



DOI: 10.29298/rmcf.v13i74.1195

Nota de Investigación

Prototipo de vivero forestal con fertirriego por subirrigación **A prototype for a forest nursery with fertigation by sub-irrigation**

Karla Ramírez Galicia^{1*}, Miguel Ángel López López¹, Víctor Manuel Cetina Alcalá¹, Leopoldo Mohedano Caballero²

Fecha de recepción/Reception date: 9 de julio de 2022

Fecha de aceptación/Acceptance date: 12 de septiembre de 2022

¹Postgrado en Ciencias Forestales. Colegio de Postgraduados, Montecillo. México.

²División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. México.

*Autor para correspondencia; correo-e: krg150320@gmail.com

*Corresponding author; e-mail: krg150320@gmail.com

Resumen

La investigación en el ámbito de viveros forestales se ha enfocado en la producción de planta de calidad con sistemas de riego y fertirriego eficientes y sustratos alternativos que se han implementado para mitigar impactos ambientales. El presente estudio tuvo por objetivos diseñar un prototipo de sistema de fertirriego por subirrigación para la producción de 600 plantas de tres especies forestales en vivero, y cuantificar la cantidad de agua y fertilizante soluble utilizado durante la producción. Este método se comparó con fertirriego mediante regadera. Al final del periodo de producción se evaluó la morfología de la planta obtenida. Para la construcción del prototipo, se excavaron cuatro zanjas en el suelo del vivero de dimensiones 0.30×0.30×3.0 m. Se estimó la cantidad de agua y fertilizante utilizado en ambos sistemas. En el fertirriego con regadera, se utilizaron 8 960 L de agua, 219 % mayor que en subirrigación, en el cual se requirieron 2 808 L. Empero, la cantidad de fertilizante soluble usado en regadera fue de 4 779.4 g, mientras que en el sistema alterno se emplearon 5 347.6 g. El desperdicio de la solución nutritiva con el uso de regadera fue directamente al suelo y en el prototipo de sistema, se recuperó y reutilizó para fertirriego de árboles frutales.

Palabras clave: Agua, fertilizante, planta, regadera, sistema, solución nutritiva.

Abstract

Research in forest nurseries has focused on producing quality stock with efficient irrigation and fertigation systems and substrate alternatives to reduce environmental impacts. The objectives of the present research were to design a sub-irrigation system prototype to produce 600 seedlings of three species at nursery and to quantify the amount of water and fertilizer used. The prototype was compared to a hand watering system. Morphological traits were evaluated at the end of the production stage. To create the prototype, four 0.30×0.30×3.0 m trenches were dug inside the nursery. The amount of water used in the hand fertigation system exceeded the subirrigation system by 219 %. With overhead hand fertigation, 8 960 l of water were used, while in sub-irrigation, only 2 808 l were utilized. However, the amount of soluble fertilizer used in overhead hand fertigation was 4 779.4 g, whereas in sub-irrigation, the total amount was 5 347.6 g. With overhead-hand fertigation, the nutrient solution dripped off the containers and leached through the soil. In sub-irrigation however, the nutrient solution was reused to fertigate a fruit tree orchard.

Key words: Water, fertilizers, plant, overhead-hand fertigation, system, nutrient solution.

Introducción

En viveros forestales tecnificados, el riego de uso más frecuente es mediante aspersión; sin embargo, el agua no se distribuye de manera uniforme y una gran proporción se desperdicia, lo que resulta en pérdidas de nutrientes, en especial nitrógeno y fósforo (Gent *et al.*, 2012).

El problema del desperdicio de agua se agrava cuando es limitada, pues la producción de planta forestal demanda una gran cantidad de esta y de otros recursos (DeVincentis *et al.*, 2015). Ante esas circunstancias, una posible solución es el uso de sistemas de riego cerrados como la subirrigación (Wan *et al.*, 2019).

Así, los objetivos del presente trabajo consistieron en diseñar un prototipo de sistema de fertirriego por subirrigación para la producción de planta forestal, y cuantificar la cantidad de agua y fertilizante utilizado durante el ciclo de producción, mismo que se comparó con un sistema manual con regadera. Además, se evaluó la morfología de la planta producida con ambos sistemas.

El experimento se estableció en el ejido Palo Bendito, Huayacocotla, Veracruz, México (20°30'33" norte y 98°30'14" oeste). El clima es templado subhúmedo con lluvias en verano y nieblas frecuentes; temperatura media anual de 14° C y precipitación pluvial media anual de 1 315 mm (García, 2004).

El prototipo se implementó dentro de un invernadero rústico; con una temperatura mínima de 4 °C y la máxima de 32 °C.

El funcionamiento del sistema se valoró mediante la producción de *Fraxinus uhdei* (Wenz.) Lingelsh., *Pinus patula* Schltdl. & Cham. y *Pinus pseudostrobus* Lindl. Las plantas se produjeron en tubetes de 310 mL de capacidad con dos mezclas de sustrato. Las plantas de fertirriego con regadera recibieron una mezcla de fertilizante de liberación lenta, Osmocote 14-14-14 y Multicote 18-06-12, de

formulación 0.6, 0.21 y 0.45 g de N, P y K, en dosis de 3 y 1 g L⁻¹, respectivamente.

El diseño experimental fue completamente al azar con arreglo factorial 2², en el que se probó el factor sistema de fertirriego (regadera vs subirrigación) y la mezcla de sustratos (60:30:10 de turba:perlita:vermiculita, Vol.:Vol. vs 60:30:10 de aserrín crudo de pino:perlita:vermiculita, Vol.:Vol.).

El modelo utilizado fue:

$$y_{ijk} = \mu + sis_i + sus_j + sis_i * sus_j + \varepsilon_{ijk} \quad (1)$$

Donde:

y_{ijk} = Variable k -ésima en el i -ésimo sistema de fertirriego del j -ésimo sustrato base

μ = Media poblacional

sis = i -ésimo sistema de fertirriego

sus = j -ésimo sustrato base

ε_{ijk} = Error experimental

Dado que las especies presentan distinto hábito de crecimiento, se analizaron por separado. La unidad experimental fue una rejilla con 25 plántulas; se aplicaron cuatro tratamientos por especie con cuatro repeticiones cada uno.

Se midió la altura total con un flexómetro *Truper*[®] modelo FH-5M y el diámetro basal con un vernier *Truper*[®] modelo CALDI-6MP. Conjuntamente, se estimó el Índice de Calidad de *Dickson* (*ID*), para ello se obtuvo el peso seco de muestras de

tejido aéreo y subterráneo. El Índice de *Dickson* (*Dickson et al.*, 1960) se calculó con la fórmula:

$$ID = \frac{Pst(g)}{\frac{At(cm)}{Db(mm)} + \frac{Psa(g)}{Pss(g)}} \quad (2)$$

Donde:

Pst = Peso seco total

At = Altura total

Db = Diámetro basal

Psa = Peso seco aéreo

Pss = Peso seco subterráneo

El prototipo consistió de un tinaco de 1 100 L para almacenar la solución nutritiva y se colocó por debajo del nivel del suelo. Para suministrar la solución a las cuatro zanjas, en el interior se colocaron dos bombas sumergibles con una potencia de 17 W cada una y se utilizaron tubos PVC de ½ pulgada. Para el control del flujo de agua, se instalaron válvulas de control en el extremo de salida de los tubos PVC. El vaciado de las zanjas se realizó con sifones ubicados en un extremo de estas. Los sifones se conectaron a un tubo PVC de dos pulgadas de diámetro, el cual retornó la solución al depósito (Figura 1).

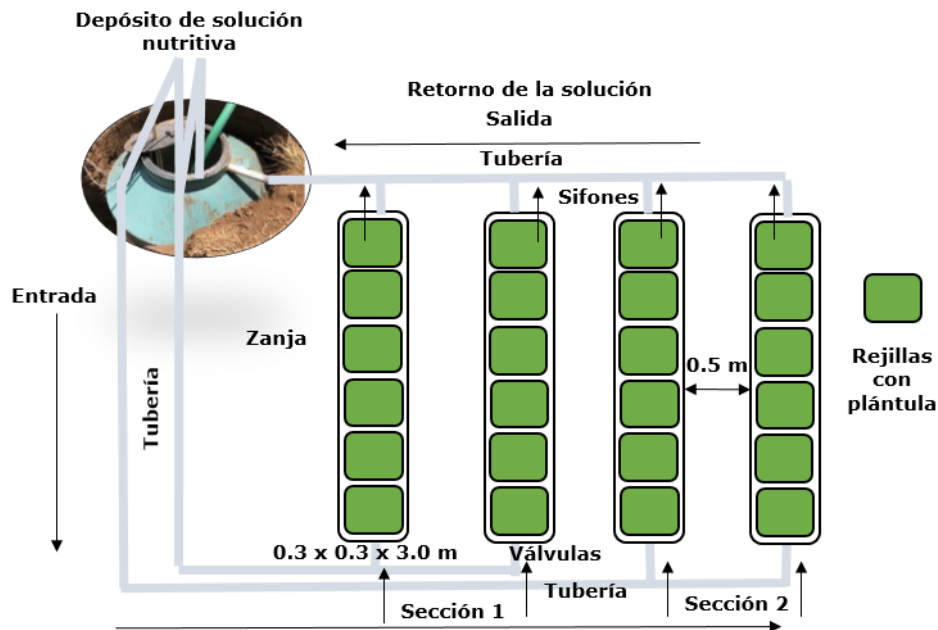


Figura 1. Diagrama del prototipo de sistema de fertirriego por subirrigación.

Las dimensiones de las zanjas de subirrigación fueron: $0.30 \times 0.30 \times 3.0$ m con un espacio entre zanjas de 0.5 m. Se niveló el fondo de cada zanja para evitar encharcamiento y se cubrieron con plástico para impedir la infiltración de la solución. Las plantas recibieron agua y nutrientes por medio de la inundación de zanjas. Los riegos se programaron diariamente por secciones. Cada sección estuvo constituida por dos zanjas. Una vez inundada la primera sección, se vaciaron las zanjas gradualmente a través de los sifones y se inició el llenado de la otra sección (Figura 1). El tiempo de carga por sección fue de una hora y 20 minutos y el tiempo de descarga de 40 minutos. No se incorporó fertilizante de liberación controlada al sustrato, para no alterar la composición de la solución. La solución nutritiva aplicada fue la propuesta por Landis (1989) y se preparó con fertilizantes solubles (Cuadro 1).

Cuadro 1. Materiales fertilizantes utilizados para conformar la solución nutritiva (Landis, 1989).

| Fase | Nutrimento | Concentración de la solución nutritiva (mg L⁻¹) | Material fertilizante | Cantidad de fertilizante (g L⁻¹) |
|-------------------------|-------------------|---|-------------------------------------|--|
| Iniciación | Nitrógeno | 50 | <i>Peters</i> [®] 9-45-15 | 0.510 |
| | Fósforo | 100 | | |
| | Potasio | 100 | Sulfato de K | 0.090 |
| | Calcio | 80 | Sagaquel [®] Ca | 0.800 |
| | Magnesio | 40 | Sulfato de Mg | 0.330 |
| Crecimiento Exponencial | Nitrógeno | 150 | <i>Peters</i> [®] 20-20-20 | 0.750 |
| | Fósforo | 60 | Urea | 0.027 |
| | Potasio | 150 | Sulfato de K | 0.086 |
| | Calcio | 80 | Sagaquel [®] Ca | 0.800 |
| | Magnesio | 40 | Sulfato de Mg | 0.340 |
| Endurecimiento | Nitrógeno | 50 | <i>Peters</i> [®] 4-25-35 | 0.390 |
| | Fósforo | 60 | Urea | 0.075 |
| | Fósforo | 60 | Ácido fosfórico | 0.070 |
| | Potasio | 150 | Sulfato de potasio | 0.090 |
| | Calcio | 80 | Sagaquel [®] Ca | 0.800 |
| | Magnesio | 40 | Sulfato de Mg | 0.280 |

Tres muestras de la solución se analizaron químicamente cada dos semanas durante las tres fases de crecimiento para reponer los nutrientes faltantes y mantener la solución en las concentraciones óptimas (Landis, 1989). Para cada etapa de crecimiento en este sistema, se prepararon 600 L de solución nutritiva. Mediante regadera, se utilizaron 40 L de agua por cada incorporación. Dos días a la semana se agregó el fertirriego con la solución nutritiva, y tras considerar la presencia de fertilizante de liberación lenta en el sustrato, los demás días solamente se aplicó agua. Se estimó la cantidad de agua y fertilizante utilizado durante la producción en ambos sistemas.

La cantidad de agua utilizada en el sistema manual con regadera fue 219 % mayor que en subirrigación (8 960 y 2 808 L, respectivamente). Jani *et al.* (2021) en un estudio de sistemas de riego, señalan un ahorro de 87 % en subirrigación en comparación con aspersión; mientras que, en la presente investigación fue de 69 %. El agua usada en subirrigación, con excepción de la evaporada desde las zanjas, del sustrato y la transpirada por las plantas se recuperó diariamente y reutilizó para la fertilización de un huerto de árboles frutales, al final de cada etapa de crecimiento. El suministro diario de agua en el prototipo implementado fue de 4.7 L y 40L en regadera. En subirrigación se consumió 11.25 % de agua, con respecto al sistema con regadera. A pesar de los ahorros de agua en subirrigación, este representó más gasto de fertilizante (11.9 %) (Cuadro 2).

Cuadro 2. Cantidad de fertilizante utilizado en dos sistemas de fertirriego.

| Sistema de fertirriego | Etapas de crecimiento | g/etapa | Total (g) |
|------------------------|-----------------------|---------|-----------|
| Regadera | Inicial | 1 159.2 | 4 779.4 |
| | Exponencial | 2 358.0 | |
| | Lignificación | 1 247.4 | |
| Subirrigación | Inicial | 1 086.8 | 5 347.6 |
| | Exponencial | 3 196.3 | |
| | Lignificación | 1 064.5 | |

La mayor cantidad de fertilizante usada en subirrigación se debió a que al inicio de cada etapa se prepararon 600 L de solución nutritiva nueva, pero al analizarlas se agregaron los nutrientes faltantes. Lo anterior, debido a que mediante análisis químicos de la solución nutritiva o del crecimiento de las plantas es posible desarrollar técnicas para preparar una nueva solución, a partir de la anterior; y con ello es factible tener mayor ahorro de agua y fertilizantes (Dumroese *et al.*, 2011).

En el Cuadro 3 se muestra que los sistemas de fertirriego no afectaron la altura (*At*), ni el diámetro basal (*Db*) en las especies de pino, pero sí la altura de las plantas de *F. uhdei*. Según el Índice de *Dickson*, los sistemas de fertirriego impactaron la calidad de planta de las especies de pino, pero no al fresno. La mezcla de sustratos repercutió en la altura total y en el Índice de *Dickson* en los taxones de pino. En ejemplares de fresno, este factor tuvo un efecto en el diámetro basal. La interacción entre sistemas de fertirriego y mezclas de sustratos no fue significativa en ninguna de las especies, ni variables evaluadas.

Cuadro 3. Variables morfológicas y de calidad de planta ($p \leq 0.05$) de tres especies forestales en dos sistemas de fertirriego y dos mezclas de sustrato.

| F.V. | <i>Pinus patula</i> Schltl. & Cham. | | | <i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl. | | | <i>Fraxinus uhdei</i> (Wenz.) Lingelsh. | | |
|----------------|-------------------------------------|-----------|-----------|-----------------------------------|-----------|-----------|---|-----------|-----------|
| | <i>At</i> | <i>Db</i> | <i>ID</i> | <i>At</i> | <i>Db</i> | <i>ID</i> | <i>At</i> | <i>Db</i> | <i>ID</i> |
| <i>sis</i> | 0.850 | 0.152 | 0.021 | 0.672 | 0.188 | 0.007 | 0.002 | 0.944 | 0.246 |
| <i>sus</i> | 0.004 | 0.124 | 0.005 | 0.001 | 0.057 | 0.006 | 0.358 | 0.046 | 0.822 |
| <i>sis*sus</i> | 0.205 | 0.822 | 0.143 | 0.208 | 0.470 | 0.155 | 0.918 | 0.944 | 0.569 |

F.V. = Fuente de variación; *At* = Altura total; *Db* = Diámetro basal; *ID* = Índice de *Dickson*; *sis* = Sistema de fertirriego; *sus* = Mezcla de sustrato.

En el Cuadro 4 se observa que en las especies de pino el Índice de *Dickson* fue mejor con fertirriego mediante regadera (Reg), lo que no se verificó para *F. uhdei*. Las mezclas de sustratos afectaron la altura e Índice de *Dickson* en los taxones de pino y el diámetro basal en fresno.

Cuadro 4. Pruebas de *Tukey* ($\alpha=0.05$) para variables morfológicas y de calidad de planta de tres especies forestales al final de la producción.

| F.V. | <i>Pinus patula</i> Schltl. & | <i>Pinus pseudostrobus</i> | <i>Fraxinus uhdei</i> (Wenz.) |
|------|-------------------------------|----------------------------|-------------------------------|
|------|-------------------------------|----------------------------|-------------------------------|

| | Cham. | | | Lindl. | | | Lingelsh. | | |
|-----|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | <i>At</i> | <i>Db</i> | <i>ID</i> | <i>At</i> | <i>Db</i> | <i>ID</i> | <i>At</i> | <i>Db</i> | <i>ID</i> |
| Reg | 36.96a | 5.47a | 0.64a | 32.64a | 5.16a | 0.68a | 30.46a | 8.42a | 2.41a |
| Sub | 37.40a | 4.92a | 0.47b | 31.96a | 4.77a | 0.44b | 22.91b | 8.39a | 1.68a |
| Tur | 41.26a | 5.49a | 0.66a | 35.57a | 5.26a | 0.68a | 27.60a | 8.99a | 2.11a |
| As | 33.10b | 4.90a | 0.44b | 29.02b | 4.67a | 0.44b | 25.77a | 7.82b | 1.98a |

F.V. = Fuente de variación; *At* = Altura total de planta (cm), *Db* = Diámetro basal de planta (mm); *ID* = Índice de *Dickson*; Reg = Fertilización por regadera; Sub = Fertilización por subirrigación; Tur= Sustrato a base de turba; As = Sustrato a base de aserrín.

Los valores promedio en altura y diámetro basal de las plántulas (Cuadro 4), a los siete (coníferas) y cinco meses (*F. uhdei*) superaron los valores indicados por Prieto *et al.* (2009): 15-20 cm para altura y >5 mm para diámetro basal, independientemente del tipo de fertilización.

La producción de planta mediante subirrigación se ha implementado con fines de investigación; por ejemplo, en Brasil para la producción de 200 plantas de *Eucalyptus grandis* W. Mill ex Maiden en un sistema denominado "Bosque Acuático". Las plántulas crecieron dentro de albercas con agua a una profundidad de 0.6 m y los contenedores se sumergieron a una profundidad de 0.2 m. El prototipo consistió de una estructura de madera, poliestireno, malla sombra y plástico transparente (Celentano *et al.*, 2004).

Otros autores como Ribeiro *et al.* (2014) evaluaron la eficiencia del riego por subirrigación para producir 226 800 clones de *Eucalyptus* spp. En el citado estudio, se utilizó un total de 36 500 L de agua. Dumroese *et al.* (2006) documentan que la subirrigación es una opción viable para áreas donde no se tiene una fuente permanente de agua o en regiones áridas.

En el experimento descrito, mediante el sistema de subirrigación, se produjo planta de coníferas de igual talla, aunque con menor índice de *Dickson*; y se logró un ahorro de agua superior a 50 %. Este sistema permitió producir planta de *Fraxinus uhdei* de igual Índice de *Dickson* que con fertirriego mediante regadera, pero con menor altura. A pesar de que el consumo de fertilizantes fue mayor en subirrigación, la solución nutritiva se reutilizó para el fertirriego de otros cultivos al final del ciclo de producción.

Agradecimientos

El primer autor agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) por la beca otorgada para sus estudios de Maestría en Ciencias Forestales.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de interés.

Contribución por autor

Karla Ramírez Galicia y Miguel Ángel López López: planteamiento de la investigación, dirección del experimento y escritura del manuscrito; Víctor Manuel Cetina Alcalá y Leopoldo Mohedano Caballero: escritura del manuscrito.

Referencias

Celentano A., D. C., V. L. Engel and E. D. Velini. 2004. Preliminary results of a floating subirrigation system ("Aquaforest system") as an alternative to conventional tree nurseries. *Ecological Engineering* 22(1):61-66. Doi: 10.1016/j.ecoleng.2004.01.003.

DeVincentis, A. J., R. G. Brumfield, P. Gottlieb and J. R. Johnson. 2015. Cost analysis of using recycled water in container production: A case study of Southern New Jersey. *HortScience* 50(8):1196-1201. Doi: 10.21273/HORTSCI.50.8.1196.

Dickson, A., A. L. Leaf and J. F. Hosner. 1960. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *The Forestry Chronicle* 36(1):10-13. Doi: 10.5558/tfc36010-1.

Dumroese, R. K., A. S. Davis and D. F. Jacobs. 2011. Nursery response of *Acacia koa* seedlings to container size, irrigation method, and fertilization rate. *Journal of Plant Nutrition* 34:877-887. Doi: 10.1080/01904167.2011.544356.

Dumroese, R. K., J. R. Pinto, D. F. Jacobs, A. S. Davis and B. Horiuchi. 2006. Subirrigation reduces water use, nitrogen loss, and moss growth in a container nursery. *Native Plants Journal* 7(3):253-261. Doi: 10.1353/npj.2007.0004.

García, E. 2004. Modificaciones al Sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía y Universidad Nacional Autónoma de México. Coyoacán, D. F., México. 90 p.

Gent, M. P. N., W. H. Elmer and R. J. McAvoy. 2012. Water use efficiency with rapid watering of potted plants on flooded floor. *Acta Horticulturae* 927:101-108. Doi: 10.17660/ActaHortic.2012.927.10.

Jani, A. D., T. D. Meadows, M. A. Eckman and R. S. Ferrarezi. 2021. Automated ebb-and-flow subirrigation conserves water and enhances citrus liner growth compared to capillary mat and overhead irrigation methods. *Agricultural Water Management* 246(1):106711. Doi: 10.1016/j.agwat.2020.106711.

Landis, T. D. 1989. Mineral nutrients and fertilization. In: Landis, T. D., R. W. Tinus, S. E. McDonald and J. P. Barnett (eds.). The container tree nursery manual, Volume 4, Seedling Nutrition and irrigation. Agricultural Handbook 674. Washington, D. C., USA. pp.1-67.

Prieto R., J. A., J. L. García R., J. M. Mejía B., S. Huchín A. y J. L. Aguilar V. 2009. Producción de planta del género *Pinus* en vivero en clima templado frío. Publicación Especial Núm. 28. INIFAP-Centro de Investigación Regional Norte Centro, Campo Experimental Valle del Guadiana. El Mezquital, Dgo., México. 50 p.

Ribeiro, M. D., R. S. Ferrarezi and R. Testezlaf. 2014. Assessment of subirrigation performance in Eucalyptus seedling production. HortTechnology 24(2):231–237. Doi: 10.21273/HORTTECH.24.2.231.

Wan F., A. L. Ross-Davis, W. Shi, C. Weston, ... and F. Teng. 2019. Subirrigation effects on larch seedling growth, root morphology, and media chemistry. Forests 10(1):38-51. Doi: 10.3390/f10010038.



Todos los textos publicados por la **Revista Mexicana de Ciencias Forestales** –sin excepción– se distribuyen amparados bajo la licencia *Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional)*, que permite a terceros utilizar lo publicado siempre que mencionen la autoría del trabajo y a la primera publicación en esta revista.