

Sustrato y fertirriego para la aclimatación de vitroplantas de *Fragaria x ananassa*

Substrate and fertirrigation for acclimatization of *Fragaria x ananassa* vitroplants

Recepción del artículo: 26/03/2024 • Aceptación para publicación: 17/04/2024 • Publicación: 01/05/2024

● <https://doi.org/10.32870/e-cucba.vi22.347>

Yutzil Duran Duran

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-0168-7607>

José Raymundo Enriquez Del Valle*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7700-3790>

Vicente Arturo Velasco Velasco

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3575-0181>

Maura Elisama Miguel Luna

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3984-6957>

Fátima Manuel Zarate

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-8192-1015>

Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca (ITVO). División de Estudios de Posgrado e Investigación. Ex-Hacienda de Nazareno, Xoxocotlán. Oaxaca.

*Autor de correspondencia:

jenriquezdelvalle@yahoo.com

Resumen

La técnica de cultivo *in vitro* de tejidos vegetales se basa en el aislamiento de órganos, tejidos o células vegetales que, al establecerlas en condiciones asépticas, y medio de cultivo de composición definida e incubación, se inducen respuestas fisiológicas, división celular y morfogénesis. Una aplicación de la técnica de cultivo de tejidos es la micropropagación que consta de etapas: 0) selección de la planta madre; I) desinfección superficial del material vegetal para establecerlo en medio de cultivo; II) multiplicación de propágulos; III) enraizado de brotes, crecimiento de plántulas y preparación para trasplante a suelo; IV) transferencia de plantas micropropagadas a sustrato para su aclimatación en invernadero. El objetivo fue evaluar la aclimatación de plantas de fresa *Fragaria x ananassa* Duch. micropropagadas que se establecieron en sustratos que contenían perlita y turba solas o combinadas en diferentes proporciones, y que se fertirrigaron con diluciones diferentes de solución nutritiva. Transcurridos 34 días de aclimatación, de un total de 210 plantas evaluadas en las diversas condiciones de sustrato y fertirriego, todas se aclimataron, y las plantas que crecieron más fueron las que se establecieron en sustratos con 50 a 100% de turba que se fertirrigaron con cualesquiera de las diluciones de solución nutritiva.

Palabras clave: Micropropagación de fresa, preaclimatación, solución nutritiva, sustratos.

Abstract

The *in vitro* plant tissue culture technique is based on the isolation of organs, tissues or cells, which, by establishing them in aseptic conditions, and culture medium of defined composition and incubation, induce physiological responses, cell division and morphogenesis. An application of the tissue culture technique is micropropagation that consists of stages: 0) selection of the stock plant; I) surface disinfection of plant material to establish it in culture medium; II) multiplication of propagules; III) rooting of shoots, growth of seedlings and preparation for transplanting to substrate; IV) transfer of micropropagated plants to substrate for acclimatization in greenhouse. The objective was to evaluate the acclimatization of micropropagated strawberry *Fragaria x ananassa* Duch. plants that were established in substrates containing perlite and peat alone or combined in different proportions, and that were fertigated with different dilutions of nutrient solution. After 34 days of acclimatization from a total of 210 plants evaluated in the various substrate and fertigation conditions, all were acclimatized, and the plants that reached the biggest size were those established in substrates with 50 to 100% peat and were fertigated with any dilutions of nutrient solution.

Keywords: Nutrient solution, preacclimatization, strawberry micropropagation, substrates.

Introducción

El cultivo de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) tiene sus orígenes en los continentes de Europa, Asia y América. En el año 2016, en México se cultivaron 11,092 hectáreas de fresa, con una producción total de 468,250 toneladas, y se exportaron 253,700 toneladas, ocupando el segundo lugar internacional como exportador (SAGARPA 2017). En nuestro país el cultivo inició a finales de la década de los 1940's en el estado de Guanajuato, donde los productores propagan fresa por vía asexual mediante estolones. En México la producción promedio anual de fresa durante el periodo de 2016-2020 fue de 639 miles de toneladas, colocando al país en el tercer lugar a nivel mundial en producción de fresas (SADER 2022) y las entidades de Michoacán, Baja California y Guanajuato sobresalen por ser los principales productores de fresas.

En condiciones de vivero y campo, la fresa se reproduce de manera asexual, mediante estolones, pero debido a que en campo están expuestas al ataque por diversos organismos, generalmente insectos, vectores de enfermedades, o bien debido a cuidados fitosanitarios deficientes en los procedimientos de propagación, sanidad de las plantas madre, manejo inadecuado del cultivo, ocurre la diseminación de enfermedades. Los cultivos de fresa son afectados por plagas y enfermedades tales como: *Botrytis cinerea*, *Fusarium* spp., *Penicilium*, así como diversos tipos de virus (Clavijo *et al.*, 2010) los que afectan el rendimiento de los cultivos.

Las técnicas biotecnológicas como el cultivo *in vitro* de tejidos vegetales se usan para la producción de plantas madre, que se establecen en vivero con cuidados fitosanitarios, para continuar con la propagación mediante estolones en que se obtengan plantas de calidad fisiológica y sanitaria, que complementando a las prácticas de cultivo en campo repercute en los rendimientos y la calidad de frutos (Alanagh *et al.*, 2014; Valencia-Juárez *et al.*, 2019). El cultivo *in vitro* de fresa se ha aplicado desde los años 1980's y se han desarrollado procedimientos eficientes para la producción de plantas madre de calidad fitosanitaria (Gonzales Arteaga *et al.*, 2023). Aunque a partir de una planta seleccionada, es posible usar diversos tejidos que tienen alta capacidad de morfogénesis y proliferación, es conveniente iniciar con el cultivo de ápices meristemáticos, ya que al usar estas estructuras y cultivarlas asépticamente en un medio de cultivo con composición definida e incubarlas en un ambiente controlado de iluminación y temperatura, es posible obtener plantas libres de virus (Romero-Rivas *et al.*, 2023).

En el caso de agaves (Miguel-Luna *et al.*, 2013) y en Musa (Mekonen *et al.*, 2021) mencionan que debido a las condiciones de incubación en laboratorio, intensidades lumínicas bajas, de 30 a 60 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, humedad relativa

constantemente alta (80 a 90%), en un ambiente cerrado carente de ventilación, etc., las plantas micropropagadas desarrollan características morfológicas (hojas delgadas que carecen de ceras en la cutícula) y fisiológicas (estomas poco funcionales en su apertura y cierre: actividad fotosintética ineficiente y raíces poco funcionales) y cuando se les establece en ambientes *ex vitro*, son propensas a deshidratación excesiva. Para lograr que mayor cantidad de plantas propagadas *in vitro* sobrevivan e inicien crecimiento vigoroso *ex vitro*, se requiere de una etapa de preaclimatación, en la cual los cultivos *in vitro* se llevan a un invernadero en donde son expuestas durante dos semanas a radiación solar disminuida mediante malla sombra, variaciones de temperatura en un rango más amplio y otras condiciones diferentes a las que recibían cuando se incubaron en el laboratorio.

Para la etapa de aclimatación de plantas micropropagadas, éstas se transfieren del medio de cultivo a recipientes con sustrato y condiciones de invernadero (Valencia-Juárez *et al.*, 2019). Es posible usar diversos materiales como sustrato, pero deben cumplir con características adecuadas como: la sanidad, tamaño de partículas, retención de humedad, pero con suficiente porosidad para drenar exceso de agua y permitir aireación de las raíces, características químicas como: el pH, la capacidad de intercambio catiónico, la relación carbono/nitrógeno y el contenido de nutrientes. El contenido de nutrientes en el sustrato determina los requerimientos de aplicar fertilización complementaria, ya que sustratos constituidos totalmente por materiales inertes, se tiene total necesidad de aplicar fertilización frecuente, mientras que sustratos que contienen algún tipo de abono, los requerimientos de aplicar fertilizantes son menores (Cruz-Crespo *et al.*, 2012). Esta etapa requiere un ambiente controlado para que las plantas micropropagadas se adapten gradualmente al ambiente *ex vitro*. Enríquez-del Valle (2008) comenta que es posible lograr la aclimatación de la mayoría de plantas micropropagadas al establecerlas en condiciones controladas de sustrato, humedad relativa, intensidad de luz y abastecimiento nutrimental. Por lo que el objetivo de la presente investigación fue: evaluar la aclimatación de plantas de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) obtenidas *in vitro* que se establecieron en diversas condiciones de sustratos y abastecimiento nutrimental mediante fertirriego.

Materiales y Métodos

El proyecto se realizó en el laboratorio de cultivo de tejidos vegetales del Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca (ITVO) situado en Nazareno, Municipio de Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, en las coordenadas geográficas de 17° 04' de latitud norte, 96° 46' de longitud oeste y 1550 msnm (INEGI, 2005). Medio de cultivo se preparó con sales inorgánicas de Murashige y Skoog (1962), 25 g l⁻¹ sacarosa, 0.1 g l⁻¹ myo

inositol, 1 mg l⁻¹ tiamina-HCl, 1 mg l⁻¹ N6-Bencilaminopurina. El pH del medio se ajustó a 5.8 antes de agregar 5.7 g l⁻¹ de agar, que se disolvió con calor y agitación en una parrilla. Se distribuyeron 20 ml de medio de cultivo a cada frasco de vidrio de 145 cm³ y se les colocó una tapa de polipropileno, para entonces esterilizarlos en autoclave durante 17 minutos a 1.2 kg cm² de presión y 120°C. Cultivos *in vitro* de brotes de fresas variedad Albión, se obtuvieron a partir de establecer ápices meristemáticos en el medio de cultivo. Después de establecer los ápices meristemáticos, se colocó la tapa de polipropileno y se selló con polietileno adherente, para colocarlos en el área de incubación en condiciones de iluminación LED a 35 μmol m²s⁻¹ de intensidad, fotoperiodo 16/8 horas luz/oscuridad, la temperatura en el rango de 15 a 29 °C. En el transcurso de dos meses de incubación, a partir de cada ápice meristemático se habían formado racimos de 4 a 7 brotes que contrastaban en tamaño. Y para incrementar la cantidad de propágulos hasta los necesarios para el experimento, cada 50 días los racimos de brotes se extraían del cultivo *in vitro*, en condiciones asépticas proporcionadas por una cámara de aire filtrado de flujo laminar horizontal, el uso de pinzas, bisturí y cajas Petri de vidrio 10x100 mm, esterilizados, se dividían en racimos más pequeños, con 2 a 3 brotes y se establecían en condiciones similares de medio de cultivo nuevo e incubación. Transcurridos cuatro ciclos de multiplicación de propágulos y se tuvo suficiente material vegetal para el experimento, en condiciones asépticas se extrajeron los racimos de brotes, se seleccionaron y separaron aquellos brotes que tenían de 3-5 cm de altura, para establecer cuatro de estos brotes en cada frasco de 160 cm³ que contenía 20 ml de medio de cultivo para inducir la formación de raíces. Se utilizó el mismo medio basal que para la proliferación de brotes, en ausencia de BAP y se suplementó con 0.5 mg l⁻¹ de ácido indol-3-acético. Los primeros brotes con raíces se observaron a partir de los 8 días, y a los 17 días ya todos los brotes tenían raíces (Figura 1).

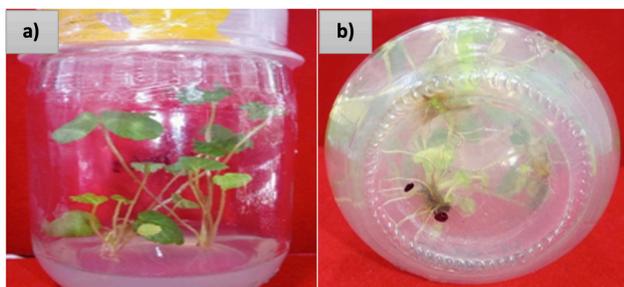


Figura 1. a) plantas de fresa que se obtuvieron mediante el enraizado de brotes. b) vista inferior de las raíces de una planta de fresa.

Después de 26 días de incubación, se seleccionaron 60 frascos de cultivo *in vitro*, cada uno con cuatro plantas (brotes con raíces), y se transfirieron al invernadero con radiación solar disminuida al 40% mediante malla sombra, para la etapa de preaclimatación. Los frascos que se colocaron en una mesa de concreto, permanecieron tapados y sellados durante los días 27 a 43 de incubación (Figura 2). Transcurridos estos días a los frascos se le quitó el sello de polietileno adherente y al día siguiente se les quitó la malla sombra, en el día 50 las plantas se extrajeron del cultivo *in vitro* y se establecieron en contenedores con alguno de los cinco sustratos evaluados.



Figura 2. Cultivos *in vitro* de fresa en etapa de preaclimatación.

Se prepararon cinco sustratos que consistieron de turba y perlita solas o mezcladas en proporciones diferentes (0-100, 25-75, 50-50, 75-25 y 100-0 en base a volumen). Y a tres muestras de cada sustrato se evaluaron sus características: pH, densidad, porosidad total y porosidad de aireación. Los sustratos se vaciaron en macetas de plástico de sección transversal cuadradas, 6.3 cm de lado en la parte superior y 4.5 de lado en la base, 5.6 de altura, 163 cm³. Se estableció una planta en cada maceta y se tuvieron 42 macetas con cada sustrato, las que se separaron en tres grupos de 14 plantas para aplicarles fertirriego con alguna dilución (25%, 50% y 75%) de la solución universal de Steiner (1984) con pH 5.8. El fertirriego se aplicó cada tercer día. El conjunto de plantas estuvo durante los primeros 15 días de aclimatación bajo una cubierta de polietileno transparente, cerrada, para mantener la humedad relativa alta; y bajo la cubierta de malla 40% sombra. Cada día, durante una hora se retiraba la cubierta de polietileno para exponer las plantas a ventilación y menor humedad relativa; cumplido este tiempo se colocaba nuevamente la cubierta. Transcurridos 20 días se retiró la cubierta de polietileno, pero se continuó con la malla sombra. El experimento se estableció de acuerdo a un diseño completamente al azar con arreglo de tratamientos

factorial 5 x 3, cinco niveles del factor sustratos y tres niveles del factor fertirriego, por lo que se tuvieron 15 tratamientos. La unidad experimental fue una planta en cada maceta y se obtuvieron 14 repeticiones por tratamiento. Se tomaron datos a las 210 plantas al inicio del experimento, posteriormente a los 34 días de aclimatación se tomaron datos de: porcentaje de plantas que sobrevivieron, altura de planta (cm), número de hojas, volumen de raíz (cm³), área foliar (cm²), peso seco de parte de área (g) y de raíz (g). Los datos se sometieron a análisis de varianza y la prueba de Tukey para la comparación de medias (P ≤ 0.05).

Resultados

Los datos muestran que el 100% de las plantas sobrevivieron en la etapa de aclimatación, esto puede atribuirse a que durante los primeros 15 días estuvieron en un ambiente de humedad relativa alta y radiación solar disminuida por la malla sombra. Los sustratos en que se establecieron, fueron de densidad aparente baja (0.224 a 0.365 g/cm³), con la porosidad total de 50.25 a 59.15%, pero con 17.17 a 36.77% de porosidad de aireación (Cuadro 1), que permitió retención de humedad, pero con suficiente drenaje y aireación de raíces: además, las plantas recibieron abastecimiento nutrimental mediante el riego. Los análisis de varianza (Cuadro 2) de los datos tomados a los 34 días de la aclimatación de las plantas micropropagadas de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.), muestran que los niveles del factor sustrato tuvieron efectos (P ≤ 0.05) en volumen de raíz (VR) y volumen foliar (VF) y efectos altamente significativos (P ≤ 0.01) en altura de las plantas (AP), altura del tallo de la planta (AT), área foliar (AF), peso seco aéreo (PSA) y peso seco de raíz (PSR) mientras que en el número de hojas (NH) tuvo un valor no significativo. Los niveles del factor fertilización tuvieron efectos altamente significativos (P ≤ 0.01) en el volumen foliar (VF), área foliar (AF), peso seco de raíz (PSR), peso seco aéreo (PSA) y tuvieron efectos significativos

Cuadro 1. Características de los diferentes sustratos.

Sustratos:	Repeticiones	Densidad	Porosidad	Porosidad	
Turba/ perlita	por sustrato	aparente	total (ml)	aireación	pH
		(g/cm ³)	(%)	(%)	
100/0	3	0.248±0	57.90±11.64	25.73±4.63	4.35±0.50
75/25	3	0.224±0	59.15±0	17.17±0	4.95±0.38
50/50	3	0.236±0.275	58.18±1.95	22.57±1.64	5.06±0
25/75	3	0.289±0	55.75±3.7	21.36±1	5.27±0
0/100	3	0.365±0	50.25±0.44	36.77±1.54	8.41±0

Se presentan los promedios ± desviación estándar.

(p ≤ 0.05) en la altura del tallo (AT), número de hojas (NH), volumen de raíz (VR); mientras que en, la altura de la planta (AP) tuvo un valor no significativo. La interacción de los factores tuvo efectos altamente significativos (P ≤ 0.01) en AT, VR, AF, PSA, PSR.

Cuadro 2. Resumen de ocho análisis de varianza de las características de plantas de fresa micropropagadas y que durante 34 días de aclimatación estuvieron en diversos sustratos y dosis de fertirriego.

FV	GL	Cuadrados medios y significancia			
		AP	AT	NH	VR
Trat	14	5.654 ns	0.191**	5.773 ns	9.2349**
Sust	4	15.829**	0.308**	7.205 ns	7.656*
Fert	2	0.472 ns	0.128*	18.245 *	8.478*
Sust*Fert	8	1.861 ns	0.149**	1.913 ns	10.213**
Error	75	1.78	0.031	3.434	2.4688
Total	89				

FV	GL	Cuadrados medios y significancia			
		VF	AF	PSA	PSR
Trat	14	57.368**	598.932**	0.0075**	0.00052**
Sust	4	76.456*	1190.49**	0.0121**	0.0007**
Fert	2	162.478**	567.233**	0.0113**	0.0008**
Sust*Fert	8	21.547 ns	311.07**	0.0042**	0.0003**
Error	75	12.442	75.307	0.00103	0.00011
Total	89				

FV= fuente de variación; GL= grados de libertad; Trat=tratamiento; Sust=sustrato; Fert= dilución de solución nutritiva para fertirriego; Sust*Fert= interacción; AP= Altura de planta; AT= Altura del tallo; NH= número de hojas; VR= volumen de las raíces; VF= volumen foliar; AF= área foliar; PSA= peso seco aéreo; PSR= peso seco de la raíz. * = valores de F significativos (P ≤ 0.05); ** = valores de F altamente significativos (P ≤ 0.01); ns= valores de F no significativos (P > 0.05).

Cuadro 3. Características promedio de las plantas de fresa al ordenar los datos por niveles de sustrato y fertilización.

Sust	Per/tur	AP (cm)	AT (cm)	NH	VR (cm ³)
1	0/100	8.33±1.45 a	1.46±0.25 a	10.00±1.71 a	4.05±2.12 ab
2	25/75	6.85±1.53 b	1.42±0.25 a	9.62±2.74 a	4.23±9.98 a
3	50/50	8.28±0.92 a	1.40±0.22 a	9.06±1.10 a	3.12±1.02 ab
4	75/50	8.35±1.52 a	1.48±0.16 a	9.67±1.49 a	3.34±0.97 ab
5	100/0	6.41±1.07 b	1.15±0.12 b	8.39±2.06 a	2.67±1.13 b

Sust	Per/tur	VF (cm ³)	AF (cm ²)	PSA (g)	PSR (g)
1	0/100	13.23±3.05 bc	48.55±8.94 a	0.14±0.02 bc	0.02±0.008 b
2	25/75	14.45±4.31 abc	47.41±10.25 a	0.14±0.04 bc	0.03±0.01 ab
3	50/50	16.45±4.52 ab	54.91±12.50 a	0.16±0.04 b	0.04±0.01 a
4	75/50	17.00±4.91 a	51.68±9.86 a	0.19±0.04 a	0.04±0.01 a
5	100/0	12.17±3.39 c	33.67±10.31 b	0.13±0.03 c	0.03±0.008 ab

Fert	AP (cm)	AT (cm)	NH	VR (cm ³)	Fert
25	7.67±1.66 a	1.44±0.23 a	9.60±2.06 ab	3.07±1.40 b	25
50	7.75±1.65 a	1.31±0.18 b	9.97±1.97 a	4.07±2.56 a	50
75	7.50±1.34 a	1.41±0.27 ab	8.47±1.50 b	3.34±1.32 ab	75

Fert	VF (cm ³)	AF (cm ²)	PSA (g)	PSR (g)	Fert
25	12.47±3.78 b	43.93±12.37 b	0.13±0.04 b	0.03±0.01 b	25
50	17.10±4.13 a	52.17±12.98 a	0.17±0.04 a	0.04±0.01 a	50
75	14.40±4.14 b	45.63±11.09 b	0.15±0.04 b	0.04±0.01 a	75

Sust= sustrato; Fert=fertilización; Per= perlita; Tur= turba; AP= Altura de la planta; AT = altura del tallo; NH= Numero de hojas; VR= volumen de raíz; VF= volumen foliar; AF= área foliar; PSA= peso seco aéreo; PSR= peso seco raíz. Se presentan los promedios ± desviación estándar. En cada columna y características, valores con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, 0.05).

En el Cuadro 3, se muestran las características de plantas de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) micropropagadas que durante 34 días de aclimatación en invernadero estuvieron en diversos sustratos que tenían perlita y turba solas o mezcladas en diferentes proporciones, y se fertilizaron con diferentes diluciones de solución nutritiva Steiner.

Cuadro 4. Características de plantas de fresa micropropagadas que durante 34 días de su aclimatación estuvieron en sustratos y dosis de fertilirriego diferentes.

Trat	Sust:	Fert	% Sobrev.	AP	AT	NH
	Perlita/Turba			(cm)	(cm)	
1	0/100	25%	100%	9.1±1.2 a	1.7±0.25 a	10.1±0.7 a
2	0/100	50%	100%	8.4±1.5 ab	1.4±0.1 abcd	11.0±1.0 a
3	0/100	75%	100%	7.4±1.2 ab	1.2±0.1 bcd	8.8±2.3 a
4	25/75	25%	100%	6.6±1.2 ab	1.3±0.1 bcd	9.8±3.5 a
5	25/75	50%	100%	6.9±1.6 ab	1.2±0.1 bcd	10.8±2.5 a
6	25/75	75%	100%	6.9±1.8 ab	1.7±0.2 a	8.1±1.4 a
7	50/50	25%	100%	7.9±1.2 ab	1.4±0.2 abc	9.3±0.8 a
8	50/50	50%	100%	8.8±0.6 a	1.3±0.0 bcd	9.1±1.1 a
9	50/50	75%	100%	8.0±0.4 ab	1.4±0.2 abcd	8.8±1.3 a
10	75/25	25%	100%	8.1±2.1 ab	1.4±0.1 abc	10.3±2.0 a
11	75/25	50%	100%	8.6±1.2 a	1.4±0.1 abcd	9.5±1.1 a
12	75/25	75%	100%	8.2±1.2 ab	1.5±0.2 ab	9.1±1.1 a
13	100/0	25%	100%	6.4±0.8 ab	1.2±0.1 bcd	8.3±1.8 a
14	100/0	50%	100%	5.8±0.8 b	1.1±0.1 d	9.3±2.9 a
15	100/0	75%	100%	6.8±1.3 ab	1.1±0.1 dc	7.5±0.5 a

Se presenta el promedio± desviación estándar. En cada columna, valores con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, 0.05).

Cuadro 5. Características de plantas de fresa micropropagadas que durante 34 días de su aclimatación estuvieron en sustratos y dosis de fertilirriego diferentes.

Trat	Sust:	Fert	% Sobrev.	VR	AF	PSR
	Perlita /Turba			(cm³)	(cm²)	(g)
1	0/100	25%	100%	4.6±1.6 ab	56.8±4.8 ab	0.03±0.008 abc
2	0/100	50%	100%	4.8±2.8 ab	47.6±7.4 bc	0.02±0.006 c
3	0/100	75%	100%	2.6±1.0 b	41.2±6.8 bcd	0.02±0.008 c
4	25/75	25%	100%	2.3±0.8 b	41.1±9.1 bcd	0.02±0.01 c
5	25/75	50%	100%	6.6±3.5 a	55.8±4.4 ab	0.04±0.007 abc
6	25/75	75%	100%	3.6±2.3 ab	45.2±10.8 bc	0.03±0.01 abc
7	50/50	25%	100%	3.3±1.1 b	45.1±8.3 bc	0.02±0.01 bc
8	50/50	50%	100%	3.0±1.1 b	67.8±2.2 a	0.05±0.004 a
9	50/50	75%	100%	3.0±1.1 b	51.8±11.4 abc	0.05±0.02 ab
10	75/25	25%	100%	2.6±1.1 b	49.2±11.1 cb	0.04±0.01 abc
11	75/25	50%	100%	4.0±0 ab	55.3±10.1 ab	0.04±0.01 abc
12	75/25	75%	100%	3.3±0.1 b	50.5±7.1 abc	0.04±0.01 abc
13	100/0	25%	100%	2.1±0.9 b	27.3±4.1 d	0.02±0.005 c
14	100/0	50%	100%	1.8±0.4 b	34.3±6.9 cd	0.03±0.003 abc
15	100/0	75%	100%	4.0±0 ab	39.3±14.5 bcd	0.04±0.01 abc

Trat= tratamiento; Sust=sustrato; Fert=dilución de solución nutritiva para fertilirriego; % Sobrev= porcentaje de plantas que sobrevivieron; VR= volumen foliar; AF= área foliar; PSA= peso seco aéreo; PSR= peso seco de raíz. Se presentan los promedios ± desviación estándar. En cada columna, valores con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, 0.05).

Las plantas de tamaño mayor y hojas de coloración verde intenso, fueron las que se establecieron en los sustratos que contenían niveles intermedios 50%, a altos 100%, de turba y que además se les aplicó solución nutritiva (SN), diluida entre 25 a 75%, mientras que las plantas que fueron establecidas en

sustratos con cantidades altas de perlita, 75 a 100% fueron más pequeñas (Cuadro 3) y sus hojas de coloración verde claro. Las plantas establecidas en el sustrato 100% turba, fertilirrigadas con la dilución 25% de SN, y las plantas en 100% perlita y fertilirrigadas con dilución 50% de SN, tuvieron 9.1 y 5.8 cm de altura, 1.7 y 1.1 cm de altura de tallo, 56.8 y 34.3 cm² de área foliar (Cuadros 4 y 5), magnitudes que en cada caso fueron significativamente diferentes (Tukey, 0.05).

Las plantas presentan características que variaron principalmente debido al efecto de tipo de sustrato, mientras que la fertilización tuvo un efecto más notable cuando el sustrato tuvo las cantidades menores de materia orgánica (Figura 3).



Figura 3. Plantas de *Fragaria x ananassa* Duch., aclimatadas distribuidas por los diferentes tratamientos evaluados.

Discusión

Neri *et al.* (2022) reportan el 100% de supervivencia durante la aclimatación de las plantas de *Fragaria x ananassa* Duch. Var. Aroma, recalando que las plantas deben tener un buen sistema radicular para que este le permita una correcta asimilación de agua y nutrientes. Valencia-Juárez *et al.* (2019) obtuvieron entre 80.1 y 91.9% de supervivencia de plantas de fresa micropropagadas cuando las colocaron bajo una cobertura plástica. Wahdan *et al.* (2017) en la aclimatación de plantas de fresa micropropagadas, al establecerlas en diversos sustratos: 1) mezcla de turba + vermiculita + arena; 2) sustrato turba de musgo; 3) sustrato vermiculita; 4) sustrato turba de musgo + vermiculita, la supervivencia obtenida fue del 94, 73 y 84%, respectivamente. En el presente trabajo todas las plantas transferidas a sustrato y condiciones de invernadero se adaptaron, cuando se colocaron bajo una cubierta cerrada de polietileno y bajo malla sombra. Las características de los sustratos fueron importantes para evitar mortandad de plantas por pudriciones debido al

exceso de humedad. Durante los primeros 15 días de aclimatación el polietileno se retiraba durante una hora, para exponer las plantas a ventilación y un ambiente menos húmedo. En el día 16 de aclimatación, al observar que las plantas no mostraban síntomas de marchitamiento se les retiró definitivamente el polietileno y en el día 21 se retiró completamente la malla sombra. Con este procedimiento se logró que el 100% de las plantas sobreviviese. Sin embargo, las plantas en los diversos tratamientos tuvieron diferencias en tamaño, vigor, color de hojas, debido principalmente al sustrato en que se establecieron y en menor grado debido a las dosis de fertirriego.

Conclusiones

El 100% de plantas micropropagadas de fresa que se transfirieron a diversos sustratos que tenían perlita y turba solas o combinas en proporciones diferentes, a los 34 días de su aclimatación en invernadero, sobrevivieron. Las plantas que se establecieron en sustratos con 50 a 100% de turba fueron más grandes que las que se establecieron en sustrato con cantidad alta de perlita, la diferencia de las plantas en los diferentes sustratos fue notable en el tamaño de hojas, número de hojas, grosor de tallo, color de hojas, altura de la planta. Mientras que el efecto de la solución nutritiva fue importante pero más notable en los sustratos que tenían 75% o más de perlita.

Agradecimientos

Al Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca por el apoyo en materiales para el desarrollo del proyecto.

Literatura citada

- Clavijo-Izquierdo, R., Beltrán-Castillo, A., Llauger-Riveron, R., Rodríguez-Dopazo, A., Fanrrés -Armanteros, E., García-Álave, M. y Rodríguez-Rubiai, M. (2010). Apuntes sobre el cultivo de la fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.). *CitriFrut*, 27(2), 67-71.
- Cruz-Crespo, E., Can-Chulim, A., Sandoval-Villa, M., Bugarin-Montoya, R., Robles-Bermúdez, A. y Juárez- López, P. (2012). Sustratos en la horticultura. *Revista Bio Ciencias*, 2(2), 17-26.
- Enríquez-del Valle, J. R. (2008). *La Propagación y Crecimiento de Agaves*. Fundación Produce Oaxaca, A.C. e Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca. Oaxaca. México.
- Gonzales-Arteaga, J.J., Rodríguez-Layza, J., Romero-Rivas, L.C., Párraga-Quintana, A. y Olivera-Soto, J.A. (2023). El rol del AIA y BAP en la regeneración y formación de brotes in vitro de tres variedades de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.). *Agroindustrial Science*, 13(2), 93-102. <https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2023.02.05>
- INEGI. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (2005). *Principales resultados por localidad. II Censo de población y vivienda*. <http://www.inegi.gob.mx/est/contenidos/esmand/conteo2005/iter2005/selentcampo.aspx>.
- Mekonen, G., Chimdessa-Egigu, M. y Muthsuwamy, M. (2021). *In vitro* Propagation of Banana (*Musa paradisiaca* L.) Plant Using Shoot Tip Explant. *Turkish Journal of Agriculture– Food Science and Technology*, 9(12), 2339-2346. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v9i12.2339-2346.2883>
- Miguel-Luna, M E., Enríquez-del Valle, J.R., Velasco-Velasco, V.A., Campos-Ángeles, G.V. y J.L. Chávez-Servia. (2013). Acclimatization of micropropagated *Musa cavendishii* cultivar roatan plants submitted to doses of fertigation and auxin. *African Journal of Agricultural Research*, 8(43), 5336-5341.
- Murashige, T. y Skoog, F. (1962). A revised medium for rapid growth and bio-assays with tobacco tissues cultures. *Physiologia Plantarum*, 15, 473-497.
- Neri, J. C., Meléndez-Mori, J.B., Tejada-Alvarado, J.J., Vilca-Valqui, N.C., Huaman-Huaman, E., Oliva, M. y Goñas, M. (2022). Optimized protocol for micropropagation and acclimatization of Strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) Variety “Aroma”. *Agronomy*, 12 (4), 968. <https://doi.org/10.3390/agronomy12040968>
- Romero-Rivas, L. C., González-Arteaga, J.J., Rodríguez-Layza, J., Párraga-Quintanilla, A. y Olivera-Soto, J.A. (2023). Multiplicación y enraizamiento in vitro de *Fragaria x ananassa* Duch. Var 'Aromas'. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 25 (4), 205-212. <https://doi.org/10.18271/ria.2023.563>
- Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER). (2022). *¿Qué quiere la niña fresa? México y su producción nacional*. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/que-quiere-la-nina-fresa-mexico-y-su-produccion-nacional>
- Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, México. (SAGARPA). *Fresa mexicana. Planeación Agrícola Nacional 2017-2023*. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/257075/Potencial-Fresa.pdf>
- Steiner, A.A. (1984) *The Universal Nutrient Solution*. Sixth International Congress on Soilless Culture, Wageningen, 633-650.
- Valencia-Juárez, M., Escobedo-López, D., Díaz-Espino, L.F. y González-Pérez, E. (2019). Aclimatación ex vitro de plántulas de *Fragaria x ananassa* Duch. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(1), 91-100. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i1.1633>
- Wafaa, A.F. y Wahdan, H.M. (2017). Influence of substrates on *in vitro* rooting and acclimatization of micropropagated strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.). *Middle East Journal of Agriculture Research*, 6(3), 682-691. <https://www.curreweb.com/mejar/mejar/2017/682-691.pdf>