

Revista Cubana de  
Ciencias Forestales

CFORES

Volumen 10, número 1; 2022

Artículo original

## Respuesta morfofisiológica de *Ochroma pyramidale* producida en viveros mediante tecnología biopot a la fertilización con N, P, K utilizando un diseño óptimo personalizado

Morpho-physiological response of *Ochroma pyramidale* produced in nurseries by biopot technology to N, P, K fertilisation using an optimal custom design

Resposta morfofisiológica da pirâmide *Ochroma pyramidale* cultivada em viveiros empregando a tecnologia de fertilização N, P, K com um projeto ideal feito sob medida

Yasiel Arteaga-Crespo<sup>1</sup>  <https://orcid.org/0000-0002-9817-9883>

Yudel García-Quintana<sup>1</sup>  <https://orcid.org/0000-0002-9107-9310>

Carlos Alfredo Bravo-Medina<sup>1</sup>  <https://orcid.org/0000-0002-8746-7900>

Diego Armando Ureta-Leones<sup>2</sup>  <https://orcid.org/0000-0003-1036-7642>

<sup>1</sup>Universidad Estatal Amazónica. Ecuador.

<sup>2</sup>Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE), Quito, Ecuador.

\*Autor para la correspondencia: yarteaga@uea.edu.ec

**Recibido:** 01/02/2022.

**Aprobado:** 10/02/2022.

### RESUMEN

*Ochroma pyramidale* es una especie de rápido crecimiento y alto valor comercial. Los mayores volúmenes de su madera se obtienen de plantaciones comerciales; sin embargo, existen muy pocos estudios sobre su producción en vivero. El objetivo de este



estudio fue analizar el efecto de la concentración de N, P, K y la frecuencia de fertilización sobre la respuesta morfofisiológica de *O. pyramidale* cultivada en tubetes utilizando la metodología de superficie de respuesta. El experimento se estableció utilizando la metodología de superficie de respuesta para lo cual se utilizaron 30 plántulas por corrida experimental. El experimento consistió en aplicar diferentes concentraciones de N, P, K y dos frecuencias de fertilización según el diseño óptimo (personalizado). Las variables de respuesta fueron el aumento de altura, el aumento de diámetro y la asimilación de CO<sub>2</sub>. A partir de los resultados obtenidos, se confirmó el efecto positivo de la fertilización con N, P y K sobre las variables en estudio. A partir de los datos experimentales se encontró un modelo polinómico cuadrático de segundo orden que permite predecir la respuesta morfofisiológica de la especie. La frecuencia de fertilización durante el intervalo de tiempo estudiado no fue significativa.

**Palabras clave:** Fertilización; Metodología de superficie de respuesta; *Ochroma pyramidale*.

---

## ABSTRACT

*Ochroma pyramidale* is a fast-growing species with high commercial value. The largest volumes of its wood are obtained from commercial plantations; however, there are very few studies of its production in nurseries. The objective of this study was analyse the effect of N, P, K concentration and fertilisation frequency on morpho-physiological response of *O. pyramidale* grown in biopots using response surface methodology. The experiment was set up using the response surface methodology for which 30 seedlings were used per experimental run. The experiment consisted of applying different concentrations of N, P, K and two fertilisation frequencies according to the optimal (Custom) design. The response variables were height increase, diameter increase and CO<sub>2</sub> assimilation. From the results obtained, we confirmed the positive effect of N, P and K fertilisation on the variables under study. From the experimental data, a second-order quadratic polynomial model was found that allows the prediction of the morpho-physiological response of the species. The frequency of fertilisation during the time interval studied was not significant.

**Keywords:** Fertilisation; Response surface methodology; *Ochroma pyramidale*.

---

## RESUMO

A *Ochroma pyramidale* é uma espécie de crescimento rápido com alto valor comercial. Os maiores volumes de sua madeira são obtidos de plantações comerciais; no entanto, há muito poucos estudos sobre sua produção em berçário. O objetivo deste estudo foi analisar o efeito da concentração de N, P, K e frequência de fertilização na resposta morfofisiológica da pirâmide de *O. pyramidale* cultivada em biopots usando a metodologia de superfície de resposta. O experimento foi implementado utilizando a metodologia da superfície de resposta, para a qual foram utilizadas 30 mudas por série experimental. A experiência consistiu na aplicação de diferentes concentrações de N, P, K e duas frequências de fertilização de acordo com o projeto ideal (Personalizado). As variáveis de resposta foram aumento da altura, aumento do diâmetro e assimilação de CO<sub>2</sub>. A partir dos resultados obtidos, o efeito positivo da fertilização N, P e K sobre as variáveis em estudo foi confirmado. A partir dos dados experimentais, foi encontrado



um modelo polinomial cuadrático de segunda ordem para prever a resposta morfofisiológica da espécie. A frequência da fertilização durante o intervalo de tempo estudado não foi significativa.

**Palavras-chave:** Fertilização; Metodologia de superfície de resposta; *Ochroma pyramidale*.

## INTRODUCCIÓN

*Ochroma pyramidale* es una especie nativa de América, que se extiende desde el sur de México hasta Perú. Es una especie de rápido crecimiento que alcanza 20 m de altura y hasta 75 cm de diámetro en 5-8 años. Dadas las propiedades físicas y mecánicas de su madera, se ha utilizado ampliamente para diferentes fines como juguetes, artesanía, chapa de madera para interiores, aislamiento y pasta de papel (Borrega *et al.*, 2015). Por ello, la madera de balsa tiene una gran demanda en el mercado internacional, principalmente en Europa, China y Estados Unidos. También se utiliza en proyectos de restauración de zonas degradadas (Miyajima *et al.*, 2018; Cañadas-López *et al.*, 2019).

En su hábitat natural, la especie se presenta como árboles individuales en los claros de los bosques tropicales y en grupos mixtos con otras especies. Rara vez crece en rodales densos (Fletcher 1951). La gran dispersión de la balsa en grandes extensiones de bosque hace que su extracción sea difícil y costosa. Por esta razón, la mayor parte de la madera utilizada comercialmente procede de plantaciones, especialmente de Ecuador (Borrega *et al.*, 2015).

A pesar de la demanda de la especie, no se ha investigado mucho sobre su manejo y producción, por lo que es necesario realizar más estudios. En este sentido, la fertilización en viveros para obtener plántulas nutridas que respondan mejor a las condiciones de campo es un tema que sigue siendo una novedad. Muchos autores sostienen que la fertilización en contenedores en la fase de vivero aumenta la supervivencia al mejorar el estado fisiológico de las plantas durante la fase de establecimiento mediante un mayor crecimiento de las raíces (Luis *et al.*, 2009; Trubat *et al.*, 2010). Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue analizar *Ochroma pyramidale* producida en viveros utilizando la tecnología de las tubetes con el fin de analizar el efecto de la concentración de N, P, K y la frecuencia de fertilización sobre la respuesta morfo-fisiológica de *O. pyramidale* cultivada en bio-macetas utilizando la metodología de superficie de respuesta (RSM).

La RSM se ha utilizado en varios ámbitos de investigación debido a las ventajas que ofrece, ya que reduce considerablemente los recorridos experimentales. Además, permite encontrar un modelo predictivo de las variables independientes a partir de los factores de estudio.



## MATERIALES Y MÉTODOS

### Ubicación del experimento

El experimento se realizó en el vivero ubicado en el campus central de la Universidad Estatal Amazónica, Puyo, Ecuador (1° 27' 59,8" S; 77° 59' 51,6" O) a una temperatura máxima y mínima promedio dentro del vivero de 28 °C y 17 °C (estación meteorológica Davis Vantage Pro 2), respectivamente.

### Material biológico y condiciones experimentales

Las semillas fueron recolectadas de árboles de *O. pyramidale* en la parroquia Arajuno, Pastaza, Ecuador (1° 13' 01,8" S; 77° 39' 08,5" W, 1° 15' 58,1" S; 77° 37' 31,4" W, 1° 16' 27,4" S; 77° 41' 20,3" W). Posteriormente, en el laboratorio, se seleccionaron las semillas según su morfología y se colocaron en un recipiente con agua para eliminar las semillas vacías. Se desinfectaron con hipoclorito de sodio al 0,5 % y se pusieron en remojo durante 24 horas como tratamiento pregerminativo. A continuación, se sembraron directamente en humus de lombriz con una composición de 2 % de nitrógeno, 0,48 % de fósforo y 1,13 % de potasio, y un pH de 7,08. Además, se añadió un 10 % (v/v) de cáscara de arroz para favorecer la aireación. La producción de plántulas se llevó a cabo en biopots negros de 110 cm<sup>3</sup>. La fertilización se inició cuando las plántulas alcanzaron los tres meses de edad (30 plántulas por serie experimental). Se utilizaron tres fertilizantes como fuente independiente de N, P y K. La fuente de nitrógeno fue la urea (46% de N), el fosfato de roca (28 % de P) y el cloruro de potasio (60 % de K) respectivamente.

### Respuesta morfofisiológica

Al cuarto mes del cultivo se evaluó la respuesta de aumento de altura (cm), diámetro (mm) y asimilación de CO<sub>2</sub> (μmol m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>). En el caso de la tasa de asimilación fotosintética (A), se midió con un sistema portátil integrado de medición de la fotosíntesis y la fluorescencia de la clorofila con control de microclima totalmente programable (iFL/Cpro-SD, ADC BioScientific Ltd., Herts, UK). Las determinaciones se realizaron entre las 8:00 h y las 11:00 h en diez plántulas, como proponen [Ávila-Lovera & Tezara \(2018\)](#) y [Ávila-Lovera et al., \(2019\)](#), en hojas maduras e intactas. Las condiciones de funcionamiento fueron CO<sub>2</sub> ambiental (~ 400 μmol mol<sup>-1</sup>) asistido por una bombona de CO<sub>2</sub> comprimido, 21 % de O<sub>2</sub>, densidad de flujo de fotones fotosintéticos 1000 μmol m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> temperatura de la hoja similar a la ambiental 25,4 ± 0,2°C y un déficit de presión de vapor de 4,36 ± 0,4 kPa.

### Diseño óptimo (personalizado)

Utilizando el software Design Expert versión 12.0 (número de serie 9847-9696-7992-6750, Stat-Ease Inc., 1300 Godward Street North, Suite 6400 Minneapolis, USA), se realizó el diseño óptimo (personalizado) (Tabla 1) con la concentración de N, P, K como factor numérico y la frecuencia de fertilización como factor categórico. El rango de concentraciones de N, P, K (75-150 mg L<sup>-1</sup>) en el experimento se seleccionó de acuerdo con los ensayos realizados por [Basave-Villalobos et al., \(2020\)](#). Se aplicó el ANOVA para analizar la influencia de la concentración de N, P, K sobre el incremento de altura, el incremento de diámetro y la asimilación de CO<sub>2</sub> de *O. pyramidale* como variables independientes (P < 0,05). La veracidad del modelo se determinó mediante el coeficiente de determinación (R<sup>2</sup>) y la significación (P) (Tabla 1).



**Tabla 1.** - Diseño óptimo (a medida) para las variables independientes (concentración de N, P, K y frecuencia de fertilización) y resultados experimentales y predichos de aumento de altura, aumento de diámetro y asimilación de CO<sub>2</sub> (CO<sub>2</sub> A.) de *Ochroma pyramidale*

Ru n	Concentrac ión N, P, K (mg L <sup>-1</sup> )	Frecuen cia	Aumento de altura (cm)		Aumento de diámetro (mm)		CO <sub>2</sub> A. (μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	
			Experimen tal	Predicció n:	Experimen tal	Predicció n:	Experimen tal	Predicció n:
1	121.88	1	2.08	1.05	1.04	1.04	9.83	9.15
2	112.50	2	1.73	0.96	0.98	0.98	8.12	8.94
3	93.75	2	1.54	0.95	0.88	0.88	8.01	7.52
4	140.01	1	3.51	1.20	1.23	1.23	11.61	11.89
5	131.25	2	2.92	1.14	1.14	1.14	10.17	11.24
6	85.88	1	1.46	0.80	0.84	0.84	5.33	6.10
7	75.00	1	1.04	0.83	0.82	0.82	5.48	5.80
8	75.00	2	1.50	0.85	0.85	0.85	7.97	6.96
9	104.63	1	2.01	0.94	0.92	0.92	8.71	7.29
10	150.00	2	4.58	1.33	1.35	1.35	14.64	14.4
11	112.50	2	1.87	0.94	0.98	0.98	9.04	8.94
12	140.01	1	4.00	1.20	1.23	1.23	11.45	11.89
13	140.01	1	4.16	1.29	1.23	1.23	11.61	11.89
14	75.00	2	1.09	0.83	0.85	0.85	6.21	6.96
15	150.00	2	4.56	1.39	1.35	1.35	15.19	14.40

## RESULTADOS

Para analizar el efecto de la concentración de N, P, K y la frecuencia de fertilización sobre el incremento de altura, el incremento de diámetro y la asimilación de CO<sub>2</sub> de *O. pyramidale* cultivada en biopots, se realizaron catorce corridas experimentales, partiendo del diseño óptimo (a medida), que permite el mayor incremento de las variables consideradas. La tabla 1 muestra los resultados experimentales y los previstos para la construcción del modelo. Los incrementos en altura estuvieron entre 1,32 y 4,53cm y en diámetro entre 0,8 y 1,29mm respectivamente. En cuanto a las tasas de asimilación, las especies presentaron valores mínimos de 5,31μmol m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> y máximos de 15,21μmol m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>. De los modelos predeterminados por el diseño (Tabla 2), se encontró que el mejor ajuste para todas las variables fue el modelo cuadrático con un R<sup>2</sup>= 0,9257 (aumento de altura), R<sup>2</sup>= 0,9413 (aumento de diámetro) y 0,9361 (asimilación de CO<sub>2</sub>). Estos resultados indican que el 92,5 %, el 94,1 % y el 93,6 % de la variación total de las variables estuvo determinada por la concentración de N, P, K aplicada (Tabla 2).

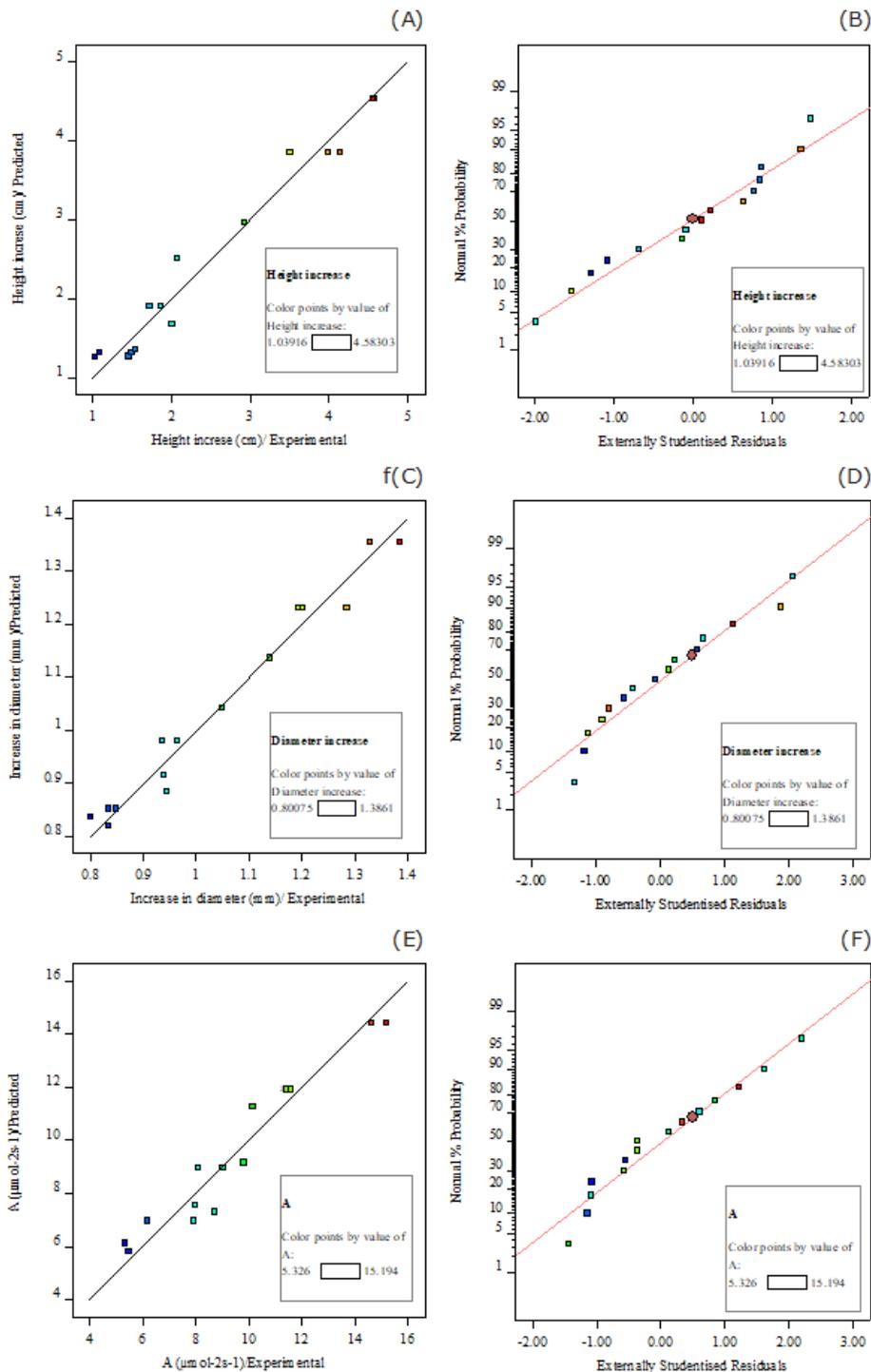


**Tabla 2.** - Resumen de los modelos polinómicos analizados por el programa informático Design Expert sobre el efecto de la concentración de N, P y K y la frecuencia de fertilización sobre el aumento de la altura, el aumento del diámetro y la asimilación de CO<sub>2</sub> de *Ochroma pyramidale* cultivada en biopot

<b>Aumento de altura (cm)</b>	Valor P secuencial	Falta de ajuste Valor P	R <sup>2</sup> ajustado	R <sup>2</sup> previsto	
<b>Lineal</b>	< 0.0001	0.0313	0.8455	0.7996	
<b>2FI</b>	0.954	0.0236	0.8316	0.7676	
<b>Cuadrático</b>	<b>0.0003</b>	<b>0.3604</b>	<b>0.9537</b>	<b>0.9257</b>	<b>Sugerido</b>
<b>Cúbico</b>	0.2909	0.3789	0.9575	0.9103	
<b>Cuártica</b>	0.3796	0.2927	0.959	0.7069	
<b>Quinto</b>	0.2927		0.9614		Aliado
<b>Aumento de diámetro (mm)</b>	Valor P secuencial	Falta de ajuste Valor P	R <sup>2</sup> ajustado	R <sup>2</sup> previsto	
<b>Lineal</b>	< 0.0001	0.0705	0.8958	0.862	
<b>2FI</b>	0.9455	0.0541	0.8864	0.8264	
<b>Cuadrático</b>	<b>0.0008</b>	<b>0.4648</b>	<b>0.9611</b>	<b>0.9413</b>	<b>Sugerido</b>
<b>Cúbico</b>	0.8594	0.2849	0.9532	0.8808	
<b>Cuártica</b>	0.4235	0.1716	0.9531	0.5099	
<b>Quinto</b>	0.1716		0.9627		Aliado
<b>Asimilación (μmol m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>)</b>	Valor P secuencial	Falta de ajuste Valor P	R <sup>2</sup> ajustado	R <sup>2</sup> previsto	
<b>Lineal</b>	< 0.0001	0.0693	0.8636	0.8157	
<b>2FI</b>	0.972	0.0531	0.8512	0.7788	
<b>Cuadrático</b>	<b>0.0163</b>	<b>0.1504</b>	<b>0.9106</b>	<b>0.8554</b>	<b>Sugerido</b>
<b>Cúbico</b>	0.0881	0.2841	0.9391	0.7907	
<b>Cuártica</b>	0.2752	0.2692	0.9472	0.5753	
<b>Quinto</b>	0.2692		0.9516		Aliado

La figura 1 (A, C y E) muestra los valores predichos y experimentales 120 días después de la germinación para el aumento de altura, el aumento de diámetro y la asimilación de CO<sub>2</sub> de *O. pyramidale* cultivada en biopots. La distribución de los puntos corroboró la capacidad del modelo para cubrir todo el rango experimental. Los valores de R<sup>2</sup> y R<sup>2</sup> ajustado de las líneas de regresión son cercanos a uno, lo que indica una muy buena correspondencia entre los valores experimentales y los predichos por el modelo sobre los datos experimentales. La figura 1 (B, D y F) muestra que los datos experimentales cumplen la hipótesis de la distribución normal (Figura 1).





**Figura 1.** - Valores experimentales frente a los predichos para el diseño óptimo (personalizado): (A) aumento de la altura; (C) aumento del diámetro; (E) asimilación de CO<sub>2</sub>; (B, D y F) distribución normal de los datos experimentales



Asimismo, según los resultados de la Tabla 3, se confirmó que la concentración de N, P, K fue un factor significativo ( $P < 0,05$ ) en la respuesta morfofisiológica de la especie para las tres variables de respuesta, mientras que la frecuencia de fertilización para el periodo evaluado no fue significativa ( $P > 0,05$ ).

**Tabla 3.** - ANOVA para el modelo cuadrático de superficie de respuesta

Aumento de altura (cm)	Suma de cuadrados	df	Cuadrado medio	F-valor	P-valor	
<b>Cuadrático</b>	0.523	4	0.1307	87.51	<	significativo 0.0001
<b>A-Concentración</b>	0.5	1	0.4995	334.58	<	<b>0.0001</b>
<b>B-Frecuencia</b>	0.001	1	0.0006	0.3939	0.5443	
<b>AB</b>	0.001	1	0.0007	0.4586	0.5136	
<b>A<sup>2</sup></b>	0.033	1	0.033	22.13	0.0008	
<b>Residual</b>	0.015	10	0.0015			
<b>Falta de ajuste</b>	0.008	5	0.0016	1.09	0.4648	no significativo
<b>Error puro</b>	0.007	5	0.0014			
<b>Total corregido</b>	0.538	14				
Aumento de diámetro (mm)	Suma de cuadrados	df	Cuadrado medio	F-valor	P-valor	
<b>Quadratic</b>	22.524	4	5.631	73.073	2.31E-07	Significativo
<b>A-Concentración</b>	20.945	1	20.945	271.795	<b>1.41E-08</b>	
<b>B-Frecuencia</b>	0.04	1	0.04	0.519	4.88E-01	
<b>AB</b>	0.045	1	0.045	0.581	4.64E-01	
<b>A<sup>2</sup></b>	2.313	1	2.313	30.009	2.70E-04	
<b>Residual</b>	0.771	10	0.077			
<b>Falta de ajuste</b>	0.45	5	0.09	1.400	3.60E-01	no significativo
<b>Error puro</b>	0.321	5	0.064			
<b>Total corregido</b>	23.295	14				
Asimilación ( $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )	Suma de cuadrados	df	Cuadrado medio	F-valor	P-valor	
<b>Cuadrático</b>	115.83	4	28.96	36.64	<	Significativo 0.0001



<b>A-Concentración</b>	108.83	1	108.83	137.69	<	<b>0.0001</b>
<b>B-Frecuencia</b>	2.95	1	2.95	3.73	0.0823	
<b>AB</b>	0.119	1	0.119	0.1506	0.7061	
<b>A<sup>2</sup></b>	6.56	1	6.56	8.3	0.0163	
<b>Residual</b>	7.9	10	0.7904			
<b>Falta de ajuste</b>	5.76	5	1.15	2.69	0.1504	no significativo
<b>Error puro</b>	2.14	5	0.428			
<b>Total corregido</b>	123.73	14				

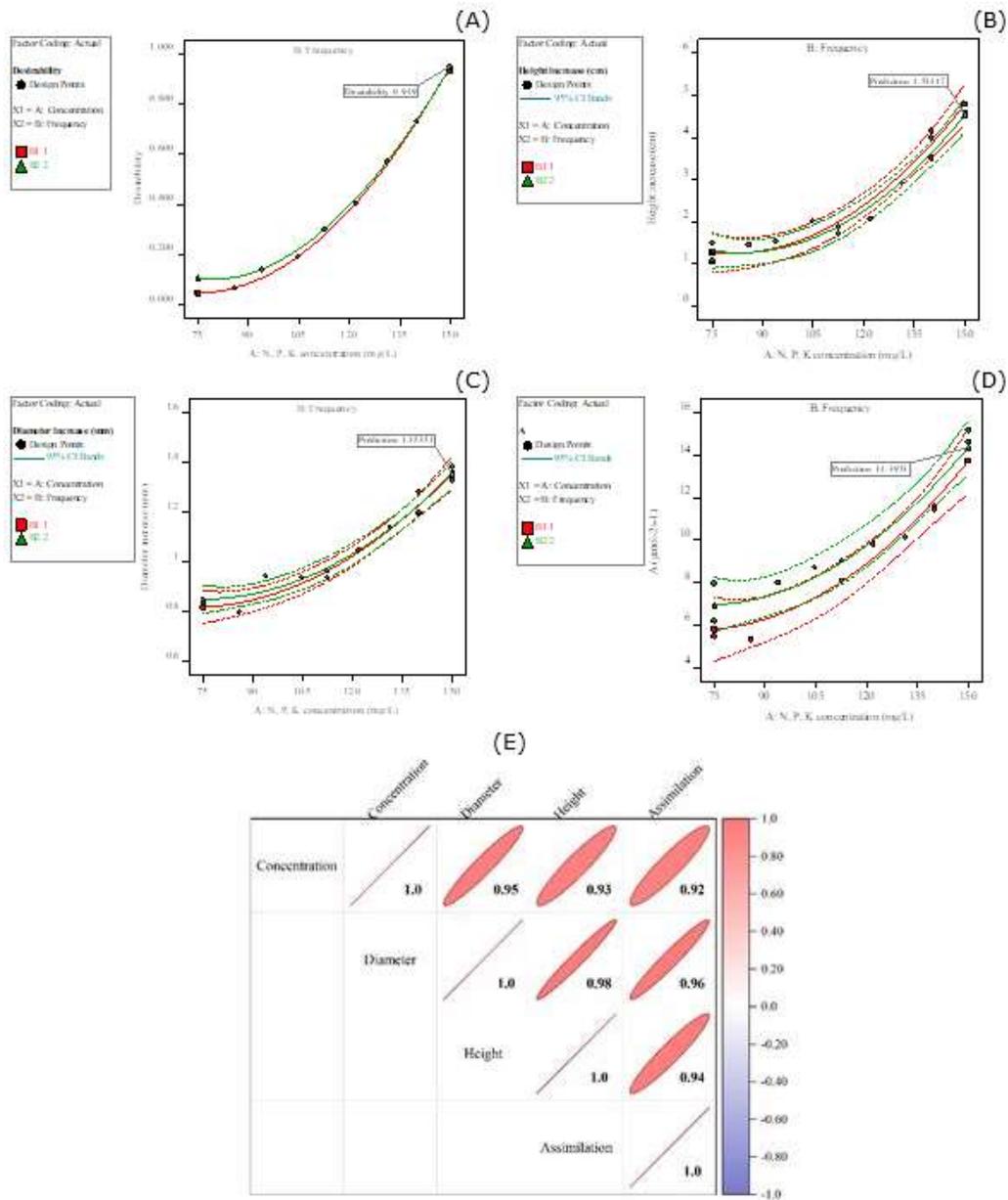
Basándose en el aumento de altura, el aumento de diámetro, la asimilación de CO<sub>2</sub> de *O. pyramidale* y la función de deseabilidad, se estableció una ecuación de regresión polinómica cuadrática de segundo orden en términos de valores codificados (Ecuación 1, Ecuación 2 y Ecuación 3 a continuación). Según este modelo, se puede predecir la relación de dependencia para cada variable de estudio y las concentraciones de N, P, K aplicadas. Las representaciones gráficas de las ecuaciones de regresión se muestran en la Figura 2 (B, C y D). La significación estadística de las ecuaciones de regresión relativas al modelo polinómico se comprobó mediante la prueba F y el ANOVA (Tabla 3) y (Figura 2). (Ecuación 1); (Ecuación 2) y (Ecuación 3).

$$\text{Aumento de altura} = 1.95 + 1.69A - 0.0523B - 0.078AB + 1.03A^2 \quad (1)$$

$$\text{Aumento de diámetro} = 0.9732 + 0.2606A - 0.0063B - 0.0096AB + 0.1230A^2 \quad (2)$$

$$\text{Asimilación de CO}_2 = 8.49 + 3.85A - 0.4490B - 0.1272AB + 1.73A^2 \quad (3)$$





**Figura 2.** - Gráfico del modelo para el diseño óptimo (personalizado): (A) deseabilidad; (B) aumento de altura; (C) aumento de diámetro; (D) asimilación de CO<sub>2</sub>; (E) correlación entre la concentración de N, P, K y las variables de respuesta



## DISCUSIÓN

Las prácticas de fertilización cultural en el vivero son importantes en el cultivo de plántulas en contenedor. Estas prácticas tienen una fuerte influencia en el desarrollo morfológico y los niveles de nutrientes de las plántulas (Villar-Salvador *et al.*, 2009). Los resultados obtenidos en nuestra investigación muestran que con mayores concentraciones de N, P y K se favoreció la producción de biomasa. Esto se reflejó en los incrementos de altura y diámetro como consecuencia de una mayor asimilación de CO<sub>2</sub>, dada la alta correlación encontrada entre las variables (Figura 3E).

El efecto positivo de la fertilización con N, P y K ha sido estudiado por varios autores. Por ejemplo, Hawkins *et al.*, (2005) informaron de que la aplicación de nutrientes a las plántulas de *Tsuga heterophylla* (Raf.) Sarg. mejoraba el crecimiento. Otros autores afirmaron que el nitrógeno, el fósforo y el potasio son los tres macronutrientes principales que favorecen la tasa fotosintética, el crecimiento de las raíces y el uso eficiente del agua, respectivamente (Fernández *et al.*, 2006). Oliet *et al.*, (2005) afirmaron que los regímenes culturales en la fase de vivero influyen en la calidad de las plantas. Examinaron la influencia de la nutrición mineral en la etapa de vivero en *Acacia salicina* Lindl. que fue plantada en un sitio degradado en el sureste de España. Comprobaron que la supervivencia era significativamente mayor en las plántulas fertilizadas a altas tasas y que los beneficios iniciales para el crecimiento en el campo asociados a la fertilización en vivero disminuían después de cuatro años. La supervivencia de las plántulas nutridas fue significativamente mayor que la de las no nutridas después de una sequía prolongada a partir del sexto año. Los resultados sugieren que el estado de nutrientes minerales del material de vivero (especialmente el alto contenido de P) puede afectar positivamente al establecimiento a largo plazo de las plántulas de *A. salicina* en climas mediterráneos semiáridos.

También se ha encontrado que la fertilización de plántulas de *Quercus ilex* en viveros influye en la morfofisiología y el rendimiento en el campo (Andivia *et al.*, 2011). La fertilización de *Pinus tabulaeformis* Carr. en viveros también indicó efectos positivos en el crecimiento de las plántulas (Shi *et al.*, 2019). En una investigación sobre sustratos y dosis de fertilizantes alternativos en la producción de *Pinus cembroides* Zucc. en viveros, los autores concluyeron que el uso de una mayor dosis de fertilizante, independientemente de los sustratos utilizados, promovía mayores respuestas de crecimiento de las plantas (Madrid-Aispuro *et al.*, 2020). En otro experimento para analizar la influencia de la fertilización mineral en diferentes medios de cultivo sobre el crecimiento de plántulas de *Inga edulis* Mart, también se demostró el efecto positivo de la fertilización (Mahmoud y Hussein 2021).

En un estudio sobre el contenido de nutrientes y la fotosíntesis en plantas jóvenes de *O. pyramidale* realizado en la Amazonía central brasileña, se encontró que, con niveles foliares adecuados de nitrógeno y fósforo, la tasa de asimilación de CO<sub>2</sub> fue de 13 μmol m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> (Marenco *et al.*, 2001). Los valores encontrados en nuestra investigación para la mayor dosis de N, P, K utilizada coinciden con los reportados por estos autores y corroboran la respuesta fisiológica de la especie a la fertilización.



## CONCLUSIONES

Utilizando la metodología de superficie de respuesta, se encontró una relación polinómica cuadrática de segundo orden entre las variables independientes (concentración de N, P, K y frecuencia de fertilización) y las variables dependientes (aumento de altura, aumento de diámetro y asimilación de dióxido de carbono). En el intervalo estudiado, la frecuencia de fertilización no fue significativa, por lo que es mejor utilizar una única dosis inicial. La mayor concentración de nutrientes aplicada influyó en el aumento de altura y diámetro, así como en la mayor tasa de asimilación de CO<sub>2</sub>.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDIVIA, E., FERNÁNDEZ, M., AND VÁZQUEZ-PIQUÉ, J. 2011. Autumn fertilization of *Quercus ilex* ssp. *ballota* (Desf.) Samp. nursery seedlings: Effects on morpho-physiology and field performance. *Ann. For. Sci.* [en línea] vol. 68 no 3: 543-553. doi:10.1007/S13595-011-0048-4.
- BORREGA, M., AHVENAINEN, P., SERIMAA, R., y GIBSON, L. 2015. Composition and structure of balsa (*Ochroma pyramidale*) wood. *Wood Sci. Technol.* [en línea] vol. 49 no.2: pp. 403-420. doi:10.1007/s00226-015-0700-5.
- CAÑADAS-LÓPEZ, Á., RADE-LOOR, D., SIEGMUND-SCHULTZE, M., MOREIRA-MUÑOZ, G., VARGAS-HERNÁNDEZ, J.J., y WEHENKEL, C. 2019. Growth and yield models for balsa wood plantations in the coastal lowlands of Ecuador. *Forests* [en línea] vol. 10 no. 9. doi:10.3390/f10090733.
- FERNÁNDEZ, M., NOVILLO, C., AND PARDOS, J.A. 2006. Effects of water and nutrient availability in *Pinus pinaster* Ait. open pollinated families at an early age: Growth, gas exchange and water relations. *New For.* [en línea] vol. 31 no. 3: pp. 321-342. doi:10.1007/s11056-005-8196-8.
- FLETCHER, M.I. 1951. Balsa Production and utilization. *Econ. Bot.* [en línea] vol. 5, no. 2. pp. 107-125. doi:10.1007/BF02984770.
- HAWKINS, B.J., BURGESS, D., y MITCHELL, A.K. 2005. Growth and nutrient dynamics of western hemlock with conventional or exponential greenhouse fertilization and planting in different fertility conditions. *Can. J. For. Res.* [en línea] vol. 35 no. 4: pp.1002-1016. doi:10.1139/x05-026.
- LUIS, V.C., PUÉRTOLAS, J., CLIMENT, J., PETERS, J., GONZÁLEZ-RODRÍGUEZ, Á.M., MORALES, D., ANDy JIMÉNEZ, M.S. 2009. Nursery fertilization enhances survival and physiological status in Canary Island pine (*Pinus canariensis*) seedlings planted in a semiarid environment. *Eur. J. For. Res.* [en línea] vol. 28 no. 3: pp. 221-229. doi:10.1007/s10342-009-0257-7.
- MADRID-AISPURO, R.E., PRIETO-RUÍZ, J.Á., ALDRETE, A., HERNÁNDEZ-DÍAZ, J.C., WEHENKEL, C., CHÁVEZ-SIMENTAL, J.A., AND MEXAL, J.G. 2020. Alternative substrates and fertilization doses in the production of *Pinus cembroides* Zucc. in nursery. *Forests* [en línea] vol. 11 no. 1. doi:10.3390/f11010071.



- MAHMOUD, A.M.M., AND HUSSEIN, N.R. 2021. Influence of mineral fertilization and different growing media on the growth and chemical composition of *Inga edulis* Mart. tree seedling. *svuijas.journals.ekb.eg* [en línea] vol. 3 no. 3: pp. 16-29. doi:10.21608/SVUIJAS.2021.68858.1094.
- MARENCO, R.A., DE, J.F., y VIEIRA, G. 2001. Photosynthesis and leaf nutrient contents in *Ochroma pyramidale* (Bombacaceae). *Photosynthetica* [en línea] vol. 39 no. 4: pp. 539-543. doi:10.1023/A:1015699927924.
- MIYAJIMA, R., VITÓRIA CASTRO SANTOS BARRETO, PAULO ANDRÉ DE OLIVEIRA, GISLAINE CRISTINA BATISTELA, AND DANILO SIMÕES. 2018. Risk Analysis of the Economic Benefits of *Ochroma pyramidale*: A Case Study of Forest Planting in Brazil. *J. Agric. Sci. Technol. B* [en línea] vol. 8, no. 7. doi:10.17265/2161-6264/2018.07.004.
- OLIET, J.A., PLANELLES, R., ARTERO, F., AND JACOBS, D.F. 2005. Nursery fertilization and tree shelters affect long-term field response of *Acacia salicina* Lindl. planted in Mediterranean semiarid conditions. *For. Ecol. Manage.* [en línea] vol. 215 no. 13. pp. 339-351. doi:10.1016/j.foreco.2005.05.024.
- SHI, W., GROSSNICKLE, S.C., LI, G., SU, S., y LIU, Y. 2019. Fertilization and irrigation regimes influence on seedling attributes and field performance of *Pinus tabuliformis* Carr. *Forestry* [en línea] vol. 92 no. 1: pp. 97-107. doi:10.1093/forestry/cpy035.
- TRUBAT, R., CORTINA, J., AND VILAGROSA, A. 2010. Nursery fertilization affects seedling traits but not field performance in *Quercus suber* L. *J. Arid Environ.* [en línea] vol. 74 no. 4: pp. 491-497. doi:10.1016/j.jaridenv.2009.10.007.
- VILLAR-SALVADOR, P., PUÉRTOLAS, J., y PEÑUELAS, J.L. 2009. Assessing Morphological and Physiological Plant Quality for Mediterranean Woodland Restoration Projects. *L. Restor. to Combat Desertif. Innov. Approaches, Qual. Control Proj. Eval.* [en línea] (Burdett 1990): pp. 103-120. Available from: [http://www.research.lancs.ac.uk/portal/en/publications/assessing-morphological-and-physiological-plant-quality-for-mediterranean-woodland-restoration-projects\(3769e750-2995-43ac-a859-dc65fc4b0041\).html](http://www.research.lancs.ac.uk/portal/en/publications/assessing-morphological-and-physiological-plant-quality-for-mediterranean-woodland-restoration-projects(3769e750-2995-43ac-a859-dc65fc4b0041).html)

**Conflictos de intereses:**

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

**Contribución de los autores:**

Los autores han participado en la redacción del trabajo y análisis de los documentos.



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional. Copyright (c) Yasiel Arteaga-Crespo, Yudel García-Quintana, Carlos Alfredo Bravo-Medina, Diego Armando Ureta-Leones

