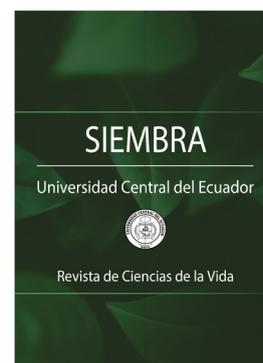


# Determinación de la dosis óptima de N, P y K en el cultivo de brócoli híbrido Avenger (*Brassica oleracea itálica*) en Ecuador

## Determination of the optimal dose of N, P, and K in the cultivation of Avenger hybrid broccoli (*Brassica oleracea italica*) in Ecuador

Gloria Anabel Cornejo Calvachi<sup>1</sup>, Yamil Everaldo Cartagena Ayala<sup>2</sup>, Rafael Parra<sup>3</sup>, Galo Hernán Puetate Huera<sup>4</sup>, Francisco Hernán Chancusig<sup>5</sup>, Wilman Paolo Chasi Vizúete<sup>6</sup>



Siembra 11 (2) (2024): e6658

Recibido: 31/03/2024 / Revisado: 27/06/2024 / Aceptado: 11/07/2024

<sup>1</sup> Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Facultad de Ciencias Agrícolas y Ambientales. C.P. 100112. Ibarra, Imbabura, Ecuador.

✉ gacornejo@pucesi.edu.ec

🔗 <https://orcid.org/0009-0001-3903-6751>

<sup>2</sup> Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias INIAP. Estación Experimental Santa Catalina. Departamento de Manejo de Suelos y Aguas. Panamericana Sur Km. C.P. 170518. Mejía, Pichincha, Ecuador.

✉ yamil.cartagena@iniap.gob.ec

🔗 <https://orcid.org/0000-0003-2447-2769>

<sup>3</sup> Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias INIAP. Estación Experimental Santa Catalina. Departamento de Manejo de Suelos y Aguas. Panamericana Sur Km. C.P. 170518. Mejía, Pichincha, Ecuador.

✉ rafael.parra@iniap.gob.ec

🔗 <https://orcid.org/0009-0005-7633-6744>

<sup>4</sup> Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Escuela de Informática e Inteligencia Artificial. C.P. 100112. Ibarra, Imbabura, Ecuador.

✉ gpuetate@pucesi.edu.ec

🔗 <https://orcid.org/0009-0000-4986-9477>

<sup>5</sup> Universidad Técnica de Cotopaxi. Facultad de Ciencias Agrícolas. C.P. 050102. Latacunga, Cotopaxi, Ecuador.

✉ francisco.chancusig@utc.edu.ec

🔗 <https://orcid.org/0000-0003-0243-6599>

<sup>6</sup> Universidad Técnica de Cotopaxi. Facultad de Ciencias Agrícolas. C.P. 050102. Latacunga, Cotopaxi, Ecuador.

✉ wilman.chasi@utc.edu.ec

🔗 <https://orcid.org/0000-0002-1656-2353>

\*Autor de correspondencia:

gacornejo@pucesi.edu.ec

### Resumen

El brócoli es un cultivo no tradicional de exportación para Ecuador. Este estudio utilizó la metodología de superficie de respuesta para optimizar la fertilización de brócoli híbrido Avenger. La investigación se llevó a cabo en la hacienda Las Mercedes, provincia de Cotopaxi, Ecuador, a una altitud de 2.913 m s. n. m. Se evaluó la respuesta del brócoli a diferentes dosis de N-P-K (nitrógeno, fósforo y potasio) con cinco niveles de dosis crecientes desde 0 a 300 kg ha<sup>-1</sup> de N, 0 a 70 kg ha<sup>-1</sup> de P y 0 a 180 kg ha<sup>-1</sup> de K, y un tratamiento sin fertilización. El diseño experimental fue un compuesto central rotatable (DCCR) 3K+1 con cuatro repeticiones. Las variables evaluadas incluyeron la altura de la planta, compactación, diámetro ecuatorial y rendimiento de la pella. Los resultados mostraron que: i) la más grande altura de la planta (59,90 cm) se obtuvo con T13 (150 kg ha<sup>-1</sup> N, 70 kg ha<sup>-1</sup> P, 90 kg ha<sup>-1</sup> K); ii) la mayor compactación de la pella (1,12 kg cm<sup>-2</sup>) se encontró con T11 (300 kg ha<sup>-1</sup> N, 35 kg ha<sup>-1</sup> P, 90 kg ha<sup>-1</sup> K); iii) el mejor diámetro ecuatorial (197,80 mm) y rendimiento (25,25 t ha<sup>-1</sup>) se lograron con T8 (239 kg ha<sup>-1</sup> N, 56 kg ha<sup>-1</sup> P, 144 kg ha<sup>-1</sup> K); y iv) el modelo de superficie de respuesta sugirió una dosis óptima de 178 kg ha<sup>-1</sup> N, 70 kg ha<sup>-1</sup> P y 25 kg ha<sup>-1</sup> K para un rendimiento de 26,5 t ha<sup>-1</sup>. En conclusión, el modelo ajusta de manera aceptable el rendimiento del cultivo.

**Palabras clave:** superficie de respuesta, rendimiento, nitrógeno, fósforo, potasio.

### Abstract

Broccoli is a non-traditional export crop for Ecuador. This study used the response surface methodology to optimize the fertilization of hybrid broccoli, Avenger. The research was conducted at Hacienda Las Mercedes, Cotopaxi province, Ecuador, at 2,913 meters above sea level. We evaluated the response of broccoli to different doses of N-P-K (Nitrogen, Phosphorus, and Potassium), with five levels ranging from 0 to 300 kg ha<sup>-1</sup> of N, 0 to 70 kg ha<sup>-1</sup> of P, and 0 to 180 kg ha<sup>-1</sup> of K, along with one treatment without fertilization. The experimental design was a Central Composite Rotatable Design (CCRD) 3K+1 with four replicates. The variables evaluated included plant height, compactness, equatorial diameter, and head yield. The results showed that: i) the greatest plant height

SIEMBRA

<https://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/SIEMBRA>

ISSN-e: 2477-8850

Periodicidad: semestral

vol. 11, núm 2, 2024

siembra.fag@uce.edu.ec

DOI: <https://doi.org/10.29166/siembra.v11i2.6658>



Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons Atribución-NoComercial

(59.90 cm) was obtained with T13 (150 kg ha<sup>-1</sup> N, 70 kg ha<sup>-1</sup> P, 90 kg ha<sup>-1</sup> K); ii) the highest head compactness (1.12 kg cm<sup>-2</sup>) was found with T11 (300 kg ha<sup>-1</sup> N, 35 kg ha<sup>-1</sup> P, 90 kg ha<sup>-1</sup> K); iii) the best equatorial diameter (197.80 mm) and yield (25.25 t ha<sup>-1</sup>) were achieved with T8 (239 kg ha<sup>-1</sup> N, 56 kg ha<sup>-1</sup> P, 144 kg ha<sup>-1</sup> K); and iv) the response surface model suggested an optimal dose of 178 kg ha<sup>-1</sup> N, 70 kg ha<sup>-1</sup> P, and 25 kg ha<sup>-1</sup> K for a yield of 26.5 t ha<sup>-1</sup>. We can conclude that the model adequately fits the crop yield.

**Keywords:** response surface, yield, nitrogen, phosphorus, potassium.

## 1. Introducción

El brócoli (*Brassica oleracea itálica*) se ha consolidado como uno de los principales productos de exportación no tradicionales a nivel global (Raya-Montaño et al., 2018). En 2021, la producción mundial alcanzó 26 millones de toneladas, con China e India liderando este cultivo (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2021). En el comercio internacional agrícola, el brócoli ocupa una posición destacada, representando el 2 % de las exportaciones agropecuarias y abarcando el 3 % de la superficie de cultivos transitorios de la región Sierra (Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG], 2022a). Según la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua [ESPAC] (MAG, 2022b), el rendimiento promedio nacional es de 19,24 t ha<sup>-1</sup> con 8.725 ha cosechadas, resultando en una producción total de 135.259 t, con Cotopaxi liderando la producción (7.697 ha), seguida por Chimborazo (465 ha), Tungurahua (445 ha) y Pichincha (119 ha) (Carrillo-Riofrío y Minga-León, 2020).

La creciente demanda de brócoli en Japón, Estados Unidos y la Unión Europea se debe a la preferencia por comidas ligeras, de rápida preparación y dietas más nutritivas enfocadas en la salud y la prevención de enfermedades (Moreno et al., 2006; Vélez Duque y Álava Murillo, 2021). Reconocido por su alto contenido nutricional y propiedades antioxidantes y anticancerígenas, el brócoli está destinado a desempeñar un papel fundamental en futuras investigaciones, especialmente en la creación de medicamentos farmacéuticos y nutraceuticos (Nagraj et al., 2020). Este panorama anticipa un futuro prometedor para el brócoli, no solo como alimento saludable, sino también como recurso valioso en la búsqueda de soluciones para la salud humana (Moreno et al., 2006; Vélez Duque y Álava Murillo, 2021).

La optimización del rendimiento y la calidad del brócoli está limitada por la provisión adecuada de nutrientes minerales (Yildirim et al., 2011). La fertilización es fundamental en la producción, representando entre el 20 % y 30 % de los costos de producción. Sin embargo, el uso excesivo de fertilizantes inorgánicos y los problemas de salinidad plantean desafíos significativos para la fertilidad del suelo, afectando la producción agrícola y generando impactos ambientales y de salud (Carrillo-Riofrío y Minga-León, 2020; Jiménez Villalva y Osorio Bautista, 2019; Mejía Sánchez, 2022). Por lo tanto, es crucial encontrar un equilibrio entre la dosis y el costo de los fertilizantes para garantizar una nutrición adecuada sin comprometer la viabilidad económica del sector, lo cual se puede lograr mediante técnicas de fertilización precisas y adaptadas a las necesidades específicas y condiciones locales (Román Llamuca, 2022).

En el contexto de la fertilización, el nitrógeno se identifica como el elemento más limitante para el rendimiento, con dosis recomendadas que varían entre 150 y 320 kg ha<sup>-1</sup> (Cartagena Ayala, 2014; Pantoja, 2006; Puenayan et al., 2008; Román Llamuca, 2022). La aplicación de fósforo, en cantidades de 100 a 200 kg ha<sup>-1</sup>, es esencial para evitar la aparición de tonos púrpura en las hojas más viejas (Pantoja, 2006; Puenayan et al., 2008; Román Llamuca, 2022). Además, el potasio, administrado en dosis de 100 a 300 kg ha<sup>-1</sup>, incrementa la actividad fotosintética y mejora la calidad de la pella (Reyes Matamoros et al., 2001; Vidal-Martínez et al., 2006).

El objetivo de esta investigación es determinar la dosis óptima de fertilización utilizando la metodología de superficie de respuesta, ajustada a los requisitos específicos del cultivo de brócoli, para proporcionar una recomendación de fertilización eficaz, eficiente y sostenible.

## 2. Materiales y Métodos

La investigación se llevó a cabo en condiciones de campo en la hacienda Las Mercedes, ubicada en la parroquia Joseguango Bajo, cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi. Este lugar se encuentra a una altitud de 2.913 m s.n.m., y en las coordenadas geográficas de latitud sur 00° 48' 51" y longitud oeste 78° 36' 25".

El suelo del área experimental presentó una textura franco arenosa, con un contenido de 27,5 mg kg<sup>-1</sup> de N-NO<sub>3</sub>, 1,8 mg kg<sup>-1</sup> de P, 73,5 mg kg<sup>-1</sup> de K, 4,7 % de materia orgánica y un pH de 7,2. Se utilizaron plántulas de brócoli (*Brassica oleracea* var. itálica), híbrido Avenger, en un estado vegetativo de tres hojas (20 días) y un tamaño de 5 a 8 cm. El trasplante se realizó con una distancia entre surcos de 0,8 m y entre plantas de 0,25 m, lo que resultó en una densidad de población de 52.000 plantas ha<sup>-1</sup>. Cada unidad experimental tuvo una superficie de 46,65 m<sup>2</sup> (4,8 m de ancho por 7,92 m de largo), con 6 surcos.

Los factores en estudio fueron nitrógeno [N], fósforo [P] y potasio [K], aplicados en cinco niveles diferentes. Las dosis variaron desde 0 hasta 300 kg ha<sup>-1</sup> para N, de 0 a 70 kg ha<sup>-1</sup> para P, y de 0 a 180 kg ha<sup>-1</sup> para K (Tabla 1).

**Tabla 1.** Niveles de N, P y K de un diseño compuesto central rotatable.

**Table 1.** Levels of macroelements (N, P and K) in a Central Composite Rotatable Design [CCRD].

Niveles	Nivel codificado			Niveles reales (kg ha <sup>-1</sup> )		
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	N	P	K
1	-α	α	-α	0	0	0
2	-1	1	-1	61	14	36
3	0	0	0	150	35	90
4	1	1	1	239	56	144
5	α	α	α	300	70	180

α = 1,68.

Se obtuvieron 16 tratamientos a partir de la combinación de diferentes niveles de N, P y K. Estos tratamientos se diseñaron utilizando un diseño compuesto central rotatable [DCCR] de la forma 3K+1, donde “K” representa el número de factores. Cada tratamiento se replicó cuatro veces (Tabla 2).

**Tabla 2.** Tratamientos de un diseño compuesto central rotatable.

**Table 2.** Treatments to determine the optimal nutritional balance of a Central Composite Rotatable Design [CCRD].

Tratamientos	Nivel codificado			Niveles reales (kg ha <sup>-1</sup> )		
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	N	P	K
T1	-1	-1	-1	61	14	36
T2	-1	-1	1	61	14	144
T3	-1	1	-1	61	56	36
T4	-1	1	1	61	56	144
T5	1	-1	-1	239	14	36
T6	1	-1	1	239	14	144
T7	1	1	-1	239	56	36
T8	1	1	1	239	56	144
T9*	0	0	0	150	35	90
T10	-1,68	0	0	0	35	90
T11	1,68	0	0	300	35	90
T12	0	-1,68	0	150	0	90
T13	0	1,68	0	150	70	90
T14	0	0	-1,68	150	35	0
T15	0	0	1,68	150	35	180
T16**	0	0	0	0	0	0

\*Testigo agricultor: Fertilización hacienda Las Mercedes. / Farmer witness: Fertilization at Las Mercedes farm.

\*\*Testigo absoluto: Sin fertilización. / Absolute witness: No fertilization.

Se incluyeron dos tratamientos testigo en el estudio: \*) el testigo del agricultor, que corresponde al régimen de fertilización utilizado por la hacienda Las Mercedes, y \*\*) el testigo absoluto, que representa la ausencia total de aplicación de fertilizantes.

La fertilización química se aplicó en tres etapas. La primera se realizó al momento del trasplante, aplicando el 33 % del N, el 100 % del P y el 50 % del K. La segunda etapa se efectuó a los 30 días después del trasplante [ddt], aplicando otro 33 % del N y el 50 % restante del K. La tercera y última etapa tuvo lugar a los 51 días después del trasplante, aplicando el 33 % final del nitrógeno.

Las fuentes de fertilizantes utilizadas fueron urea advance (46 % N), superfosfato triple (46 % P<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), muriato de potasio (60 % K<sub>2</sub>O), sulfato de magnesio (27 % MgO, 20 % S) y calcimed (30 % CaO, 17 % S). La aplicación se realizó de manera manual.

Se empleó un diseño compuesto central rotatable [DCCR] de la forma 3K+1, con cuatro repeticiones, para evaluar la respuesta del brócoli a diferentes dosis de N, P y K. Este diseño permitió analizar las interacciones entre los factores y ajustar un modelo de superficie de respuesta que describe la relación entre las dosis de fertilizantes y las variables de respuesta evaluadas.

Las variables evaluadas incluyeron:

- i) Altura de planta: Medida en las fases fenológicas V3 (30 ddt), V10 (45 ddt), VT (60 ddt), R1 (75 ddt) y R3 (90 ddt) desde la base del tallo hasta el ápice principal con una regla, expresada en centímetros. Se utilizó el modelo logístico para describir la altura de planta en función del tiempo, ecuaciones [1, 2 y 3] (Alonso Báez et al., 2003).

$$W(t) = \frac{\alpha}{1 + \beta e^{-\gamma t}} \quad [1]$$

$$W = \frac{\alpha}{2} \quad [2]$$

$$t = \frac{\ln \beta}{\gamma} \quad [3]$$

donde:

$W(t)$  = Tamaño en el tiempo ( $t$ ).

$\alpha$  = Valor límite de crecimiento.

$\beta$  = No tiene significado biológico y solo toma lugar en el tiempo inicial ( $t = 0$ ).

$\gamma$  = Tasa de la constante que determina la amplitud de la curva.

- ii) Compactación de la pella: Evaluada en la fase fenológica R3 (90 ddt) con un penetrómetro de bolsillo, expresada en kg cm<sup>-2</sup>.
- iii) Diámetro ecuatorial de la pella: Medido en la fase fenológica R3 (90 ddt) utilizando un calibrador Vernier y expresado en milímetros.
- iv) Rendimiento de la pella: Evaluado en el momento de la cosecha de forma manual y expresado en t ha<sup>-1</sup>.

El análisis de los datos se realizó utilizando el análisis de la varianza [ANOVA] para determinar las diferencias significativas entre los tratamientos. En los efectos significativos se utilizó la prueba de Tukey al 5 %.

Además, se ajustó el modelo de superficie de respuesta para el rendimiento, utilizando técnicas de regresión múltiple (ecuación 4). Este modelo permitió identificar las dosis óptimas de N, P y K para maximizar el rendimiento del brócoli (Gutiérrez Pulido y Vara, 2008).

$$y = \beta_0 + \beta_1 N + \beta_2 P + \beta_3 K + \beta_4 NN + \beta_5 PP + \beta_6 KK + \beta_7 NP + \beta_8 NK + \beta_9 PK + e \quad [4]$$

donde:

$y$  = Característica que deseamos estimar en función de N, P y K.

$\beta_0$  = Ordenada al origen correspondiente a la estimación de  $y$  cuando  $N=P=K=0$ .

$\beta_1, \beta_2, \beta_3$  = Efectos lineales.

$\beta_4, \beta_5, \beta_6$  = Efectos cuadráticos.

$\beta_7, \beta_8, \beta_9$  = Interacciones dobles.

$e$  = Error experimental.

### 3. Resultados y Discusión

La altura de la planta mostró diferencias significativas ( $\alpha = 0,01$ ) a los 60 días después del trasplante (ddt), significativas ( $\alpha = 0,05$ ) a los 75 ddt, y no significativas ( $\alpha > 0,05$ ) a los 30, 45 y 90 ddt. Los coeficientes de variación oscilaron entre el 4 % y el 13 %, indicando una confiabilidad adecuada de los datos obtenidos (Tabla 3).

**Tabla 3.** Análisis de la varianza para la altura de planta.  
*Table 3.* Analysis of variation for plant height.

Fuentes de variación	Grados libertad	Cuadrado medio				
		30 ddt	45 ddt	60 ddt	75 ddt	90 ddt
<b>Total</b>	63					
<b>Tratamientos</b>	15	2,17 ns	22,58 ns	34,92 **	16,68 *	18,45 ns
<b>Repetición</b>	3	2,16 ns	68,89 **	44,37 *	5,96 ns	10,55 ns
<b>Error</b>	45	1,69	12,28	13,68	5,86	7,58
<b>CV (%)</b>		9,52	13,60	7,87	4,34	4,76
<b>Promedio (cm)</b>		13,65	25,75	47,01	55,66	57,80

\*\* = diferencia significativa (p- valor < 0,01); \* = diferencia significativa (p- valor < 0,05); ns = no significativo; ddt = días después del trasplante.  
\*\* = significant difference (p value < 0.01); \* = significant difference (p value < 0.05); ns = not significant; ddt = days after transplantation.

La prueba de Tukey al 5 % para la altura de planta a los 75 ddt presentó dos rangos, con T13 (150 kg ha<sup>-1</sup> N, 70 kg ha<sup>-1</sup> P, 90 kg ha<sup>-1</sup> K) alcanzando 58,32 cm y T16 (0 kg ha<sup>-1</sup> N, 0 kg ha<sup>-1</sup> P, 0 kg ha<sup>-1</sup> K) con 51,62 cm. A los 90 ddt, T13 mostró la mayor altura de planta con 59,90 cm (Tabla 4).

**Tabla 4.** Prueba de Tukey al 5 % para la altura de planta.  
*Table 4.* Tukey test at 5 % for plant height.

Tratamientos	Altura de planta (cm)*				
	30 ddt	45 ddt	60 ddt	75 ddt	90 ddt
<b>T1</b>	14,50	25,57	45,12	55,30 ab	57,65
<b>T2</b>	12,82	26,12	42,95	52,40 ab	54,30
<b>T3</b>	13,97	28,50	50,70	55,82 ab	58,87
<b>T4</b>	14,20	26,87	49,82	52,72 ab	54,97
<b>T5</b>	13,87	26,62	45,15	56,07 ab	59,17
<b>T6</b>	13,07	26,32	45,10	56,55 ab	59,32
<b>T7</b>	14,15	29,80	49,42	57,30 ab	60,30
<b>T8</b>	13,90	29,25	49,65	56,65 ab	58,85
<b>T9</b>	13,90	25,45	48,05	57,17 ab	59,42
<b>T10</b>	13,65	25,95	49,15	55,60 ab	57,00
<b>T11</b>	13,77	23,82	45,87	56,37 ab	57,95
<b>T12</b>	12,95	23,65	46,67	57,95 a	59,10
<b>T13</b>	14,85	23,27	50,37	58,32 a	59,90
<b>T14</b>	14,17	26,92	49,47	57,22 ab	59,12
<b>T15</b>	12,37	22,80	43,07	53,50 ab	55,55
<b>T16</b>	12,32	21,12	41,57	51,62 b	53,32

\* Valores que comparten la misma letra no muestran diferencias estadísticas significativas según la prueba de Tukey con un nivel de significancia de  $p < 0,05$ . / Values with the same letter do not show significant statistical differences according to Tukey's test with a significance level of  $p < 0.05$ .

Los parámetros del modelo logístico para la altura de planta mostraron que T13 (150 kg ha<sup>-1</sup> N, 70 kg ha<sup>-1</sup> P, 90 kg ha<sup>-1</sup> K) presentó los valores más altos, mientras que T16 (0 kg ha<sup>-1</sup> N, 0 kg ha<sup>-1</sup> P, 0 kg ha<sup>-1</sup> K) los más bajos, y T9 (150 kg ha<sup>-1</sup> N, 35 kg ha<sup>-1</sup> P, 90 kg ha<sup>-1</sup> K) se ubicó entre ambos (Tabla 5).

**Tabla 5.** Parámetros de la función logística normal para altura de planta.  
**Table 5.** Parameters of the log-normal function for plant height.

Tratamientos	Parámetros					
	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$R^2$	w	t
T1	60,72	38,86	0,07	0,99	30,36	47,29
T2	56,49	42,84	0,08	0,99	28,25	46,11
T3	59,97	61,60	0,09	0,99	29,99	44,50
T4	56,28	64,44	0,09	0,99	28,14	43,62
T5	62,07	39,51	0,07	0,99	31,04	47,69
T6	62,15	45,52	0,07	0,99	31,08	47,97
T7	61,73	48,70	0,08	0,99	30,87	44,97
T8	60,29	56,06	0,09	0,99	30,15	44,54
T9	61,96	55,02	0,08	0,99	30,98	47,15
T10	59,00	67,20	0,09	0,99	29,50	45,44
T11	61,13	52,76	0,08	0,99	30,57	48,07
T12	62,20	67,64	0,08	0,99	31,10	48,50
T13	62,78	68,28	0,08	0,99	31,39	47,51
T14	61,26	56,78	0,08	0,99	30,63	45,85
T15	58,41	54,89	0,08	0,99	29,21	48,49
T16	56,34	55,28	0,08	0,99	28,17	48,75

$\alpha$  = valor límite de crecimiento,  $\beta$  = no tiene significado biológico y solo toma lugar en el tiempo inicial cuando  $t = 0$  y  $\gamma$  = tasa constante que determina la amplitud de la curva;  $R^2$  = coeficiente de determinación; w = tamaño en el tiempo; t = tasa de crecimiento máxima. /  $\alpha$  = growth limit,  $\beta$  = has no biological significance and occurs only at the initial time when  $t = 0$  and  $\gamma$  = constant rate that determines the amplitude of the curve;  $R^2$  = coefficient of determination; w = size over time; t = maximum growth rate.

En este contexto, para la altura de planta, las variaciones relativamente pequeñas son cercanas y sugieren que, en términos proporcionales, se incrementa rápidamente en todos los tratamientos. Esto se debe a las condiciones experimentales y características de cada tratamiento. Además, el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) es igualmente alto en todos los tratamientos (0,99), lo que indica que el modelo logístico se ajusta bien.

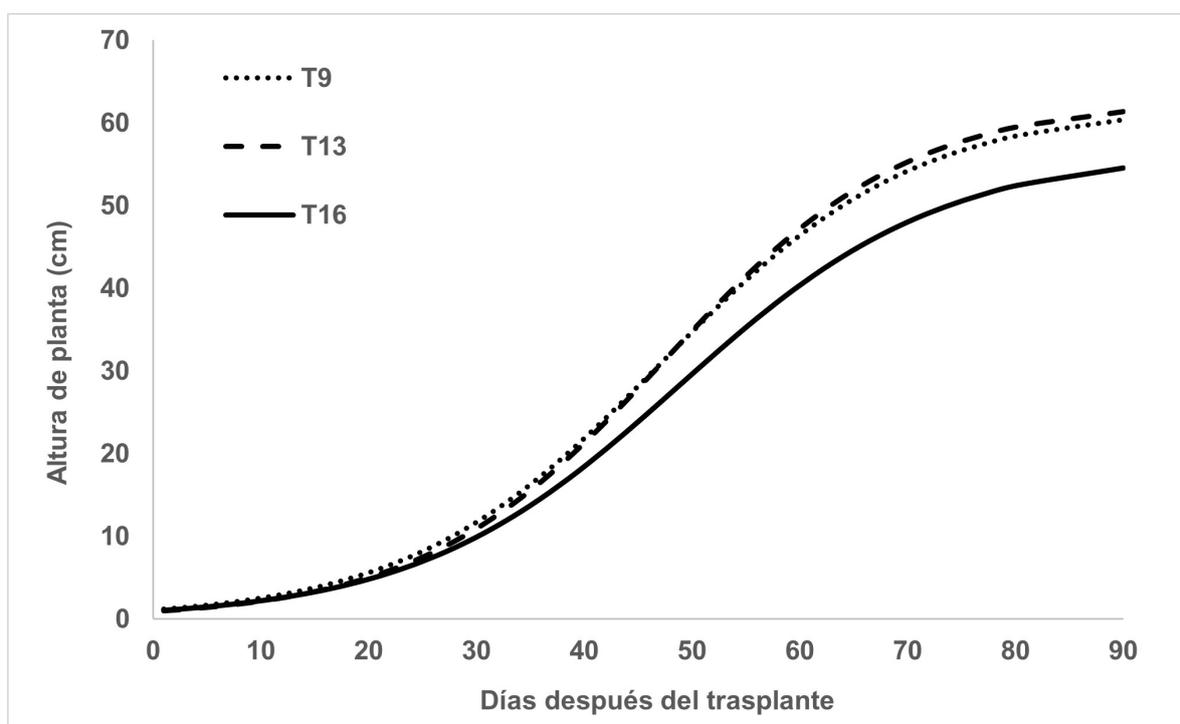
Una de las características que presentó la dosis de fertilizante T13 (150 kg ha<sup>-1</sup> N, 70 kg ha<sup>-1</sup> P, 90 kg ha<sup>-1</sup> K) y comparado con Zamora (2016), que aplicó dosis de 220 kg ha<sup>-1</sup> N, 40 kg ha<sup>-1</sup> P, 0 kg ha<sup>-1</sup> K, influyen significativamente en el crecimiento vegetativo, incluida su altura. El alto contenido de nitrógeno en el cultivo de brócoli es esencial para el desarrollo de las partes verdes, como hojas y tallos, al ser fundamental en la síntesis de proteínas y clorofila, fomentando un crecimiento vigoroso y saludable. Aunque un suministro adecuado de nitrógeno promueve este crecimiento, un exceso puede provocar un desarrollo desproporcionado de las partes vegetativas a expensas de la floración y fructificación (Mainardi Fazio, 2017).

El análisis mediante el modelo logístico reveló la presencia de tres fases distintas en los tratamientos evaluados. Se identificó una fase inicial lineal hasta los 20 ddt, seguida de una fase de crecimiento exponencial que abarcó desde los 20 hasta los 70 ddt, y finalmente una fase de estabilización o meseta entre los 70 y 90 ddt (Figura 1).

En un estudio realizado por Bacarreza Manrique (2018) sobre dos variedades de brócoli, se registraron alturas máximas de 67,88 cm para Monte Cristo y 60,94 cm para Green Storm. Este autor destacó que la altura máxima de las plantas no solo se ve afectada por la fertilización del suelo, sino también por factores genéticos y ambientales. Las diferencias observadas pueden explicarse por las condiciones específicas de cultivo y las características genéticas de las variedades, así como por la competencia entre plantas y las densidades de siembra que afectan el crecimiento. La cantidad de luz disponible y las temperaturas también influyen significativamente en el desarrollo óptimo de las plantas. Además, se observó que temperaturas más bajas durante la noche pueden favorecer un mayor crecimiento debido a una reducción en la tasa de respiración.

La calidad de la pella de brócoli se evaluó con la compactación, en donde el análisis de varianza no indicó diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos estudiados, con un coeficiente de variación [CV] del 14,94 %, lo cual indica una dispersión moderada de los datos (Tabla 6). El tratamiento T11 (300 kg ha<sup>-1</sup> N, 35 kg ha<sup>-1</sup> P, 90 kg ha<sup>-1</sup> K) mostró la mayor compactación, alcanzando 1,12 kg cm<sup>-2</sup>, mientras que el tratamiento T5 (239 kg ha<sup>-1</sup> N, 14 kg ha<sup>-1</sup> P, 36 kg ha<sup>-1</sup> K) registró la menor compactación con 0,82 kg cm<sup>-2</sup>.

(Tabla 7). Estos resultados sugieren que existe una baja variabilidad en términos de densidad, tamaño y peso, indicando una compactación uniforme. Este atributo es crucial en numerosos procesos de producción y aplicaciones, contribuyendo significativamente a mejorar la calidad del producto final (Heather y Sieczka, 1991).



**Figura 1.** Efecto de los tratamientos en la altura de planta (T9, T13 y T16).  
**Figure 1.** Effect of treatments on plant height (T9, T13 and T16).

**Tabla 6.** Análisis de la varianza para la compactación, diámetro ecuatorial y rendimiento de la pella de brócoli.  
**Table 6.** Response optimization for broccoli yield. Analysis of Variance for compaction, equatorial diameter, and broccoli peel yield.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Cuadrado medio		
		Compactación	Diámetro	Rendimiento
Total	63			
Tratamientos	15	0,02 ns	1171,57 **	28,85 **
Repetición	3	0,08 *	1231,06 **	83,37 **
Error	45	0,02	176,71	4,47
<b>CV (%)</b>		14,94	8,11	9,68
<b>Promedio</b>		0,94	163,73	21,85

\*\* = diferencia significativa (p- valor < 0,01); \* = diferencia significativa (p- valor < 0,05) y ns = no significativo / \*\* = significant difference (P value < 0.01); \* = significant difference (P value < 0.05); and ns = not significant.

Además, se evaluó el diámetro ecuatorial de las pellas, encontrando una alta significación estadística ( $\alpha = 0,01$ ) entre los tratamientos estudiados, con un CV de 8,11 % que sugiere una confiabilidad de los datos (Tabla 6). Mediante la prueba de Tukey al 5 %, se identificaron cuatro grupos significativos. El tratamiento T8 (239 kg ha<sup>-1</sup> N, 56 kg ha<sup>-1</sup> P, 144 kg ha<sup>-1</sup> K) mostró el mayor diámetro con 197,80 mm, mientras que el tratamiento T12 (150 kg ha<sup>-1</sup> N, 0 kg ha<sup>-1</sup> P, 90 kg ha<sup>-1</sup> K) presentó el diámetro más bajo con 142,87 mm (Tabla 7).

Estas respuestas son consistentes con estudios previos como los de Cuatin Revelo (1998) y Puenayan et al. (2008), quienes reportaron diámetros que variaban entre 88,2 mm y 149,2 mm. Lazcano-Ferrat (2006) informó diámetros que oscilaban entre 80 mm y 200 mm, mientras que Hussain et al. (2012) registraron diámetros desde 91,5 mm hasta 150,2 mm, lo cual concuerda estadísticamente con los obtenidos en este estudio con dosis de 120 kg ha<sup>-1</sup> N y 60 kg ha<sup>-1</sup> N, respectivamente.

**Tabla 7.** Prueba de Tukey al 5 % para compactación, diámetro ecuatorial y rendimiento  
**Table 7.** Tukey test at 5 % for compaction, equatorial diameter, and yield.

Tratamientos	Compactación (kg cm <sup>-2</sup> )	Diámetro (mm)	Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> )
T1	0,91	150,72 cd	20,83 abcde
T2	0,95	145,65 cd	19,01 cde
T3	0,99	186,12 ab	24,11 abc
T4	0,99	147,70 cd	20,01 abcde
T5	0,82	152,77 bcd	19,52 bcde
T6	0,99	168,25 abcd	21,15 abcde
T7	0,89	170,90 abcd	24,74 ab
T8	0,85	197,80 a	25,25 a
T9	0,90	166,90 abcd	23,73 abc
T10	0,96	153,05 bcd	17,95 de
T11	1,12	188,72 a	23,29 abcd
T12	0,96	142,87 d	22,24 abcd
T13	0,97	173,97 abc	24,39 abc
T14	0,99	171,25 abcd	24,72 ab
T15	1,07	167,25 abcd	22,15 abcd
T16	0,91	142,87 cd	16,45 e

\* Valores que comparten la misma letra no muestran diferencias estadísticas significativas según la prueba de Tukey con un nivel de significancia de  $p < 0,05$ . / Values with the same letter do not show significant statistical differences according to Tukey's test with a significance level of  $p < 0.05$ .

Por último, el análisis de varianza para el rendimiento de las pellas de brócoli reveló diferencias significativas ( $\alpha = 0,01$ ), con un coeficiente de variación del 9,68 % y un rendimiento promedio de 21,85 t ha<sup>-1</sup> (Tabla 6).

La prueba de Tukey al 5 % identificó cinco rangos de rendimiento. El tratamiento T8 (239 kg ha<sup>-1</sup> N, 56 kg ha<sup>-1</sup> P, 144 kg ha<sup>-1</sup> K) obtuvo el mayor rendimiento con 25,25 t ha<sup>-1</sup>, mientras que el tratamiento T16 (0 kg ha<sup>-1</sup> N, 0 kg ha<sup>-1</sup> P, 0 kg ha<sup>-1</sup> K) mostró el menor rendimiento con 16,45 t ha<sup>-1</sup> (Tabla 7).

La correlación entre las variables altura de planta, compactación, diámetro ecuatorial y rendimiento de la pella, determinaron una alta correlación estadística entre el diámetro ecuatorial de la pella y el rendimiento ( $\alpha = 0,01$ ), no así, para la correlación entre la compactación de la pella y el diámetro ecuatorial y tampoco para la altura de planta y la compactación de la pella. En conjunto, estos resultados subrayan la importancia de la altura en relación con el diámetro y el rendimiento del brócoli, mientras que la compactación de la pella parece tener una influencia limitada en estas variables (Tabla 8).

**Tabla 8.** Matriz de correlación de Pearson para altura, compactación de pella, diámetro ecuatorial de pella y rendimiento de brócoli.

**Table 8.** Pearson correlation matrix for height, compaction, equatorial diameter of the head, and broccoli yield.

	Altura	Compactación	Diámetro	Rendimiento
Altura	1			
Compactación	0,1422 0,2621	1		
Diámetro	0,2993 0,0163	-0,004 0,9707	1	
Rendimiento	0,3075 0,0134	0,0731 0,5658	0,5714 0,0001	1

El análisis de varianza para el modelo de superficie de respuesta, mostró que los efectos lineales de N, P y

K son significativos ( $\alpha = 0,01$ ) en el rendimiento del brócoli, mientras que las interacciones cuadráticas no mostraron significancia. Esto sugiere que los niveles individuales de N y P tienen un impacto considerable en el rendimiento, pero las combinaciones entre estos nutrientes no presentan un efecto sinérgico significativo. El coeficiente de determinación ( $R^2$ ) del modelo fue de 0,45, indicando que el modelo explica el 45 % de la variabilidad en el rendimiento del brócoli, lo cual se considera moderadamente aceptable (Tabla 9).

**Tabla 9.** Análisis de la varianza de la regresión múltiple para el rendimiento de brócoli.  
*Table 9. Analysis of variance of the multiple regression for broccoli yield.*

Fuentes de variación	Grados libertad	Cuadrado medio
Lineal	3	63,76 **
N	1	78,89 **
P	1	94,53 **
K	1	17,16 *
Cuadrático	3	27,08 ns
NN	1	80,25 **
PP	1	9,87 ns
KK	1	8,32 ns
Interacción de 2 factores	3	16,02 ns
NP	1	9,84 ns
NK	1	29,20 ns
PK	1	10,17 ns
Error	54	8,93
Falta de ajuste	6	5,13 ns
Error	48	9,40
Total	63	
<b>CV (%)</b>		13.67
<b>R<sup>2</sup></b>		0.45

\*\* = diferencia significativa (p- valor < 0,01); \* = diferencia significativa (p- valor < 0,05) y ns = no significativo / \*\* = significant difference (P value < 0.01); \* = significant difference (P value < 0.05); and ns = not significant.

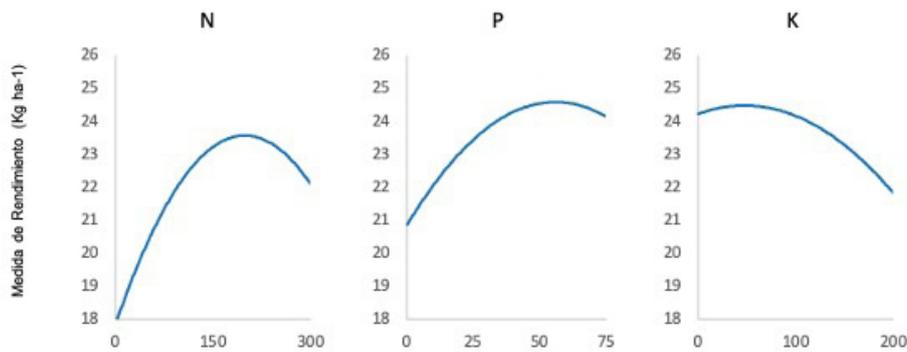
En el análisis del modelo de superficie de respuesta para el rendimiento del brócoli, el término independiente mostró una significancia estadística notable ( $\alpha = 0,01$ ), con un estimado de 16,76. Esto sugiere que existe una contribución significativa al rendimiento del brócoli sin considerar los efectos específicos de los nutrientes N, P y K. Además, se observaron los efectos de los nutrientes N y P, así como de las interacciones cuadráticas de NN. El estimador positivo para N indicó que un incremento en el contenido de N está asociado con un aumento en el rendimiento. De manera similar, los estimadores para P y el efecto cuadrático de NN también sugieren incrementos positivos en el rendimiento. Por otro lado, los estimadores no significativos para K y las demás interacciones (PP, KK, NP, NK, PK) indicaron que estos factores no tienen significancia en el rendimiento (Tabla 10).

El modelo polinomial que explica el efecto de la fertilización con N, P y K en el rendimiento del brócoli es:  $Y = 16,766822 + 0,041978 N + 0,145246 P + 0,007657 K - 0,000184 NN - 0,001184 PP - 0,000164 KK + 0,000279 NP + 0,000187 NK - 0,000468 PK$ .

Los efectos principales de los niveles de N, P y K muestran diferentes patrones: para N, se observa un efecto cuadrático positivo; para P, el incremento en rendimiento es menor; y para K, se presentó un efecto cuadrático negativo (Figura 2).

**Tabla 10.** Parámetros de la regresión para el rendimiento de brócoli.  
**Table 10.** Regression parameters for broccoli yield.

Parámetro	Grados libertad	Estimador	
Término independiente	1	16,766822	**
N	1	0,041978	*
P	1	0,145246	*
K	1	0,007657	ns
NN	1	-0,000184	**
PP	1	-0,001184	ns
KK	1	-0,000164	ns
NP	1	0,000279	ns
NK	1	0,000187	ns
PK	1	-0,000468	ns



**Figura 2.** Efectos principales para el rendimiento de brócoli.  
**Figure 2.** Main effects for broccoli yield.

Los efectos para las interacciones N\*P, se puede apreciar que con un valor fijo de 0 kg ha<sup>-1</sup> P es más bajo y siendo lo contrario para las otras interacciones como N\*K y P\*K (Figura 3). Los efectos de la interacción N\*P muestran que con un valor fijo de 0 kg ha<sup>-1</sup> de P, el rendimiento es más bajo. En contraste, las interacciones N\*K y P\*K presentan un comportamiento diferente, mostrando un mayor rendimiento.

En la Figura 4 se muestra la representación gráfica de los modelos cuadráticos con la superficie de respuesta para el rendimiento del cultivo de brócoli.

El modelo de superficie de respuesta de optimización para mejorar el rendimiento del brócoli exploró niveles crecientes de fertilización, desde 0 hasta 300 kg ha<sup>-1</sup> de N, 0 a 70 kg ha<sup>-1</sup> de P, y 0 a 180 kg ha<sup>-1</sup> de K, con el objetivo de alcanzar el mayor rendimiento posible. Los resultados indicaron que la aplicación de 178 kg ha<sup>-1</sup> de N, 70 kg ha<sup>-1</sup> de P, y 25 kg ha<sup>-1</sup> de K, permitió obtener un rendimiento máximo de 26,35 t ha<sup>-1</sup> de brócoli (Tabla 11).

Este resultado se puede confirmar con investigaciones realizadas por Puenayan et al. (2008) y Lozano Fernández et al. (2018), quienes evaluaron el efecto de diversos niveles y combinaciones de fertilizantes con N, P y K en el desarrollo y producción del cultivo de brócoli. Sus estudios mostraron que dosis superiores a 225 kg ha<sup>-1</sup> de N tienden a reducir los rendimientos, aunque los máximos rendimientos se obtuvieron con dosis de 250 y 400 kg ha<sup>-1</sup> de N, alcanzando 15 y 24.5 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente. En cuanto al P, los mayores rendimientos se reportaron con la aplicación de 240 kg ha<sup>-1</sup>, disminuyendo drásticamente con aplicaciones inferiores a 160 kg ha<sup>-1</sup>. Además, se observó una buena respuesta con la aplicación de 200 kg ha<sup>-1</sup> de K, mientras que cantidades superiores a 300 kg ha<sup>-1</sup> tienden a disminuir la producción.

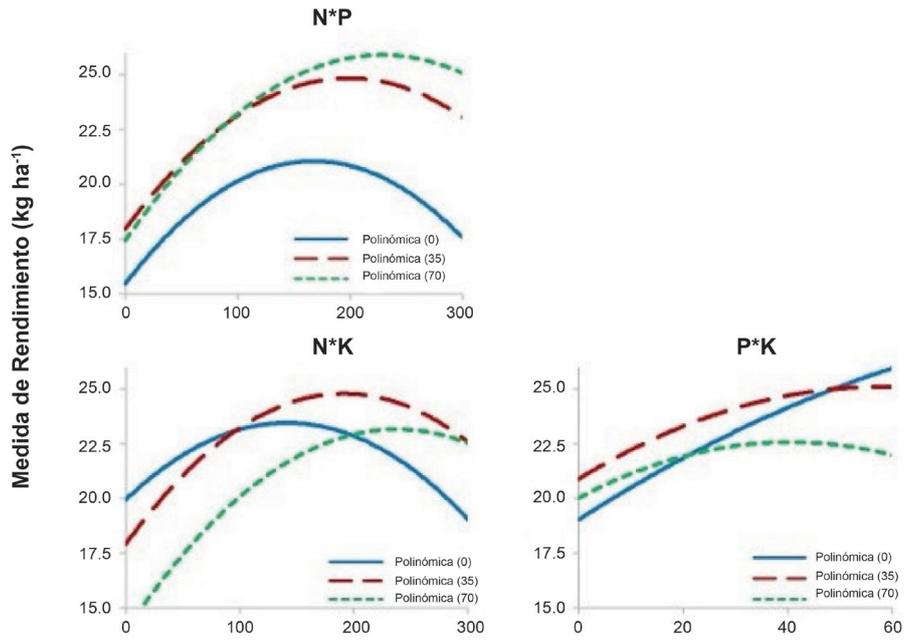


Figura 3. Interacción para el rendimiento de brócoli.

Figure 3. Interaction for broccoli yield.

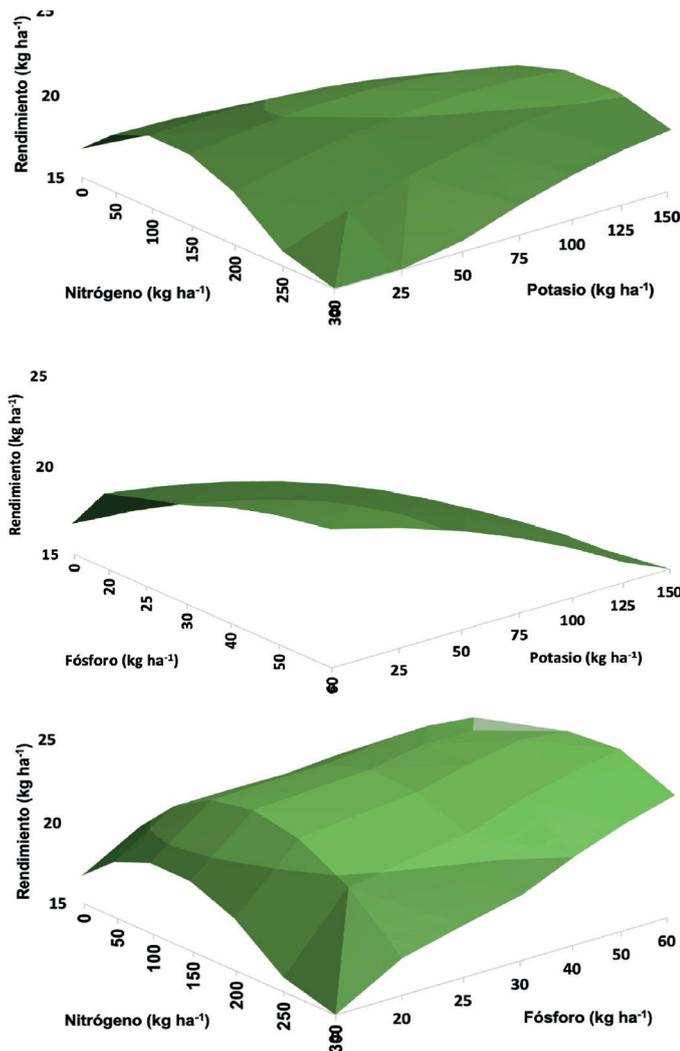


Figura 4. Superficie de respuesta de los niveles de a) N - P, b) P - K y c) N - K, en el rendimiento de brócoli.

Figure 4. Response surface of the levels of a) N - P, b) P - K, and c) N - K, in broccoli yield.

**Tabla 11.** Optimización de respuesta para el rendimiento de brócoli.*Table 11. Response optimization for broccoli yield.*

Factor	Niveles (kg ha <sup>-1</sup> )			Rendimiento máximo (t ha <sup>-1</sup> )
	Bajo	Alto	Óptimo	
N	0	300	178	26,35
P	0	70	70	
K	0	180	25	

#### 4. Conclusiones

La investigación demostró que la metodología de superficie de respuesta es efectiva para optimizar la fertilización química en el cultivo de brócoli híbrido Avenger en el Ecuador. Los resultados indican que la dosis de 178 kg ha<sup>-1</sup> N, 70 kg ha<sup>-1</sup> P y 25 kg ha<sup>-1</sup> K proporciona el mejor rendimiento, alcanzando 26,5 t ha<sup>-1</sup>. Este enfoque no solo maximiza la producción, sino que también asegura una utilización eficiente de los fertilizantes, reduciendo potencialmente los costos y minimizando el impacto ambiental.

Además, se observó que la mayor altura de planta (59,90 cm) se obtuvo con 150 kg ha<sup>-1</sup> N, 70 kg ha<sup>-1</sup> P y 90 kg ha<sup>-1</sup> K; la mejor compactación de la pella (1,12 kg cm<sup>-2</sup>) se logró con 300 kg ha<sup>-1</sup> N, 35 kg ha<sup>-1</sup> P y 90 kg ha<sup>-1</sup> K; y el mejor diámetro ecuatorial (197,80 mm) y rendimiento (25,25 t ha<sup>-1</sup>) se obtuvieron con 239 kg ha<sup>-1</sup> N, 56 kg ha<sup>-1</sup> P y 144 kg ha<sup>-1</sup> K. Estos resultados indican la importancia de ajustar adecuadamente las dosis de fertilización para lograr un cultivo de alta calidad.

Finalmente, estos resultados proporcionan una base sólida para futuras recomendaciones de fertilización en el cultivo de brócoli en la región, contribuyendo a la sostenibilidad y rentabilidad del sector agrícola. También se deben realizar estudios adicionales que consideren otras variedades de brócoli y condiciones agroclimáticas diferentes para validar y ampliar la aplicabilidad de estos resultados.

#### Contribuciones de los autores

- Gloria Anabel Cornejo: investigación, recursos, software, validación, redacción – borrador original, redacción – revisión y edición.
- Yamil Everaldo Cartagena Ayala: conceptualización, metodología, software, validación, redacción – revisión y edición.
- Rafael Parra: investigación, metodología, redacción – borrador original.
- Galo Hernán Puetate Huera: investigación, software, validación, redacción – borrador original, redacción – revisión y edición.
- Francisco Hernán Chancusig: redacción – borrador original.
- Wilman Paolo Chasi Vizuete: redacción – borrador original.

#### Implicaciones éticas

Los autores declaran que no existen implicaciones éticas.

#### Conflicto 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

- 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.terralatinoamericana.org.mx/index.php/terra/issue/view/78>
- Bacarreza Manrique, R. (2018). *Producción de dos variedades de brócoli (Brassica oleracea var. itálica) en tres distancias de plantación en condiciones de walipini*: Universidad Mayor de San Andrés. <http://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/17178>
- Carrillo-Riofrío, F. M., y Minga-León, F. E. (2020). Mezclas de fertilizantes sintéticos en rendimiento de brócoli usando la metodología participativa en la comunidad Pungal. *Dominio de las Ciencias*, 6(2), 959–970. <https://doi.org/10.23857/dc.v6i2.1259>
- Cartagena Ayala, Y. E. (2014). El modelo sistémico para la fertilización nitrogenada en brócoli (*Brassica oleracea* itálica): Colegio de Postgraduados. <http://hdl.handle.net/10521/2390>
- Cuatin Revelo, A. L. (1998). *Evaluación de diferentes densidades de población en brócoli (Brassica oleracea var itálica L híbrido legacy) en el altiplano de Pasto*. Universidad de Nariño.
- Gutiérrez Pulido, H., y Vara, R. de la. (2008). *Análisis y diseños de experimentos* (2ª ed.). McGraw Hill México.
- Heather, D.W., y Siczka, J.B. (1991). Effect of seed size and cultivar on emergence and stand establishment of broccoli in crusted soil. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 116(6), 946-949. <https://doi.org/10.21273/JASHS.116.6.946>
- Hussain, M. J., Sirajul Karim, A. J. M., Solaiman, A. R. M., y Haque, M. M. (2012). Effects of nitrogen and boron on the yield and hollow stem disorder of broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*). *The Agriculturists*, 10(2), 36-45. <https://doi.org/10.3329/agric.v10i2.13140>
- Jiménez Villalva, E. I., y Osorio Bautista, E. C. (2019). *Comparación de los elementos del costo de la producción del brócoli entre los productores del barrio San Vicente de la parroquia Poaló*. Universidad Técnica de Cotopaxi. <https://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/7705>
- Lazcano-Ferrat, I. (2006). El potasio y el concepto de la fertilización balanceada. En *Conferencia regional para México y el Caribe de la Asociación Internacional de la Industria de los Fertilizantes*. INPO-FOS-PPI, México.
- Lozano Fernández, J., Orozco Orozco, L. F., y Montoya Munera, L. F. (2018). Effect of nitrogen, phosphorus and potassium fertilization on the yield of broccoli cultivars. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 71(1), 8375-8386. <https://doi.org/10.15446/rfna.v71n1.63058>
- Mainardi Fazio, F. (2017). *El huerto completo en poco espacio*. Parkstone International.
- Mejía Sánchez, B. R. (2022). *Eficiencia energética de dos sistemas de producción: brócoli convencional y agroecológico, en la Sierra ecuatoriana*. Universidad Central del Ecuador. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/28043>
- Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG]. (2022a). *Comercio Exterior del Sector Agropecuario y Agroindustrial*. Banco Central del Ecuador [BCE]. <https://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/comext-productos>
- Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG]. (2022b). *Información productiva territorial*. Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua [ESPAC] - Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC]. <https://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/cifras-agroproductivas>
- Moreno, D. A., Carvajal, M., López-Berenguer, C., y García-Viguera, C. (2006). Chemical and biological characterization of nutraceutical compounds of broccoli. *Journal of pharmaceutical and biomedical analysis*, 41(5), 1508-1522. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2006.04.003>
- Nagraj, G. S., Chouksey, A., Jaiswal, S., y Jaiswal, A. K. (2020). Broccoli. En A. K. Jaiswal (ed.), *Nutritional Composition and Antioxidant Properties of Fruits and Vegetables* (pp. 5-17). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812780-3.00001-5>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2021). *Estadísticas de producción de brócoli 2021*. FAOSTAT. <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL>
- Pantoja, C. (2006). Efecto de la fertilización química (NPK-Ca) en la incidencia de la mancha negra de la pella en un ciclo de producción comercial de brócoli (*Brassica oleracea* var. *Itálica, hib. legacy*), Machachi-Pichincha. Universidad Central del Ecuador.
- Puenayan, A., Córdoba, F., y Unigarro, A. (2008). Respuesta del brocoli *Brassica oleracea* var. *Italica* L.

- Híbrido legacy a la fertilización con N – P – K en el municipio de Pasto, Nariño. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 25(1 y 2), 150-162. <https://revistas.udenar.edu.co/index.php/rfacia/article/view/82>
- Raya-Montaño, Y. A., Apáez-Barrios, P., Guillén-Andrade, H., y Lara-Chavez, M. B. N. (2018). Producción de brócoli en función del genotipo y dosis de nitrógeno. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 41(4-A), 537-542. <https://doi.org/10.35196/rfm.2018.4-A.537-542>
- Reyes Matamoros, J. M., Vázquez Ramírez, R. Y., y Cruz Montalvo, A. (2001). La fertilización del cultivo de brócoli, mediante la determinación del contenido de nitrógeno, fósforo y potasio en la planta. *Boletín de la Universidad Rusa de la Amistad de los Pueblos. Serie: Ciencias Agrícolas. Agronomía*, 7, 13-16. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=11139092>
- Román Llamuca, M. J. (2022). *Evaluación de formulaciones potásicas en el rendimiento y calidad del cultivo de brócoli (Brassica oleracea L) var. Itálica, híbrido Avenger*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/18361>
- Vélez Duque, P. I., y Álava Murillo, A. (2021). Análisis de los canales de comercialización del brócoli en Ecuador. *Revista Tecnológica-ESPOL*, 33(3), 181-201, <https://doi.org/10.37815/rte.v33n3.857>
- Vidal-Martínez, J. L., Núñez-Escobar, R., Lazcano-Ferrat, I., Etchevers-Barra, J. D., y Carrillo-González, R. (2006). Nutrición potásica del brócoli (*Brassica oleracea*) con manejo convencional y fertirrigación en un vertisol en invernadero. *Agrociencia*, 40(1), 1-11. <https://www.agrociencia-colpos.org/index.php/agrociencia/article/view/436>
- Yildirim, E., Karlidag, H., Turan, M., Dursun, A., y Goktepe, F. (2011). Growth, nutrient uptake, and yield promotion of broccoli by plant growth promoting rhizobacteria with manure. *HortScience*, 46(6), 932-936. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.46.6.932>
- Zamora, E. (2016). *El cultivo de brócoli*. Serie guías - producción de hortalizas DAG/HORT-010. Universidad de Sonora. <https://dag.uson.mx/Zamora/BROCOLI-DAG-HORT-010.pdf>