

Evaluación de la solución nutritiva Steiner aplicada al cultivo de cáñamo medicinal (*Cannabis sativa L.*) var. *Cherry Oregon*, bajo invernadero

Evaluation of the Steiner nutrient solution applied to the cultivation of medical hemp flower (*Cannabis sativa L.*) var. *Cherry Oregon*, under greenhouse

Michelle Arcos¹, Yamil Cartagena², Jorge Merino³,
Patricio Pérez Guerrero⁴, Rafael Parra⁵, Julio Moreno⁶



Siembra 12 (1) (2025): e6777

Recibido: 31/05/2024 / Revisado: 26/08/2024 / Aceptado: 18/11/2024

¹ Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Departamento Ciencias de la vida. Ingeniería Agropecuaria. Av. General Rumiñahui y Ambato 171103. Sangolquí, Pichincha, Ecuador.

✉ michelle.arcos1398@gmail.com

✉ https://orcid.org/0009-0004-6862-1580

² Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias INIAP. Estación Experimental Santa Catalina. Departamento de Manejo de Suelos y Aguas. Panamericana Sur km 1. C.P. 170518. Mejía, Ecuador.

✉ yamil.cartagena@iniap.gob.ec

✉ https://orcid.org/0000-0003-2447-2769

³ Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias INIAP. Estación Experimental Santa Catalina. Departamento de Manejo de Suelos y Aguas. Panamericana Sur km 1. C.P. 170518. Mejía, Ecuador.

✉ jorge.merino@iniap.gob.ec

✉ https://orcid.org/0000-0002-5632-2194

⁴ Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Departamento Ciencias de la vida. Ingeniería Agropecuaria. Av. General Rumiñahui y Ambato 171103. Sangolquí, Pichincha, Ecuador.

✉ paperez11@espe.edu.ec

✉ https://orcid.org/0000-0002-6755-8354

⁵ Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias INIAP. Estación Experimental Santa Catalina. Departamento de Manejo de Suelos y Aguas. Panamericana Sur km 1. C.P. 170518. Mejía, Ecuador.

✉ rafael.parra@iniap.gob.ec

✉ https://orcid.org/0009-0005-7633-6744

⁶ Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias INIAP. Estación Experimental Santa Catalina. Departamento de Manejo de Suelos y Aguas. Panamericana Sur km 1. C.P. 170518. Mejía, Ecuador.

✉ victor.moreno@iniap.gob.ec

✉ https://orcid.org/0000-0003-3372-0787

*Autor de correspondencia:

michelle.arcos1398@gmail.com

Resumen

El adecuado manejo nutricional es crucial para el desarrollo y producción de cannabinoides en el cultivo de *Cannabis sativa* var. *Cherry Oregon*. Esta investigación tuvo por objetivo evaluar el efecto de cinco concentraciones de solución nutritiva Steiner en la fenología del cáñamo medicinal, y determinar la dosis óptima de la solución nutritiva para el contenido de cannabinoides (cannabidiol [CBD] y tetrahidrocannabinol [THC]). La investigación fue realizada en el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias [INIAP], Estación Experimental Santa Catalina [EESC], en Ecuador, en condiciones de invernadero. Se emplearon cinco concentraciones de solución nutritiva de Steiner (50, 75, 100, 125 y 150%). Se evaluaron variables agronómicas como altura de planta, diámetro a la altura del cuello, rendimiento y contenido de cannabinoides en las flores. Se observó efecto significativo ($p < 0,05$) en altura de planta y diámetro del cuello. El THC se mantuvo < 1%. Concentraciones al 75% y 100% de la solución nutritiva mostraron niveles superiores de CBD con 15,3 y 15,15%, respectivamente. La solución nutritiva al 125 y 100% promovieron un mayor crecimiento en altura y diámetro a la altura del cuello. La concentración al 125% también produjo mayor rendimiento de biomasa seca con 810 g m^{-2} o $8,10 \text{ t ha}^{-1}$, superando al resto de concentraciones. Se concluye que la concentración óptima de solución Steiner fue de 125% para acumulación de biomasa seca, y del 75 y 100% para la producción de cannabinoides en flores (CBD), cumpliendo con las regulaciones vigentes (< 1% de THC).

Palabras clave: cannabinoides, cáñamo, nutrición, solución Steiner.

Abstract

Proper nutritional management is crucial for the development and production of cannabinoids in the cultivation of *Cannabis sativa* var. *Cherry Oregon*. The objective of this research was to evaluate the effect of five concentrations of Steiner nutrient solution on the phenology of medicinal hemp, and to determine the optimal dosage of the nutrient solution for cannabinoid content (cannabidiol [CBD] and tetrahidrocannabinol [THC]). Research was conducted at the Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias [INIAP], Estación Experimental Santa Catalina



[EESC], in Ecuador, under greenhouse conditions. Five concentrations of Steiner nutrient solution (50, 75, 100, 125 and 150%). Agronomic variables such as plant height, diameter at collar height, yield, and cannabinoid content in flowers were evaluated. Significant effects ($p < 0.05$) were used. Agronomic variables such as plant height, diameter at neck height, yield, and cannabinoid content in flowers were evaluated. Significant effects ($p < 0.05$) were observed in plant height and diameter at neck height. Tetrahydrocannabinol (THC) remained at concentrations lower than 1%. Concentrations at 75% and 100% of the nutrient solution showed higher levels of cannabidiol (CBD) with 15.3% and 15.15%, respectively. The nutrient solution at 125% and 100% concentrations promoted greater growth in plant height and diameter. The 125% concentration also produced the highest dry biomass yield with 810 g m^{-2} or 8.1 t ha^{-1} , surpassing the other concentrations. It is concluded that the optimal concentration of Steiner solution was 125% for accumulation of dry biomass, and 75 and 100% for cannabinoid production in flowers (CBD), complying with current regulations (< 1% THC).

Keywords: cannabinoids, hemp, nutrition, Steiner solution.

1. Introducción

El cáñamo (*Cannabis sativa L.*) ha logrado posicionarse en el mundo por sus propiedades medicinales y su consumo con fines recreativos; y acorde con esto, en 2019, en Ecuador se aprobó su uso con fines terapéuticos, encaminándose la investigación hacia su adaptabilidad y productividad (Bravo Avalos et al., 2023).

La variedad de cáñamo Cherry Oregon es alta en cannabidiol [CBD], con un 15%, mientras que el contenido de tetrahidrocannabinol [THC] es aproximadamente 1%, cumpliendo con las normas de regularización (Acuerdo Ministerial No. 109). No obstante, el contenido de CBD está en función de factores culturales, suelo, absorción de nutrientes, agua, luminosidad, así como del punto de cosecha (Garza, 2020).

Los productores de cáñamo han empleado soluciones nutritivas, ya sea al suelo o sustratos, preparadas según los requerimientos nutricionales, la etapa de crecimiento y el contenido de nutrientes del agua de riego y/o sustrato (Moreno Baque et al., 2021). Se ha desarrollado un método sistemático mediante el cual es posible calcular por adelantado una fórmula para la composición de la solución nutritiva que satisface ciertos requisitos, en cuanto a las proporciones relativas de los iones nutrientes, la concentración iónica total y el pH, sin complicaciones por precipitación, la cual es conocida como “solución nutritiva universal de Steiner” (Steiner, 1961; 1984). Esta solución nutritiva se caracteriza por su contenido de macronutrientes esenciales, donde sus relaciones varían entre aniones y cationes; siendo considerada ideal para analizar el crecimiento de la planta, permitiendo balancear la nutrición y determinar cómo esta influye en la concentración de cannabinoides (Trejo-Téllez y Gómez-Merino, 2012).

En este sentido, esta investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de cinco concentraciones de la solución nutritiva Steiner en la fenología del cáñamo medicinal, y determinar la dosis óptima de la solución nutritiva para el contenido de cannabinoides (CBD y THC).

2. Materiales y Métodos

Esta investigación se ejecutó de febrero de 2022 a febrero de 2023, en el invernadero del Departamento de Manejo de Suelos y Aguas [DMSA], de la Estación Experimental Santa Catalina [EESC] del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias [INIAP]. Invernadero ubicado en la parroquia Cutuglahua, cantón Mejía, provincia de Pichincha, a una altitud de 3.059 m s.n.m., latitud $0^{\circ} 22' 4,02''$ S y longitud $78^{\circ} 33' 15,96''$ O. El invernadero tuvo, en promedio, 34,6 y 20 °C como temperatura máxima y mínima, respectivamente; así como 75,60% de humedad relativa.

Se estudió un factor, solución nutritiva de Steiner, en cinco concentraciones (50, 75, 100, 125 y 150%) (Tabla 1), donde también varió las concentraciones de los microelementos (Fe: 3 mg L^{-1} ; Mn: $1,52 \text{ mg L}^{-1}$; Zn: $0,35 \text{ mg L}^{-1}$; Cu: $0,23 \text{ mg L}^{-1}$; B: $0,71 \text{ mg L}^{-1}$; y Mo: $0,10 \text{ mg L}^{-1}$) de acuerdo con los tratamientos. Se aplicó un Diseño Completamente al Azar [DCA] con 17 observaciones por tratamiento, obteniéndose un total de 85 observaciones. La unidad experimental fue constituida por una planta sembrada en una funda de plástico, con capacidad de 22 L, usando para cada tratamiento 17 plantas (85 plantas en total).

Se utilizaron semillas de cáñamo medicinal (*Cannabis sativa L.*) variedad Cherry Oregon, provenientes de la empresa BARAD, de 0,05 m de altura con 15 días de germinación. Asimismo, se utilizó una mezcla de un sustrato inerte compuesto por turba (50%), cascarilla de arroz (30%) y pomina (20%), previamente esterili-

zado. Se tomó una muestra de 1 kg de este sustrato para el análisis físico-químico en el Laboratorio de Suelos, Plantas y Aguas de la EESC, donde también, se realizó el análisis químico del agua de riego (tomando 1 L de muestra) (Tabla 2).

Tabla 1. Composición iónica y potencial osmótico de los tratamientos, en la optimización de la solución nutritiva Steiner a diferentes concentraciones en flor de cáñamo medicinal (*Cannabis sativa L.*) var. Cherry Oregon, bajo invernadero.

*Table 1. Ionic composition and osmotic potential of treatments, in the optimization of Steiner nutrient solution at different concentrations in medical hemp flower (*Cannabis sativa L.*) var. Cherry Oregon, under greenhouse conditions.*

Tratamiento	Concentración (%)	Especies iónicas (meq L ⁻¹)					CE*	PO** (MP)
		NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	K ⁺	Ca ²⁺		
T1	50	6,00	0,50	3,50	3,50	4,50	2,00	1,00 -0,036
T2	75	9,00	0,75	5,25	5,25	6,75	3,00	1,50 -0,054
T3	100	12,00	1,00	7,00	7,00	9,00	4,00	2,00 -0,072
T4	125	15,00	1,25	8,75	8,75	11,25	5,00	2,50 -0,090
T5	150	18,00	1,50	10,5	10,5	13,50	6,00	3,00 -0,108

* CE = Conductividad Eléctrica / Electrical conductivity

** PO = Presión Osmótica / Osmotic suction

Tabla 2. Análisis químico del agua de riego.
Table 2. Chemical analysis of irrigation water.

Análisis	Unidad	Resultado
Nitrato (NO ₃)	meq L ⁻¹	0,00
Fosfato (PO ₄)	meq L ⁻¹	0,00
Sulfato (SO ₄)	meq L ⁻¹	0,02
Potasio (K)	meq L ⁻¹	0,06
Magnesio (Mg)	meq L ⁻¹	0,33
Calcio (Ca)	meq L ⁻¹	0,87

Para la preparación de las soluciones nutritivas se utilizaron cinco recipientes de 200 L, donde se colocaron las dosis correspondientes de los fertilizantes por cada tratamiento en estudio (Tabla 3). Estos se mezclaron y aplicaron por fertiirrigación, utilizando de 0,2 L hasta 1 L por planta por día, desde el trasplante hasta la cosecha (17 semanas), según la fenología del cultivo, cinco veces a la semana, dos veces al día; indicando que en los dos últimos días de la semana solo fue con agua. La conductividad eléctrica y el pH del agua de riego de las soluciones nutritivas se midieron cada semana. Se realizaron monitoreos en forma frecuente para determinar la incidencia de las diferentes plagas y enfermedades. La cosecha se realizó de forma manual, cuando el cultivo presentó sus tricomas maduros, identificados mediante un microscopio de bolsillo con luz LED.

Tabla 3. Fertilizantes utilizados en los tratamientos, en la optimización de la solución nutritiva Steiner a diferentes concentraciones en flor de cáñamo medicinal (*Cannabis sativa L.*) var. Cherry Oregon, bajo invernadero.

*Table 3. Fertilizers used in the treatments optimization of the Steiner nutrient solution at different concentrations in medicinal hemp flower (*Cannabis sativa L.*) var. Cherry Oregon, under greenhouse conditions.*

Fertilizante	Tratamientos				
	T1	T2	T3	T4	T5
Nitrato de potasio (mg L ⁻¹)	347,18	423,14	498,98	574,79	650,57
Nitrato de calcio (mg L ⁻¹)	362,88	628,18	893,47	1.158,90	1.424,36
Sulfato de potasio (mg L ⁻¹)	0,21	87,03	173,95	260,90	347,88
Sulfato de magnesio (mg L ⁻¹)	174,22	297,52	420,65	543,72	666,77
Ácido fosfórico (mL L ⁻¹)	0,03	0,05	0,07	0,08	0,10
Ácido sulfúrico (mL L ⁻¹)	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04
Tradecorp AZ (mg L ⁻¹)*	13	26	39	52	65

* Para microelementos / For microelements.

Para la variable altura de planta se midieron todas las plantas del experimento con un flexómetro, en cm, tomando desde la base del tallo hasta su ápice, una vez al mes desde los 15 días posteriores al trasplante hasta el momento de la cosecha. El diámetro a la altura del cuello se midió a todas las plantas del experimento, con un pie de rey digital (en cm), en la misma frecuencia que la variable altura de planta. Para obtener el rendimiento de biomasa seca se llevó al laboratorio de Nutrición y Calidad de la EESC, tres plantas por tratamiento, donde se pesó y llevó a la estufa a 65 °C por 24 horas. Se aplicó la ecuación [1] para calcular la materia seca y la ecuación [2] para obtener el rendimiento (Velásquez et al., 2008).

$$MS = \frac{Prms - Pr}{Prmh - Pr} \times 100 \quad [1]$$

donde:

- MS = Porcentaje de materia seca.
- $Prms$ = Peso del recipiente más la muestra seca.
- Pr = Peso del recipiente.
- $Prmh$ = Peso del recipiente más la muestra húmeda.

$$R = PS \times D \quad [2]$$

donde:

- R = Rendimiento (g m^{-2}).
- PS = Peso seco (g).
- D = Densidad de plantas (número de plantas por m^2).

Los pesos se promediaron y sumaron, dando como resultado el peso total por tratamiento, expresado en g m^{-2} , con transformación a t ha^{-1} . Para el contenido de THC y CBD se tomó la mezcla de tres plantas por tratamiento en una muestra de 50 g de flores, en peso seco, para realizar los análisis en el Laboratorio de Nutrición y Calidad de la EESC. Las muestras fueron sometidas a un proceso de molienda hasta obtener un tamaño de partícula < 1 mm. Se adicionó 10 ml de etanol. Se agitó por 1 minuto a velocidad de 6,5 m s^{-1} . Se colocó en tubos las muestras en un baño ultrasonido y se centrifugó por 10 minutos a 4.500 rpm a 5 °C. El extracto se pasó a un balón de 50 ml. Se tomó una alícuota del filtrado para pasarla por una membrana de 0,22 μm , la cual fue colocada en un vial de 2 ml para inyección en HPLC (cromatografía de líquidos de alto rendimiento). Este inyector tuvo las siguientes condiciones:

- 1) columna: Restek, RAPTOR ARC-18, 150 mm x 4,6 mm ID. 2,7 μm ;
- 2) temperatura de columna: 30 °C;
- 3) detector DAD: longitud de onda 228 nm;
- 4) fase móvil: A: solución acuosa de amonio formeato 5 mM, 0,1% ácido fórmico; B: solución de acetoni-trilo HPLC, 0,1% ácido fórmico;
- 5) flujo: 1,5 ml por minuto (25% A y 75% B);
- 6) volumen de inyección: 10 μl ; y,
- 7) tiempo de cromatografía: 12 minutos.

La cuantificación se realizó utilizando una curva de calibración, previamente analizada en el equipo, aplicando la ecuación [3] (Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito [UNODC], 2010).

$$PC = C \times VT \times (F \div P) \quad [3]$$

donde:

- PC = Porcentaje de cannabinoides.
- C = Concentración de cannabinoides a partir de la curva de calibración ($\mu\text{g ml}^{-1}$).
- VT = Volumen total de extracto (50 ml).
- F = Factor para transformar unidades (0,0001).
- P = Peso de la muestra (0,5 g).

Para obtener la curva de crecimiento del cultivo, en las variables altura de planta y diámetro a la altura del cuello, se aplicó la regresión logística normal (ecuación [4]) (Alonso Báez *et al.*, 2003).

$$Y = \frac{\alpha}{1 + \beta e^{-\gamma t}} \quad [4]$$

donde:

- Y = Valor de la variable en el tiempo (t)
- α = Valor límite de la variable.
- β = No tiene significado biológico y solo toma lugar en el tiempo inicial ($t = 0$).
- γ = Tasa de la constante que determina la amplitud de la curva.

A los resultados obtenidos, de las variables analizadas, se les aplicó el análisis estadístico respectivo (supuestos de normalidad y homogeneidad). Se realizó una prueba de correlación (Pearson) entre las variables evaluadas (altura de planta, diámetro a la altura del cuello, rendimiento de biomasa, contenido de CBD). Se calculó el análisis de la varianza [ADEVA], donde se determinó el coeficiente de variación [CV] en porcentaje, y se empleó la prueba de Tukey (al 5%), para determinar las diferencias significativas. El análisis de los datos se ejecutó en el programa estadístico SAS, Versión 9.4 (SAS Institute Inc., 2015).

3. Resultados y Discusión

Para la variable altura de planta se presentaron diferencias significativas a partir de los 15 días después del trasplante hasta el cuarto mes del desarrollo de la planta (120 ddt), previo a su cosecha (Tabla 4). Luego de 15 días del trasplante, las plantas que recibieron el 50 y 100% de las soluciones nutritivas desarrollaron mayor altura con una media de 22,71 cm. Durante el primer mes (30 ddt), correspondiente al desarrollo vegetativo, el tratamiento con el 100% de la solución nutritiva tuvo la mayor altura, con un promedio de 55,57 cm. Sin embargo, los tratamientos con 100 y 125% de las soluciones nutritivas de Steiner, durante el segundo mes (60 ddt), tuvieron mayor tamaño con 77,5 y 73,36 cm, y también en el tercer mes (90 ddt), con 87,36 y 83,86 cm, respectivamente, es decir, en el desarrollo vegetativo y reproductivo. En la senescencia, durante el cuarto mes (120 ddt), previo a la cosecha, el tratamiento que presentó mayor altura fue el tratamiento con el 100% de la solución nutritiva, con una media de 90,43 cm. El modelo logístico de esta variable indicó que el tratamiento con el 100% de concentración desarrolló la mayor altura de las plantas (Figura 1). Las alturas obtenidas están dentro del rango de las reportadas por Gómez García *et al.* (2023), que oscilaron entre 78,87 y 96,43 cm, donde evaluaron seis genotipos de *Cannabis* sp. no psicoactiva bajo invernadero. Respecto a los efectos de las concentraciones nutritivas en estudios similares, Díaz-Vázquez *et al.* (2023) encontraron que concentraciones al 100 y 125% de solución nutritiva de Steiner dieron las mayores alturas de planta, debido a la mayor disponibilidad de nitratos que actúan como precursores de aminoácidos y proteínas estructurales, tal y como sucedió en esta investigación.

Tabla 4. Prueba de Tukey al 5% para altura de planta, en la optimización de la solución nutritiva Steiner a diferentes concentraciones en cáñamo medicinal (*Cannabis sativa L.*) var. Cherry Oregon, bajo invernadero.

Table 4. Tukey's test at 5% for plant height, in the optimization of Steiner nutrient solution at different concentrations in medicinal hemp (*Cannabis sativa L.*) var. Cherry Oregon, under greenhouse conditions.

Tratamiento	Concentración (%)	Altura de planta (cm)*				
		15 ddt	30 ddt	60 ddt	90 ddt	120 ddt
T1	50	22,71 a	46,07 ab	67,64 ab	75,64 ab	77,14 ab
T2	75	19,36 ab	43,57 b	66,29 ab	76,41 ab	80,64 ab
T3	100	22,71 a	55,57 a	77,50 a	87,36 a	90,43 a
T4	125	18,79 ab	50,50 ab	73,36 a	83,86 a	85,79 ab
T5	150	17,54 b	40,64 b	54,79 b	65,14 b	69,36 b

* ddt = días después del trasplante / days after transplanting. Valores con la misma letra no difieren estadísticamente entre sí, de acuerdo con la prueba de Tukey ($p > 0,05$) / Values with the same letter do not differ statistically from each other, according to Tukey's test ($p > 0.05$).

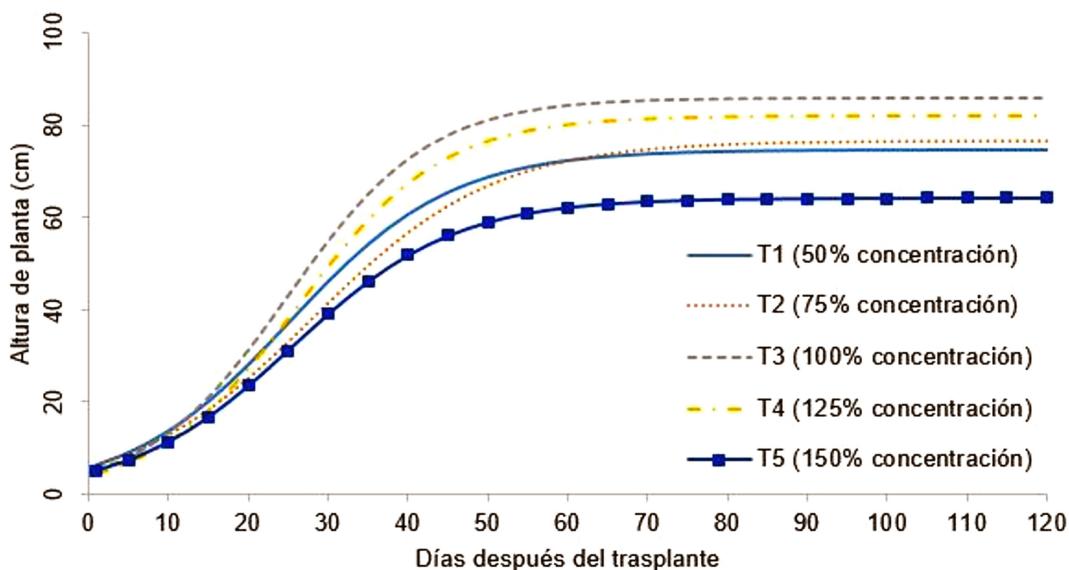


Figura 1. Efecto de cinco concentraciones de la solución nutritiva de Steiner sobre altura de planta, en cáñamo medicinal (*Cannabis sativa L.*) var. *Cherry Oregon*, bajo invernadero.

Figure 1. Effect of five concentrations of Steiner's nutrient solution on plant height in medicinal hemp (*Cannabis sativa L.*) var. *Cherry Oregon*, under greenhouse conditions.

Para la variable diámetro a la altura del cuello no se produjeron diferencias significativas a los 15 días después del trasplante entre tratamientos, sino a partir del primer mes (30 ddt) (Tabla 5). En el primer y segundo mes (30 y 60 ddt), el tratamiento con 125% de solución nutritiva destacó al presentar una media mayor en el diámetro a la altura del cuello, con 0,79 y 1,39 cm, respectivamente. En el caso del tercer y cuarto mes (90 y 120 ddt), los tratamientos con 100 y 125% de las soluciones nutritivas fueron significativamente superiores, en el tercer mes (90 ddt) con 1,48 y 1,57 cm; y en el cuarto mes (120 ddt) con 1,59 y 1,66 cm; respectivamente. El modelo logístico de esta variable indicó que el tratamiento con el 125% de concentración de la solución nutritiva produjo el mayor diámetro a la altura del cuello (Figura 2). Respecto a los efectos de las concentraciones nutritivas en estudios similares, Lazcano-Bello et al. (2021) y Díaz-Vázquez et al. (2023) encontraron que concentraciones al 100 y 125% de las soluciones nutritivas de Steiner dieron los mayores valores en el grosor del tallo, tal y como sucedió en este trabajo.

Tabla 5. Prueba de Tukey al 5% para la variable diámetro a la altura del cuello, en la optimización de la solución nutritiva Steiner a diferentes concentraciones en flor de cáñamo medicinal (*Cannabis sativa L.*) var. *Cherry Oregon*, bajo invernadero.

Table 5. Tukey's test at 5% for the stem diameter at neck height variable in the optimization of the Steiner nutrient solution at different concentrations in medical hemp flower (*Cannabis sativa L.*) var. *Cherry Oregon*, under greenhouse conditions.

Tratamiento	Concentración (%)	Diámetro a la altura del cuello (cm)*				
		15 ddt	30 ddt	60 ddt	90 ddt	120 ddt
T1	50	0,25 a	0,54 b	0,91 c	1,09 b	1,18 b
T2	75	0,25 a	0,60 b	1,06 bc	1,29 ab	1,39 ab
T3	100	0,25 a	0,68 ab	1,24 ab	1,48 a	1,59 a
T4	125	0,25 a	0,79 a	1,39 a	1,57 a	1,66 a
T5	150	0,23 a	0,65 ab	1,10 bc	1,32 ab	1,44 ab

* ddt = días después del trasplante / days after transplanting. Valores con la misma letra no difieren estadísticamente entre sí, de acuerdo con la prueba de Tukey ($p > 0,05$) / Values with the same letter do not differ statistically from each other; according to Tukey's test ($p > 0,05$).

Para la variable rendimiento de biomasa se presentó diferencia significativa entre los tratamientos, donde el tratamiento con el 125% de la solución nutritiva destacó con una media de 810 g m^{-2} u $8,10 \text{ t ha}^{-1}$ (Tabla 6). Este valor coincide, en lo que respecta a los efectos de las concentraciones en estudios similares, con los resultados reportados por Díaz-Vázquez et al. (2023), donde se obtuvieron los mejores rendimientos de biomasa con la solución al 125% de concentración.

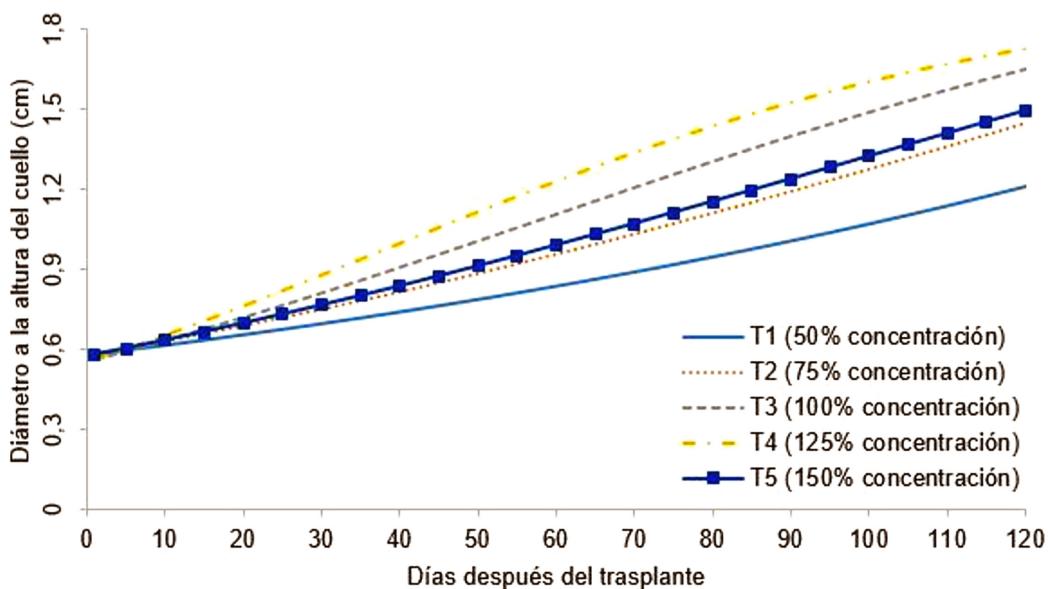


Figura 2. Efecto de cinco concentraciones de la solución nutritiva de Steiner sobre el diámetro a la altura del cuello, en cáñamo medicinal (*Cannabis sativa L.*) var. Cherry Oregon, bajo invernadero.

Figure 2. Effect of five concentrations of Steiner's nutrient solution on diameter at collar height in medicinal hemp (*Cannabis sativa L.*) var. Cherry Oregon, under greenhouse conditions.

Tabla 6. Prueba de Tukey al 5% para la variable rendimiento de biomasa seca y para el contenido de CBD, en la optimización de la solución nutritiva Steiner a diferentes concentraciones en flor de cáñamo medicinal (*Cannabis sativa L.*) var. Cherry Oregon, bajo invernadero.

Table 6. Tukey's test at 5% for the dry biomass yield variable and CBD content, in the optimization of Steiner nutrient solution at different concentrations in medicinal hemp flower (*Cannabis sativa L.*) var. Cherry Oregon, under greenhouse conditions.

Tratamiento	Concentración (%)	Rendimiento*		CBD *
		g m ⁻²	t ha ⁻¹	
T1	50	22,71	a	13,83 ab
T2	75	19,36	ab	15,30 a
T3	100	22,71	a	15,15 a
T4	125	18,79	ab	14,31 ab
T5	150	17,54	b	12,87 b

* Valores con la misma letra no difieren estadísticamente entre sí, de acuerdo con la prueba de Tukey ($p < 0,05$) / Values with the same letter do not differ statistically from each other; according to Tukey's test ($p < 0.05$).

Para contenido de THC no se detectó diferencia significativa entre tratamientos, siendo menor al 1% para todas las concentraciones evaluadas. Dicho contenido permitió establecer que se encontró dentro de los parámetros legales, según el Reglamento para el uso terapéutico, prescripción y dispensación del cannabis medicinal y productos farmacéuticos que contienen cannabinoides (Acuerdo Ministerial No. 148). Por otra parte, para el contenido de CBD se detectaron diferencias significativas entre tratamientos, destacándose el tratamiento con el 75% de la solución nutritiva y el tratamiento con el 100%, con medias de 15,30 y 15,15%, respectivamente, del contenido del cannabinoide (Tabla 6). Al comparar con los resultados de la investigación realizada por Aulestia Caiza (2022), quien reportó de 6,68 a 4,19%, se puede ver que el contenido de CBD se vio afectado positivamente por la distribución de nutrientes.

En las pruebas de correlación (Tabla 7), se observó que los mayores coeficientes (cercanos a 1) se obtuvieron en las variables diámetro a la altura del cuello vs. rendimiento (0,87), altura de planta vs. CBD (0,81) y altura de planta vs. rendimiento (0,80). Estos resultados son concordantes con la investigación de Delgado Cáceres (2022), donde se obtuvieron coeficientes de correlación mayores a 0,55 al evaluar la relación entre vigor y el rendimiento de biomasa e inflorescencia en el efecto de la tecnología de cultivo en la producción de cáñamo.

Tabla 7. Prueba de correlación de Pearson para las variables evaluadas, en la optimización de la solución nutritiva Steiner a diferentes concentraciones en flor de cáñamo medicinal (*Cannabis sativa L.*) var. *Cherry Oregon*, bajo invernadero.

Table 7. Pearson's correlation test for the variables evaluated in the optimization of Steiner nutrient solution at different concentrations in medicinal hemp flower (*Cannabis sativa L.*) var: *Cherry Oregon*, under greenhouse conditions.

Variable 1	Variable 2	Pearson*	p-valor**
Altura de planta (cm)	Diámetro a la altura del cuello (cm)	0,58	0,31
Altura de planta (cm)	Rendimiento (t ha ⁻¹)	0,80	0,10
Altura de planta (cm)	CBD (%)	0,81	0,10
Diámetro a la altura del cuello (cm)	Rendimiento (t ha ⁻¹)	0,87	0,06
Diámetro a la altura del cuello (cm)	CBD (%)	0,27	0,66
Rendimiento (t ha ⁻¹)	CBD (%)	0,55	0,34

* Coeficiente de correlación entre las correspondientes variables: un coeficiente igual a cero indica la falta de asociación; mientras que cuando se acerca a 1 es mayor la intensidad de asociación (Coyne y Thompson, 2006) / Correlation coefficient between the corresponding variables: a coefficient equal to zero indicates the lack of association; while when it is close to 1, the intensity of association is greater (Coyne & Thompson, 2006).

** Probabilidad asociada a la prueba de hipótesis de correlación nula (Balzarini et al., 2008) / Probability associated with the null correlation hypothesis test (Balzarini et al., 2008).

4. Conclusiones

Las concentraciones óptimas de la solución Steiner fue del 100 y 125%, para los parámetros agronómicos de *Cannabis sativa* var. *Cherry Oregon*, altura y diámetro a la altura de cuello, durante los cuatro meses del cultivo. Para la acumulación de biomasa seca (rendimiento), la concentración óptima fue del 125%. Para la producción de CBD en flores, cumpliendo con las regulaciones vigentes (< 1% de THC), las concentraciones óptimas fueron del 75 y 100% de las soluciones nutritivas. Se destaca la importancia del manejo nutricional en el cultivo de *Cannabis sativa* para optimizar la producción de cannabinoides y cumplir con las regulaciones, identificando concentraciones de solución nutritiva que mejoran características agronómicas y rendimiento de biomasa seca.

Contribuciones de los autores

- Michelle Arcos: conceptualización, investigación, metodología, análisis formal, , visualización, redacción - borrador original, redacción - revisión y edición.
- Yamil Cartagena: investigación, administración del proyecto, supervisión, validación, redacción - revisión y edición.
- Jorge Merino: adquisición de fondos, supervisión, validación, administración del proyecto.
- Patricio Pérez Guerrero: supervisión, validación, administración del proyecto, redacción - revisión y edición.
- Rafael Parra: validación, supervisión, investigación, curación de datos.
- Julio Moreno: curación de datos, software, visualización, redacción - revisión y edición.

Implicaciones éticas

Los autores declaran que no existen implicaciones éticas.

Conflictos de interés

Los autores declaran que no existen conflictos de interés financieros o no financieros que podrían haber influido en el trabajo presentado en este artículo.

Referencias

- Acuerdo Ministerial No. 109. Reglamento para la importación, siembra, cultivo, cosecha, post cosecha, almacenamiento, transporte, procesamiento, comercialización y exportación de cannabis no psicoactivo o cañamo y cañamo para uso industrial. Registro Oficial N° 421. 19 de octubre de 2020. <https://www.agricultura.gob.ec/wp-content/uploads/2020/10/109-2020-1.pdf>
- Acuerdo Ministerial No. 148. Reglamento para el uso terapéutico, prescripción y dispensación del cannabis medicinal y productos farmacéuticos que contienen cannabinoides. <https://faolex.fao.org/docs/pdf/ecu201556.pdf>
- Alonso Báez, M., Tijerina Chávez, L., Sánchez García, P., Martínez Garza, Á., Aceves Navarro, L. A., y Escalante Estrada, J. A. (2003). Modelo logístico: herramienta para diagnosticar el cuánto y cuándo fertirrigar. *Terra Latinoamericana*, 21(2), 225-231. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57315595009>
- Aulestia Caiza, D. C. (2022). *Caracterización nutricional, funcional y perfil de cannabinoides de la planta del cáñamo (Cannabis sativa L.), cultivar Cherry Oregon Hemp*. Universidad Central del Ecuador. <https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/6255>
- Balzarini, M. G., Gonzalez, L., Tablada, M., Casanoves, F., Di Rienzo, J. A., y Robledo, C. W. (2008). *Infostat. Manual del Usuario* (1^a ed.). Editorial Brujas.
- Bravo Avalos, M., Elizalde Marín, L., & Morales Noriega, A. (2023). El cannabis como agente terapéutico en Ecuador, repercusión económica contable. *Revista Cubana de Reumatología*, 25(2), e1127. <https://revreumatologia.sld.cu/index.php/reumatologia/article/view/1127>
- Coyne, M. S., y Thompson, J. A. (2006). *Math for Soil Scientists*. Cengage Learning.
- Delgado Cáceres, M. M. (2022). *Efecto de la tecnología de cultivo en la producción del cáñamo (Cannabis sativa L.) orientado a la producción de inflorescencias*. Universidad Politécnica de Catalunya. <http://hdl.handle.net/2117/362202>
- Díaz-Vázquez, F. A., Cabrera-De la Fuente, M., Benavides-Mendoza, A., Robledo-Torres, V., Juárez-Maldonado, A., García-León, Á., y Sandoval-Rangel, A. (2023). Influencia de cuatro concentraciones de solución Steiner sobre los nutrientes en la solución del suelo y productividad en tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Terra Latinoamericana*, 41, e1646. <https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1646>
- Garza, J. (2020). *Conozca las tres variedades de cáñamo que siembra el MAG para investigación*. La República. <https://bit.ly/4af8qfc>
- Gómez García, M. F., Chica Toro, F. de J., y Correa-Londoño, G. A. (2023). Comportamiento agronómico de seis genotipos de *Cannabis* sp. no psicoactivo bajo invernadero, en el intertropical andino alto de Colombia. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 24(1), e2698. https://doi.org/10.21930/rcta.vol24_num1_art:2698
- Lazcano-Bello, M. I., Sandoval-Castro, E., Tornero-Campante, M. A., Hernández-Hernández, B. N., Ocampo-Fletes, I., y Díaz-Ruiz, R. (2021). Evaluación de sustratos, solución nutritiva y enraizador en producción de plántulas de jitomate. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(1), 77-88. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i1.2450>
- Moreno Baque, J., Pineda Insuasti, J., Barrigas Revelo, D. A., y Pineda Soto, C. A. (2021). Producción de plantas in vitro de cáñamo (*Cannabis Sativa*): una revisión. *Revista Biorrefinería*, 4(4), 160-166. <https://www.cebaecuador.org/wp-content/uploads/2022/03/Biorrefineri%CC%81a-04-2022.pdf>
- Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito [UNODC]. (2010). *Métodos recomendados para la identificación y el análisis del cannabis y los productos del cannabis. Manual para uso de los laboratorios nacionales de estupefácientes*. Naciones Unidas. https://www.unodc.org/documents/scientific/Cannabis_manual-Sp.pdf
- SAS Institute Inc. (2015). *SAS® 9.4 Foundation and Related Software: Installation Guide for Windows*. SAS Institute Inc.
- Steiner, A. A. (1961). A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant and Soil*, 15(2), 134-154. <https://doi.org/10.1007/BF01347224>
- Steiner, A. A. (1984). The universal nutrient solution. En *Proceedings of the Sixth International Congress on Soilless Culture* (pp. 633-650). Wageningen, The Netherlands.
- Trejo-Téllez, L. I., y Gómez-Merino, F. C. (2012). Nutrient solutions for hydroponic systems. En T. Asao (ed.), *Hydroponics - A Standard Methodology for Plant Biological Researches* (pp. 1-22). InTech. <https://doi.org/10.5772/37578>

Velásquez, J., Monteros, A., y Tapia, C. (2008). *Semillas. Tecnología de producción y conservación*. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias [INIAP]. <https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/56>