Minitab versión 17. Se realizaron Análisis de Varianzas (ANOVA's) para el sistema NFT y estático y Análisis de superficie de respuesta para los tratamientos del sistema NFT únicamente. Cada uno de los tratamientos presentaban un tamaño de muestra igual a quince ($n = 15$). Se empleó un nivel de significancia del 10% ($\alpha = 0.1$) para todas las pruebas.

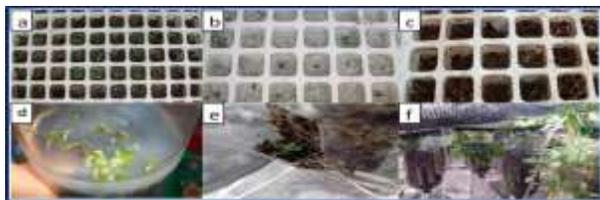


Figura 4 Diseño (a) y montaje (b) del sistema estático para hidroponia de plantas aromáticas de la región de Guanajuato.



Figura 5 Ensayos de germinación sobre semilleros con vermiculita (a), perlita (b) y fibra de coco (c), sobre medio MSO en cultivo *in vitro* (d) y directamente sobre los soportes de plástico (botellas de PET) (e-f), se puede apreciar (e) una plántula y (f) plantas adultas.

Resultados

Ensayos de germinación

En cuanto a los diferentes ensayos que se realizaron para lograr la germinación se obtuvieron resultados satisfactorios tanto en semilleros y en los soportes (botellas). Cabe señalar que los porcentajes de germinación *in vitro* para cada una de las especies, sirvieron como valores de referencia (100% de germinación) respecto de los valores obtenidos en los soportes hidropónicos. Las plántulas que se obtuvieron en los semilleros se emplearon como plantas de repuesto para aquellas plántulas que morían en las botellas, sin embargo éstas sufrían ligero daño mecánico al ser trasplantadas desde los semilleros. Las plántulas de cultivo *in vitro* no se usaron como repuesto al no ser necesario, además éstas tenían que ser aclimatadas previamente antes de poder ser trasplantadas sobre los soportes. Los porcentajes de germinación y la medición de otras variables de respuesta sobre los soportes NFT se muestran en la Tabla 2. La Figura 5 muestra imágenes representativas de la germinación. Los valores de estas mismas variables para el sistema estático se muestran en la Tabla 3. Es importante hacer notar que no se muestran los porcentajes de germinación sobre semilleros, únicamente los del sistema NFT y estático (Tablas 2 y 3, respectivamente). Se determinó que el tiempo promedio de germinación fue de 18 días para las especies estudiadas.

Medición de otras variables de respuesta

Durante todo el periodo de estudio se realizaron anotaciones de los cambios observados en el desarrollo de las plantas. A los tres meses postgerminación para todas las especies, se procedió a realizar las mediciones de las diferentes variables de respuesta; la altura de la planta, tamaño de raíz principal y follaje (número de hojas) bajo dos condiciones de régimen hidropónico, sistema NFT y estático y se identificaron diferencias estadísticamente significativas entre un sistema y otro (Tablas 2 y 3, respectivamente). Al parecer el sistema NFT es más dinámico en cuanto al uso de nutrientes ya que mostró más diferencias significativas respecto al estático en casi todas las variables de respuesta medidas, mientras que el estático sólo mostró diferencias para el porcentaje de germinación.

Variable de respuesta	Variable	Valor de P (DOE)	$\alpha=0.1$	Valor de P (contorno)	$\alpha=0.1$
Porcentaje de germinación	Sustrato	0.378	P>0.1	0.303	P>0.1
	Especie	0.065	P<0.1	0.042	P<0.1
Altura de la planta	Sustrato	0.724	P>0.1	0.749	P>0.1
	Especie	0.102	P>0.1	0.138	P>0.1
Tamaño de la raíz principal	Sustrato	0.570	P>0.1	0.604	P>0.1
	Especie	0.319	P>0.1	0.364	P>0.1
Follaje (numero de hojas)	Sustrato	0.996	P>0.1	0.995	P>0.1
	Especie	0.665	P>0.1	0.637	P>0.1

Tabla 3 ANOVA's por Diseño de Experimentos (DOE) y por Superficie de Respuesta (contorno) para cuatro variables dependientes del cultivo hidropónico por NFT para cinco especies aromáticas de la región de Guanajuato. Nivel de significancia fue de 10%

Análisis de superficie de respuesta

La figura 6 muestra el gráfico de superficie de respuesta para el sistema NFT, qué como se discutió anteriormente fue el que aportó más diferencias entre las variables medidas.

Los porcentajes de germinación más altos (>80%) se presentaron en Albahaca y Epazote, empleando las solución hidropónica 3 y el sustrato vermiculita. Los porcentajes de germinación entre 60-80% se presentaron cuando se usó la solución hidropónica 1 para las mismas dos especies. En cambio, los sustratos perlita y fibra de coco mostraron porcentajes de germinación menores al 60% para todas las especies cuando se usó la solución hidropónica 3 (Figura 6, panel superior).

Variable de respuesta	Variable	Valor de P (DOE)	$\alpha=0.1$	Valor de P (contorno)	$\alpha=0.1$
Porcentaje de germinación	Sustrato	0.090	P<0.1	0.124	P>0.1
	Especie	0.000	P<0.1	0.001	P<0.1
	Solución	0.000	P<0.1	0.000	P<0.1
Altura de la planta	Sustrato	0.075	P<0.1	0.172	P>0.1
	Especie	0.003	P<0.1	0.131	P>0.1
	Solución	0.038	P<0.1	0.427	P>0.1
Tamaño de la raíz principal	Sustrato	0.078	P<0.1	0.307	P>0.1
	Especie	0.001	P<0.1	0.007	P<0.1
	Solución	0.588	P>0.1	0.979	P>0.1
Follaje (numero de hojas)	Sustrato	0.139	P>0.1	0.237	P>0.1
	Especie	0.012	P<0.1	0.592	P>0.1
	Solución	0.172	P>0.1	0.653	P>0.1

Tabla 3 ANOVA's por Diseño de Experimentos (DOE) y por Superficie de Respuesta (contorno) para cuatro variables dependientes del cultivo hidropónico por sistema estático para cinco especies aromáticas de la región de Guanajuato. Nivel de significancia fue de 10%.

La altura de la planta fue mayor con el sustrato vermiculita en casi todas las especies (15-19 cm), siendo las soluciones hidropónicas 2 y 3 las que mejor respondieron. Por otro lado, la fibra de coco mostró una altura similar a la vermiculita pero sólo para las especies Orégano y Tomillo cuando fueron regadas con la solución hidropónica 2. La perlita en cambio, presentó la altura más pequeña (<7 cm) en Tomillo indistintamente de la solución hidropónica usada (Figura 6, panel medio-superior)

A diferencia de la buena promoción de la germinación y un rendimiento de plantas más altas, la vermiculita no fue capaz de proporcionar plantas con raíces principales lo suficientemente largas, sino más bien intermedias en casi todas las especies (12-16 cm) empleando la solución hidropónica 2 y un poco más cortas (8-12 cm) empleando las soluciones hidropónicas 1 y 3. No así la fibra de coco, rindió raíces más cortas aún para Orégano y Tomillo pero más largas para Albahaca, Epazote y Eneldo. Este comportamiento sugiere que la vermiculita y perlita retienen menos humedad y es por eso que las raíces se alargan tanto en búsqueda de agua, mientras que la fibra de coco, al retener más agua en su estructura no es necesario un crecimiento radicular excesivo (Figura 6, panel medio-inferior) Por último, del análisis de follaje no se observaron diferencias significativas entre los tipos de sustrato y tipo de solución hidropónica empleados para las cinco especies, siendo la perlita la que destacó en menor follaje del Tomillo (Figura 6, panel inferior).

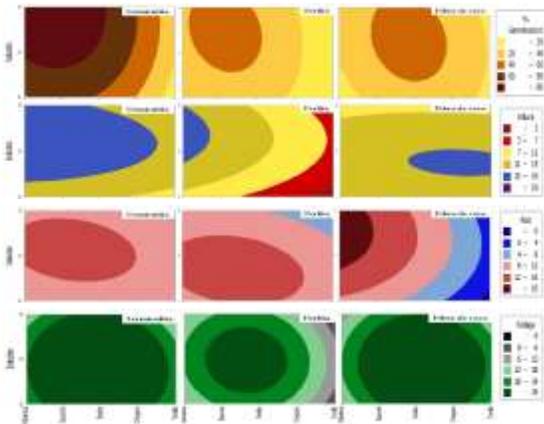


Figura 6 Gráfico de contornos para los porcentajes de germinación (panel superior), la altura de la planta (cm) (panel medio-superior), longitud de raíz principal (cm) (panel medio-inferior) y follaje (panel inferior) de cinco especies de plantas aromáticas de la región de Guanajuato en condiciones de crecimiento hidropónico (NFT), bajo tres sustratos (vermiculita, perlita y fibra de coco) y tres soluciones nutritivas distintas (1, 2 y 3) administradas en el riego. Nivel de significancia fue de 10%.

Conclusiones

Método de germinación. El método de germinación más efectivo fue en condiciones *in vitro* y se tomó como el 100% de germinación respecto de los otros dos métodos (semilleros y soportes PET). El método de germinación en semillero se utilizó como uná técnica de germinación para garantizar el reemplazo de plantas hacia los soportes cuando en estos ocurrieran pérdidas por insectos y/o aves, ya que la estructura con la botellas PET se encontraba al aire libre.

Sistema NFT. La solución 3 (económica) por su bajo contenido de sales proporcionó mejor desarrollo de las plantas sin comprometer los nutrientes necesarios para el buen desarrollo vegetal, además es la solución hidropónica menos costosa. El sustrato vermiculita resultó ser mejor en cuanto a porcentaje de germinación pues mostró una mayor producción de plantas para todas las especies y todas las soluciones de los diferentes tratamientos. El eneldo fue la especie menos exigente en cuanto a sus necesidades de cuidados y nutrientes, ya que esta planta resultó adaptarse mejor en todos los tratamientos, logrando los más altos niveles de germinación en vermiculita independientemente del tipo de solución hidropónica empleada.

Sistema estático. La solución hidropónica se mantuvo fija durante el riego (solución 3) ya que resultó ser la mejor en el sistema NFT. En el caso de las mezclas de sustratos, la mezcla vermiculita/fibra de coco mostró un porcentaje de germinación más alto (aunque el valor de $P > 0.1$) en comparación con la mezcla de vermiculita/perlita, por lo que se puede determinar que efectivamente la fibra de coco es un sustrato con alto índice de retención de agua logrando hacer que las plantas aromáticas de variadas especies puedan germinar e incluso llegar a plantas adultas.

Aunque bien, el eneldo fue la especie que mejor resultado dió en la germinación para la mezcla vermiculita/fibra de coco, los valores de P obtenidos (<0.1) demuestran que la variable que más influye es el tipo de especie, debido a las características tan propias y variadas que posee cada una de ellas en cuanto a requerimientos de agua, condiciones de luz, entre otros factores.

Agradecimientos

Al Instituto Tecnológico Superior de Irapuato por su apoyo para la realización de este proyecto. Al Ing. Electrónico Manuel, por su participación en la automatización del sistema NFT. Ninguno de los autores tuvo conflictos de intereses en el desarrollo de este trabajo.

Referencias

Espinosa, R. M. (2005). Proyecto de inversión para la producción de forraje verde hidropónico en Santa María Chanchopan Nochixtlan, Oaxaca. Universidad Tecnológica de la Mixteca, 128.

Gilsanz, J. C. (2007). Hidroponía. Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, pp: 1-32.

Guzmán Díaz G. A. (2004). Hidroponía en Casa: una actividad familiar. Ministerio de Agricultura y Ganadería, pp: 1-25.

CICEANA, A. (s/f). Saber más agricultura. Centro de Información y Comunicación Ambiental del Norte de América, 7.

Gómez Castellanos J. R. (2008). Epazote (*Chenopodium ambrosioides*): Revisión de sus características morfológicas, actividad farmacológica, y biogénesis de su principal principio activo, ascaridol. Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas, 7 (1), pp: 3-9.

Medina Ramos. X. A, Morales Pérez F. N. y Vega Marzan E. (2011). GrupoA:Hidroponía. Ecodatahousing 1.0.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (1998). Agricultura Limpia, Agricultura Orgánica o Ecológica. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 16.

SAGARPA. (2000). www. SAGARPA. gob. mx. Obtenido de <http://www.sagarpa.gob.mx/Paginas/default.aspx>

Secretaría de Gobierno del Estado de Guanajuato. (2009). Recuperado el 6 de abril de 2013, de <http://www.guanajuato.gob.mx/>

Muñoz Jeréz Z del P. (2007). Comparación del sustrato de fibra de coco con los sustratos de corteza de pino compostada, perlita y vermiculita en la producción de plantas de *Eucalyptus globulus* (Labill). Tesis de la Universidad Austral de Chile, pp: 1-58.

Sanz de Galdeano J., Uribarri A., Sádaba S., Aguado G. y del Castillo J. (2003). Aspectos a Considerar en una instalación de cultivo hidropónico. Navarra Agraria, pp: 9-17.