

Comportamiento vegetativo de quina (*Cinchona pubescens* Vahl.) con la aplicación de cuatro bioestimulantes orgánicos en invernadero en Perú

Vegetative behavior of cinchona (*Cinchona pubescens* Vahl.) with the application of four organic bio-stimulants in a greenhouse in Peru

 Tito Sanchez Santillan ^{1 4 *}  María Hipólita Huamán Vela ²
 Franklin Hitler Fernandez-Zarate ³  Jheiner Vásquez García ⁴

¹ Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana, Iquitos-Loreto, Perú.

² Servicios Generales Jucusbamba (EIRL), Amazonas, Perú.

³ Universidad Nacional de Jaén, Cajamarca, Perú.

⁴ Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Chachapoyas, Perú

*Autor de correspondencia: Tito Sanchez Santillan. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana. Investigador en Agroforestería en la dirección regional Amazonas. Jr. Ayacucho N° 1171 Chachapoyas-Amazonas, Perú.
titosanchezsantillan@gmail.com

Recibido: 28 de agosto de 2023

Aprobado: 08 de abril 2024

Publicado: 30 de mayo de 2024

Editor temático: Jhon Jairo Zuluaga, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [AGROSAVIA], Bogotá, Colombia.

Para citar este artículo: Sanchez-Santillan, T., Huamán Vela, M. H., Fernandez-Zarate, F. H., & Vásquez García, J. (2024). Comportamiento vegetativo de quina (*Cinchona pubescens* Vahl.) con la aplicación de cuatro bioestimulantes orgánicos en invernadero en Perú. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 25(2), e3493.
https://doi.org/10.21930/rcta.vol25_num2_art:3493

Resumen: La quina (*Cinchona pubescens*) es una especie de importancia medicinal a nivel mundial, debido a su contenido de quinina, alcaloide utilizado en el tratamiento de la malaria; por lo que optimizar un paquete de quina en manejo silvícola y en invernadero con bioestimulantes orgánicos, podría representar una alternativa promisorio para su reproducción masiva. El objetivo de esta investigación fue determinar el comportamiento vegetativo de quina (*Cinchona pubescens*) con la aplicación de cuatro bioestimulantes orgánicos en invernadero, donde se utilizó un diseño completamente al azar con Big-Hor, Incentive, Agrostemin®-GL, biol nutritivo y un control; con tres repeticiones y 16 plantas por unidad experimental. Para el experimento, las plántulas de 1 cm de tamaño fueron obtenidas posgerminación en microtúneles y trasplantadas a un sustrato combinado de tierra agrícola y arena en proporción 2:1 (v/v). La fertilización foliar fue fraccionada en tres partes, para aplicaciones a los 15, 75 y 90 días después del repicado. En el estudio se reportó que Agrostemin®-GL tuvo influencia positiva en el tamaño de la planta (11,11 cm), el diámetro de tallo (3,21 mm), la materia seca foliar (0,43 g) y el área foliar (54,16 cm²); mientras que el biol nutritivo solamente influyó en el tamaño radicular (19,44 cm) y la biomasa seca radicular (0,14 g). Se concluye que el Agrostemin®-GL y el biol nutritivo mostraron una mayor eficiencia en el crecimiento y la ganancia de biomasa total de plantas de *C. pubescens*, sugiriendo utilizarlos como alternativa ecológica y promisorio para obtener plantones de quina vigorosos en invernadero.

Palabras clave: Quina, Rubiaceae, planta medicinal, ecología, fisiología vegetal.

Abstract: Cinchona (*Cinchona pubescens*) is a species of medicinal importance worldwide, due to its content of quinine, an alkaloid used in the treatment of malaria. Optimizing a greenhouse silvicultural management package with organic biostimulants could represent a promising alternative for mass reproduction. The objective was to determine the vegetative behavior of cinchona (*Cinchona pubescens*) with the application of four organic biostimulants in a greenhouse. A completely randomized design was used with Big-Hor, Incentive, Agrostemin®-GL, Biol nutritivo, and a control; with three repetitions and 16 plants per experimental unit. The seeds were collected from seed stands in the Conila montane forest and germinated in sand inside a micro-tunnel. Then, the 1 cm-sized seedlings were transplanted into a combined substrate of agricultural soil and sand in a 2:1 (v/v) ratio. Foliar fertilization was divided into three parts, for applications at 15, 75 and 90 days after picking. In the study, it was reported that Agrostemin®-GL had a positive influence on plant size (11.11 cm), stem diameter (3.21 mm), leaf dry matter (0.43 g), and leaf area (54.16 cm²). While Biol nutritivo only influenced root size (19.44 cm) and root dry biomass (0.14 g), both significantly exceeded the other treatments. It is concluded that Agrostemin®-GL and/or Biol nutritivo showed greater efficiency in the growth and gain of total biomass of *C. pubescens* plants, suggesting its use as an ecological and promising alternative to obtain vigorous cinchona seedlings in the greenhouse.

Keywords: Cinchona, Rubiaceae, medicinal plant, ecology, plant physiology.



Introducción

El género *Cinchona* pertenece a la familia botánica Rubiaceae, y este es conocido como el “árbol de la quina o cascarilla”, conformado por 23 especies (Andersson, 1995), distribuidas en los andes de Sudamérica (Bolivia, Ecuador, Colombia, Venezuela y Perú) (Gómez Silvera et al. 2016; Barrutia-Rodríguez et al., 2020). En Perú, *C. pubescens* se encuentra en diferentes ecosistemas, pero con mayor frecuencia en los bosques de neblina. Las regiones con mayor representatividad que albergan esta especie son Cajamarca, Piura, Amazonas y La Libertad (Huamán et al., 2019). El género *Cinchona* es de gran relevancia para Perú, ya que representa la riqueza vegetal y este árbol fue ampliamente conocido por su importancia medicinal, ya que contiene alcaloides que han sido empleados durante más de 300 años como tratamiento único contra la malaria (Bharadwaj et al., 2018); además, los alcaloides de quina son reconocidos como uno de los derivados de la corteza de árbol más significativos en la historia de la medicina humana (Prendergast & Dolley, 2001).

Según Jäger (2015), *C. pubescens* ha sido considerada como la especie más vulnerable, producto de la sobreexplotación de su corteza y madera. A esto se le suma la alta presión ejercida a las poblaciones naturales de quina durante años, a causa de la expansión de fronteras agrícolas, lo que ha generado una alteración ecológica de su hábitat (López, 2016; Caraguay-Yaguana et al., 2016). Otro factor amenazante es la invasión de especies exóticas, lo que está comprometiendo aún más el repoblamiento o la regeneración natural de *Cinchona* (Guevara et al., 2004). En general, en el aspecto silvicultural, el género *Cinchona* manifiesta múltiples inconvenientes en su ambiente y en ambientes externos, tales como bajo poder germinativo, crecimiento lento y estrés por factores bióticos y abióticos. Se estima que el crecimiento de *Cinchona* a nivel de vivero o invernadero puede fluctuar entre 0,05 y 0,08 cm por día, prolongando el tiempo de obtención de un plantón óptimo para siembra en campo (Sánchez Santillán et al., 2022).

Los bioestimulantes son obtenidos de extractos vegetales que albergan una variedad de compuestos bioactivos, muchos de los cuales aún no han sido completamente identificados. Por lo general, estos productos mejoran la eficacia en la asimilación de nutrientes por parte de las plantas y fortalecen su capacidad para resistir tensiones bióticas y abióticas (Echeverría-Salazar et al., 2023). Estos pueden estar compuestos por una variedad de sustancias, ácidos húmicos y fúlvicos, hidrolizados de proteínas, compuestos nitrogenados, extractos de algas y plantas, quitosano, biopolímeros, compuestos inorgánicos, hongos beneficiosos y microorganismos que cumplen funciones nutrimentales o reguladores de crecimiento de las plantas (Lemus-Soriano et al., 2021; Jiménez-Arias et al., 2022).

La utilización de bioestimulantes durante la etapa de vivero satisface las demandas de macro y micronutrientes, necesarios para el crecimiento vegetativo, lo cual conlleva a la producción de plantas más robustas y con cierta capacidad de adaptación durante el trasplante en campo (Moreno Rivas et al., 2021). Estos bioestimulantes fueron ampliamente utilizados como alternativa ecológica a los fertilizantes sintéticos en diferentes condiciones ambientales (Díaz Medina et al., 2016). En especies forestales existen pocos estudios sobre su uso, aunque

Castellanos González y Santana Díaz (2018) probaron bioestimulantes a base *Trichoderma* en cedro, guaje y samán con resultados sobresalientes.

Dentro de los bioestimulantes empleados, se describe el mecanismo de acción de cada uno de ellos. Agrostemin®-GL contiene protohormonas que estimulan la liberación equilibrada de auxinas, giberelinas y citoquininas dentro de la planta; además, este facilita una autorregulación eficiente en la disponibilidad de hormonas y corrige deficiencias que puedan afectar los diversos procesos fisiológicos de diferenciación. Big-Hor es un trihormonal que ayuda en la regulación fisiológica y metabólica de las plantas, y también favorece la floración y producción; mientras que Incentive contiene extractos del alga *Ascophyllum nodosum*, que imitan la acción de ciertas hormonas vegetales, estimulando la actividad mitótica y, como resultado, favorece un mayor brote y crecimiento de la planta. Sus otros componentes, como betaínas, glicinas, oligosacáridos, aminoácidos y vitaminas, actúan como osmolitos orgánicos que facilitan el ajuste osmótico, lo que previene el estrés y permite una mayor eficiencia en la fotosíntesis y el crecimiento radicular. A pesar de los múltiples beneficios de estos compuestos, no existen estudios recientes sobre su uso en especies del género *Cinchona*, lo que resulta en una problemática urgente para resolver en el ámbito forestal; sin embargo, Sánchez Santillán et al. (2020) han estudiado el efecto de Agrostemin®-GL, Incentive y Big-Hor para promover el enraizamiento y el crecimiento de los rebrotes de café (Rubiaceae).

En ese contexto, se presume que los bioestimulantes orgánicos pueden influir en el crecimiento de quina (*Cinchona pubescens* Vahl.) en invernadero. La identificación de un bioestimulante con capacidad de promover el crecimiento y la ganancia de biomasa total de la quina fomentará su uso efectivo en la reproducción masiva con fines de reforestación.

Material y métodos

Área de estudio

La fase experimental de invernadero se llevó a cabo en la empresa Servicios Generales Jucusbamba E. I. R. L., ubicada en el anexo el Tingo, distrito Conila, provincia de Luya, Perú (06° 10' 06.2" S y 077° 56' 50.5" W, 2341 m s.n.m.) (figura 1). La temperatura promedio en el invernadero fue de 25 °C y la humedad relativa promedio fue del 80 %.

Recolección del material biológico

El material biológico fue colectado en enero del 2023 de rodales semilleros en el sector Dépul, distrito Conila, Perú, ubicado en las coordenadas 6° 11' 49.1" S y 078° 03' 14.9" W, con altitud de 3057 m s.n.m. Se seleccionó un árbol representativo para ser evaluado y este contó con las siguientes características: diámetro de altura de pecho (DAP) de 25-30 cm, buena formación de copa, fuste recto y frutos libre de plagas y enfermedades.

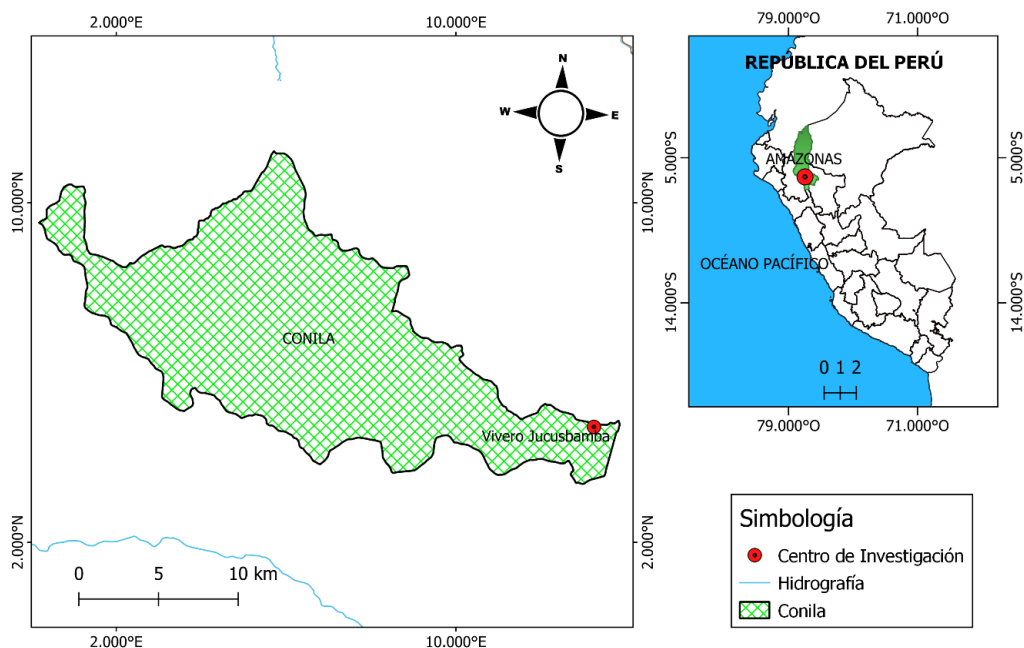


Figura 1. Ubicación del estudio en el centro experimental Jucusbamba, distrito Conila, Amazonas, Perú

Fuente: elaboración propia

En total se extrajeron 3 kg de fruto semimaduro (coloración rojo vinoso) de la planta seleccionada, los cuales se embalaron en papel Kraft y se colocaron en cajas de poliestireno expandido para transportar al centro experimental de la empresa Servicios Generales Jucusbamba E. I. R. L. Simultáneamente, se colectaron muestras de hojas, flores, frutos y semillas para la identificación botánica en el Herbario Kuelap de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, para su caracterización botánica.

Secado de frutos, tratamientos y germinación

El secado de frutos se realizó en el laboratorio a 18 °C, donde los frutos de quina fueron depositados en hojas de papel Kraft y se distribuyeron uniformemente. Para un adecuado secado, se manejó la temperatura promedio de 20 °C y una humedad relativa menor al 50 %, logrando la dehiscencia de semillas durante 30 días (de enero a febrero del 2023).

Las semillas obtenidas pasaron por un tratamiento pregerminativo: se sumergieron en hipoclorito de sodio al 1 % por 12 horas y luego fueron secadas a temperatura ambiente (17 °C). Por su parte, la siembra consistió en colocar las semillas tratadas sobre arena desinfectada, para luego colocarlas en microtúneles durante 60 días, para el proceso germinativo. En este tiempo, se mantuvieron las condiciones de temperatura promedio de 25 °C y la humedad relativa mayor al 80 %.

Instalación del experimento

La investigación se realizó de marzo a julio del 2023 a nivel de invernadero. Durante esta etapa, el clima fue variado, contando con dos meses de invierno y dos de verano. Las plántulas de quina fueron obtenidas posgerminación y se seleccionaron aquellas que presentaron un tamaño promedio de 1 cm. Como sustrato, se empleó suelo colectado de parcelas agrícolas en el anexo el Tingo, del distrito Conila; y el sustrato de arena fue obtenido del distrito Luya. Ambos fueron combinados en una proporción volumétrica de 2:1 v/v, respectivamente, donde el sustrato final fue empacado en bolsas de polietileno de 5 × 8", donde se repicaron las plántulas de quina. La raíz de las plántulas fue introducida 3 mm en el suelo, presionando levemente con el sustrato para evitar la formación de cámaras de aire y luego se aplicó un riego controlado para mantenerlas hidratadas.

La otra actividad fue la aplicación de bioestimulantes, los cuales se diluyeron en agua limpia según las concentraciones descritas (tabla 1). La aplicación de la solución resultante se aplicó con una asperjadora manual, fraccionando las dosis en tres etapas, donde la primera aplicación se realizó a los 15 días, la segunda a los 75 días y la tercera a los 90 días después del repicado. Las aplicaciones se realizaron en horarios con baja temperatura e insolación.

Tabla 1. Descripción de tratamientos y dosis aplicados a plántulas de quina en invernadero, anexo el Tingo, Conila

Tratamiento	Abreviatura	Dosis (Ml l ⁻¹)
Control	Ctrl.	0,0
Big-Hor	B-H	2,5
Incentive	Inc.	2,5
Agrostemin [®] -GL	Agr.	2,5
Biol nutritivo	B-N	2,5

Fuente: elaboración propia

El experimento fue conducido en un diseño completamente al azar (DCA), con cinco tratamientos: cuatro bioestimulantes orgánicos y un tratamiento control. En el estudio se tuvieron 15 unidades experimentales, cada una con 16 submuestras.

Análisis de datos

Los datos biométricos evaluados (tabla 3) pasaron primero a la verificación del cumplimiento de los supuestos de normalidad (prueba de Shapiro-Wilk) y homogeneidad de varianzas (prueba de Levene). Al resultar normales y homogéneos, fueron sometidos a análisis de varianza (Anova) ($P\text{-valor} < 0,01$); las medias de los tratamientos fueron comparadas con la prueba de Tukey HSD ($P < 0,01$). En este proceso se utilizó el *software* estadístico InfoStat, versión 2019.

Tabla 2. Composición nutricional de bioestimulantes orgánicos aplicados a plantas de *C. pubescens* en invernadero

Bioestimulante	Composición	Concentración
Big-Hor	Extractos de fermentos	850,00 g l ⁻¹
	Microelementos quelatizados	70,00 g l ⁻¹
	Aminoácidos	50,00 g l ⁻¹
	Ácido indol acético	0,13 g l ⁻¹
	Ácidos nucleicos	0,15 g l ⁻¹
	Giberelinas	0,12 g l ⁻¹
	Fitohormonas y ácidos naturales	30,00 g l ⁻¹
	Materia seca	24 %
	Materia orgánica	11 - 14 %
	Ceniza	11 - 14 %
	Nitrógeno total	0,25 - 0,5 %
	Fósforo (P)	0,25 - 0,75 %
	Potasio soluble (KO)	3,5 - 4,0 %
	Magnesio (Mg)	0,12 - 0,19 %
Agrostemin®-GL	Calcio (Ca)	0,03 - 0,05 %
	Boro (B)	325 - 350 ppm
	Hierro (Fe)	413 - 475 ppm
	Manganeso (Mn)	377 - 379 ppm
	Cobre (Cu)	33 - 40 ppm
	Zinc (Zn)	513 - 525 ppm
	Cobalto (Co)	0,75 ppm
	Molibdeno (Mo)	25 ppm
	Níquel (Ni)	0,75 ppm
	Concentrado natural de <i>Ascophyllum nodosum</i>	30 % p/p
	Biocitoquinina (kinetina)	0,04 %
	Fucoídan	4 %
	Laminaria	4 %
Incentive	Materia orgánica	20 %
	Macroelementos (N, P, K, Ca, Mg, S)	4,10 %
	Microelementos (Fe, Zn, Mn, Cu, B, Co)	0,10 %
	Betaínas	141 ppm
	Aminoácidos, oligosacáridos y vitaminas (A, B1, B2, B12, C, D y D6)	500 ppm
	Nitrógeno	75 %
	Fósforo (P)	45 %
	Potasio (K)	40 %
	Calcio (Ca)	15 %
Biol nutritivo	Magnesio (Mg)	2 %
	Manganeso (Mn)	1 %
	Hierro (Fe)	1,5 %
	Zinc (Zn)	1 %
	Cobre (Cu)	1 %

Nota aclaratoria: ppm: partes por millón. Fuente: elaboración propia

Evaluación de variables

Tabla 3. Descripción de variables evaluadas en *C. pubescens* tratadas con diferentes bioestimulantes en invernadero

Variables	Descripción	Unidad de medida
Tamaño de planta	Se evaluó con un intervalo de 15 días. Se registraron medidas desde la base de la planta hasta el ápice.	cm
Diámetro de tallo	Se evaluó con un vernier digital, tomando medidas a la altura del cuello de la planta.	mm
Biomasa seca foliar/biomasa seca radicular	Se obtuvo mediante el secado de plantas en estufa a 60 °C por 72 horas y luego fue pesada en una balanza analítica (Sánchez-Santillán, 2023).	mg
Área foliar	Con una cámara fotográfica se capturaron imágenes de las hojas de quina, empleando un calibrador circular (moneda con diámetro 2,5 cm). Estas fueron ingresadas en el programa ImajeJ para Windows, versión 1.5.4 (Fernández-Zárate et al., 2022).	cm ²
Tamaño de raíces	Se evaluaron las raíces que superaron los 0,5 cm de tamaño.	cm

Fuente: elaboración propia.

Resultados

Los bioestimulantes aplicados a *C. pubescens* mostraron diferencias significativas altas en las variables evaluadas ($P < 0,01$). Asimismo, reportaron un coeficiente de variación bajo con rango de 4 % a 10 %, acorde a investigaciones para ambientes controlados. Las diferencias manifestadas entre los tratamientos se debieron a que el realizado con Agrostemin®-GL mostró una mayor influencia en el diámetro del tallo, la biomasa seca foliar y el área foliar; mientras que el tratamiento de biol nutritivo fue determinante en el tamaño radicular y la biomasa seca radicular. Los otros bioestimulantes (Big-Hor e Incentive) no mostraron efectos en el crecimiento de *C. pubescens*, alcanzando valores similares al control.

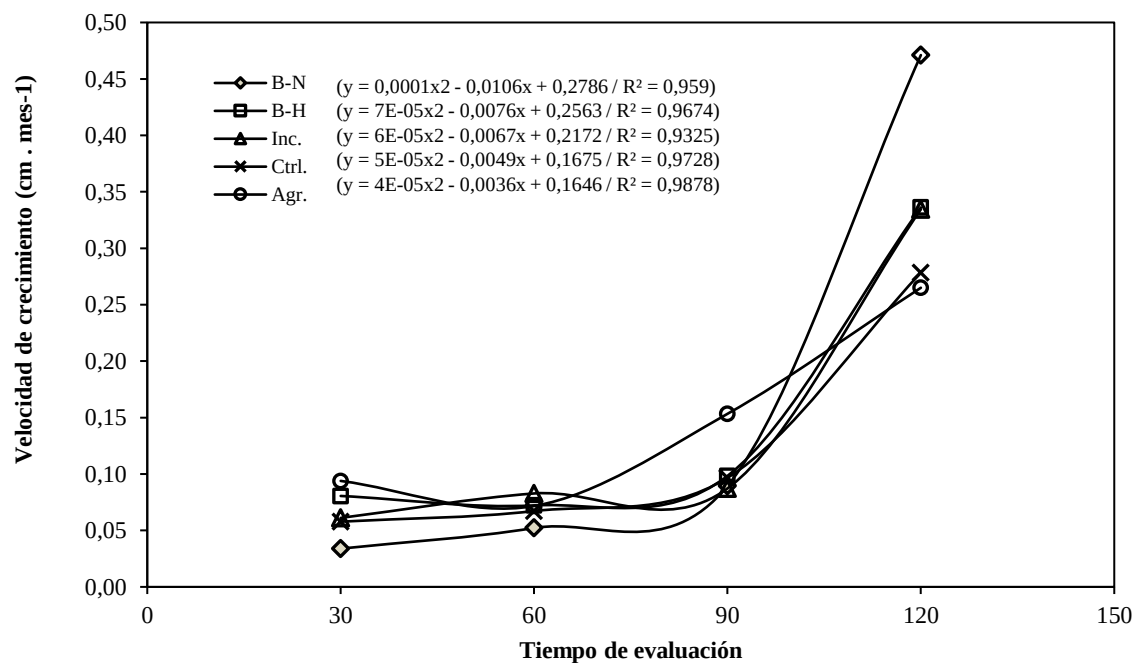
La figura 2 muestra la velocidad de crecimiento de *C. pubescens* al ser tratada con cuatro bioestimulantes y un control. Todos los tratamientos se ajustaron a un modelo polinómico, donde a partir del día 30 y hasta el día 60, todos mostraron una velocidad de crecimiento constante, pero del día 60 al 90 se observó una ligera inflexión del tratamiento Agrostemin®-GL. A partir del día 90 al 120, las plantas de quina mostraron velocidades de crecimiento variables, donde el de biol nutritivo expuso una mayor velocidad.

Tabla 4. Resultados obtenidos del efecto de bioestimulantes orgánicos en el crecimiento de *C. pubescens* durante 120 días de evaluación en invernadero

Variable	Tratamientos					P-valor	cv (%)
	Control	Big-Hor	Incentive	Agrostemin®-GL	Biol nutritivo		
Tamaño de planta (cm)	8,71 ^c	10,27 ^{ab}	9,47 ^{bc}	11,11 ^a	10,04 ^b	< 0,0001**	9,87
Diámetro de tallo (mm)	2,19 ^c	2,80 ^b	2,61 ^b	3,21 ^a	2,58 ^b	< 0,0001**	9,67
Tamaño de raíz (cm)	15,75 ^c	18,01 ^b	17,46 ^b	18,15 ^b	19,44 ^a	< 0,0001**	4,51
Biomasa seca foliar (g)	0,11 ^e	0,21 ^c	0,18 ^d	0,43 ^a	0,32 ^b	< 0,0001**	8,62
Biomasa seca radicular (g)	0,03 ^d	0,05 ^c	0,03 ^d	0,10 ^b	0,14 ^a	< 0,0001**	10,3
Área foliar (cm ²)	24,63 ^e	38,29 ^c	29,10 ^d	54,16 ^a	42,32 ^b	< 0,0001**	9,05

Notas aclaratorias: ^{a, b, c...}: letras distintas por columna difieren estadísticamente entre sí, con la prueba Tukey ($P < 0,01$); **: alta diferencia significativa.

Fuente: elaboración propia

**Figura 2.** Velocidad de crecimiento de *C. pubescens* tratadas con bioestimulantes foliares en invernadero

Fuente: elaboración propia

La figura 3 muestra la curva de incremento de número de hojas de *C. pubescens* que fueron tratadas con cuatro bioestimulantes y un control, donde todos los tratamientos se ajustaron a un modelo polinómico. Se observó que las plantas tratadas con Big-Hor mostraron un mayor incremento en el número de hojas desde el día 30 al 120. Este incremento se debió al brote de ramas ortotrópicas influenciado por el bioestimulante, sin embargo, estos valores no reflejaron diferencias en el área foliar total de la planta.

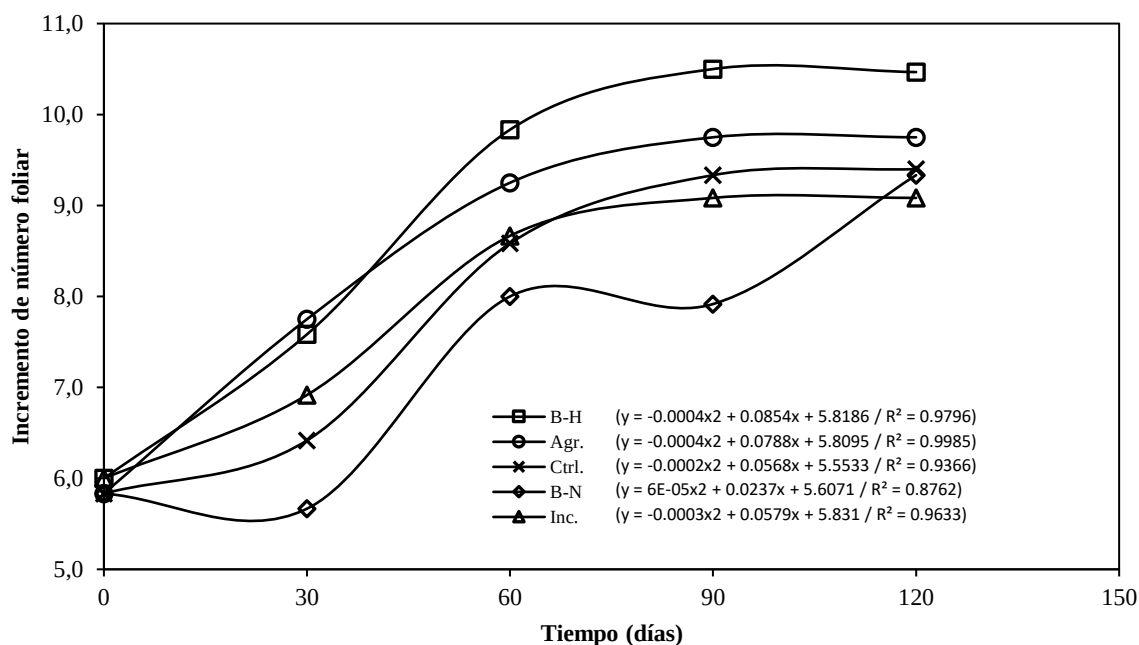


Figura 3. Incremento del número de hojas (acumulado) por días de *C. pubescens* tratadas con bioestimulantes foliares en invernadero

Fuente: elaboración propia

La tabla 5 muestra la correlación entre las variables biométricas de quina tratadas con cuatro bioestimulantes orgánicos, donde existió una correlación positiva alta del área foliar con el diámetro de tallo, la biomasa seca foliar y la biomasa seca radicular; asimismo, se observó una correlación positiva entre la biomasa seca foliar con biomasa seca radicular y el diámetro del tallo. Por su parte, la altura de planta y el tamaño radicular manifestaron una correlación positiva moderada con las demás variables.

Discusión

Los resultados señalan que Agrostemin®-GL demostró un impacto positivo en el tamaño promedio de planta de 11,11 cm, diámetro de tallo de 3,21 mm, materia seca de hojas de 0,43 g y área foliar de 54,16 cm². Por otro lado, el biol nutritivo únicamente tuvo un efecto en el crecimiento radicular, alcanzando en promedio de 19,44 cm y en la biomasa seca radicular de 0,14 g. Ambos bioestimulantes superaron largamente a Big-Hor e Incentive, aplicados a plantas de *C. pubescens*.

Tabla 5. Coeficiente de correlación entre variables morfométricas de quina, bajo la aplicación de bioestimulantes foliares en invernadero

	h (cm)	dt (mm)	tr (cm)	bsf	bsr	af (cm²)
h (cm)	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
dt (mm)	0,58	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
tr (cm)	0,36	0,37	1,00	0,00	0,00	0,00
bsf	0,60	0,70	0,60	1,00	0,00	0,00
bsr	0,35	0,33	0,68	0,77	1,00	0,00
af (cm²)	0,65	0,71	0,58	0,95	0,68	1,00

Notas aclaratorias: H: altura, DT: diámetro de tallo, TR: tamaño de raíz, BSF: biomasa seca foliar, BSR: biomasa seca radicular, AF: área foliar.

Fuente: elaboración propia

Viteri Ferrín y Macías Chila (2019) probaron Agrostemin[®]-GL a diferentes concentraciones en injertos de *Theobroma cacao*, logrando un mayor tamaño de plantas con dosis de 300 mg l⁻¹; mientras que a una concentración de 2000 mg l⁻¹ favoreció el diámetro del tallo (2,92 mm) y el número de hojas (siete unidades), concluyendo que las plantas mostraron buena respuesta al bioestimulante con un índice de sobrevivencia del 95 %. En efecto, Ambrožič-Dolinšek et al. (2021) describieron a Agrostemin[®]-GL como un bioestimulante con diversos beneficios, como el incremento en la producción y la mejora en los procesos metabólicos, el crecimiento y el desarrollo de las plantas, así como su capacidad de resistencia frente a situaciones de estrés.

Por su parte, Ruiz (2018) probó abonos foliares orgánicos (biol) preparados con estiércol de cuy, vaca y cerdo en plantas de *Guazuma crinita* en vivero, donde los resultados mostraron que las plantas tratadas con biol (excreta de cuy) lograron un mayor crecimiento con 85 cm en cuatro meses, además demostraron vigorosidad y tolerancia a factores bióticos. Los mismos autores refirieron que este bioestimulante también potenció el incremento de hojas (36 unidades) y área foliar de 50 cm².

Aunque Linares-Gabriel et al. (2017) refirieron que el biol en combinación con otros fertilizantes químicos favorecieron las variables biométricas de *Heliconia psittacorum* cv. Trópica, sugirieron usarlo de manera complementaria para optimizar el crecimiento y el desarrollo de las plantas, pudiendo potenciarse a medida que se incrementaran las dosis (Kama Serna, 2017).

Si bien no hay muchos trabajos relacionados a bioestimulantes en *C. pubescens*, existen reportes sobre el uso del biol en café (Rubiaceae). Rafael et al. (2018) mencionaron que el biol a una concentración del 75 % incrementó significativamente el tamaño de la planta (16,5 cm), con resultados similares estadísticamente al tratamiento con purín al 50 %, lo que promovió un tamaño de 17,5 cm. Los mismos autores sugirieron que la efectividad de ambos estaría en función de las variedades de plantas en las que se aplicó.

Los resultados obtenidos en este artículo sugieren un análisis comparativo entre todos los bioestimulantes, basados en su composición. Por un lado, Agrostemin[®]-GL contiene macro y microelementos similares al biol nutritivo, aunque el primero sobresale en el contenido de

materias seca y orgánica, porcentaje de cenizas y 13 elementos esenciales para las plantas. Por su parte, Big-Hor posee un mayor contenido de hormonas reguladoras de crecimiento y elementos nutricionales en bajas cantidades. Finalmente, Incentive contiene materia orgánica en cantidades similares a Agrostemin®-GL, pero bajas cantidades de macro y micronutrientes (tabla 2). En otros estudios, Sánchez Santillán et al. (2020) refirieron que los bioestimulantes orgánicos Incentive y Big-Hor eran mayormente promotores de enraizamiento en plantas (contenido de auxinas y giberelinas) que promueven la elongación radicular (promovido por vitaminas B1 y otros compuestos); estos resultados no coincidieron con los encontrados en la presente investigación, ya que Incentive y Big-Hor no mostraron efectos en el sistema radicular de *C. pubescens*.

Con base en los resultados encontrados en este estudio, podemos afirmar que el uso de bioestimulantes en plantas forestales autóctonas como *C. pubescens* pueden aportar significativamente para estandarizar protocolos del manejo silvicultural, a nivel de vivero. Estos compuestos orgánicos pueden potenciar la eficacia en la asimilación de nutrientes de las plantas y fortalecer su capacidad para resistir tensiones bióticas y abióticas (Echeverría-Salazar et al., 2023). Lograr plantas vigorosas de *Cinchona*, con tamaños adecuados y en tiempos relativamente cortos es una meta general en Perú. Diversos investigadores y academias han propuesto realizar estudios para optimizar su reproducción, abarcando temáticas de factores intrínsecos (biología, fisiología) y extrínsecos (suelo, clima, nutrición).

En este estudio, se observó un crecimiento lento en las plantas de quina durante los primeros 60 días después del trasplante, aunque los bioestimulantes mostraron un efecto beneficioso en las plantas de quina, los resultados más marcados se evidenciaron a partir de los 60 días, lo que sugiere la necesidad de un periodo de evaluación más prolongado para determinar un efecto más sólido. Además, se debe tener en cuenta el manejo agronómico adecuado para la quina en condiciones *ex situ*, tanto en términos de germinación como de crecimiento.

A pesar de las limitaciones mencionadas, este estudio sienta las bases para futuras investigaciones sobre el manejo silvicultural del género *Cinchona*. Los primeros resultados obtenidos demostraron que los bioestimulantes tuvieron un efecto favorable en el crecimiento y desarrollo de la quina, por lo tanto, esta investigación puede contribuir a mejorar las prácticas de manejo silvícola y potenciar la propagación masiva de la especie con fines de reforestación.

Conclusiones

La utilización de estos bioestimulantes tuvo efectos significativos en varios parámetros de crecimiento de las plantas de quina. Entre los tratamientos evaluados, se observó que Agrostemin®-GL demostró tener una influencia positiva en el incremento del tamaño de plantas y biomasa foliar. Por otro lado, el biol nutritivo mostró una influencia específica en el crecimiento de la biomasa radicular, destacándose en estos aspectos frente a los demás tratamientos.

Estos hallazgos sugieren que la aplicación de bioestimulantes orgánicos, especialmente de Agrostemin®-GL y biol nutritivo, puede ser una estrategia prometedora para mejorar el

crecimiento y el desarrollo de las plantas de quina en condiciones de cultivo en invernadero, lo que podría tener implicaciones importantes para la producción y el cultivo comercial de esta especie; sin embargo, se requieren más investigaciones para comprender completamente los mecanismos subyacentes detrás de estos efectos y optimizar las dosis y los métodos de aplicación de los bioestimulantes, para lograr resultados óptimos en la producción de quina.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la empresa Servicios Generales Jucusbamba E. I. R. L. y al ingeniero Ariel Chichipe Puscan, por el apoyo logístico durante la realización de la investigación.

Contribución de los autores

Tito Sanchez-Santillan: concepción, escritura y ejecución del estudio; María Hipólita Huamán Vela: recolección de semillas y diseño de la investigación; Franklin Hitler Fernández-Zarate: análisis estadístico de los datos; Jheiner Vásquez García: escritura y revisión del artículo.

Implicaciones éticas

No existen implicaciones éticas.

Conflicto de interés

Los autores manifiestan que no existen conflictos de interés en este estudio.

Financiación

El trabajo fue realizado en el vivero de la empresa Servicios Generales Jucusbamba E. I. R. L. (Perú).

Referencias

- Ambrožič-Dolinšek, J., Ornik, D., Branda, R., Molnár, Z., & Ciringier, T. (2021). Does biostimulant Agrostemin[®] exhibit plant growth regulator activities? *Phyton*, 61, 109-116. <https://www.verlag-berger.at/detailview?no=3014>
- Andersson, L. (1995). Diversity and origins of Andean Rubiaceae. En S. P. Churchill, H. Balslev, E. Forero, & J. L. Luteyn (eds.), *Biodiversity and Conservation of Neotropical Montane Forest* (pp. 441-450). New York Botanical Garden.

- Barrutia-Rodríguez, R. R., Barrutia-Barreto, I., & Marín-Velásquez, T. D. (2020). Germinación de semillas de *Cinchona officinalis* L. en tres tipos de suelos de Cajamarca, Perú. *Revista Cubana de Ciencias Forestales*, 8(1), 75-87. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2310-34692020000100075
- Bharadwaj, K. C., Gupta, T., & Singh, R. M. (2018). Chapter 9 - Alkaloid group of *Cinchona officinalis*: Structural, synthetic, and medicinal aspects. En A. Tewari, & S. Tiwari (eds.), *Synthesis of Medicinal Agents from Plants* (pp. 205-227). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102071-5.00009-X>
- Caraguay-Yaguana, K. A., Eras-Guaman, V. H., Gonzalez- Zaruma, D., Moreno-Serrano, J., Minchala-Patiño, J., Yaguana-Arevalo, M., & Valarezo-Ortega, C. (2016). Potencial reproductivo y análisis de calidad de semillas de *Cinchona officinalis* L., provenientes de relictos boscosos en la Provincia de Loja - Ecuador. *Revista Investigaciones Altoandinas*, 18(3), 271-280. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5645611>
- Castellanos González, L., & Santana Díaz, T. (2018). Efecto bioestimulante de *Trichoderma harzianum* Rifai en posturas de Leucaena, Cedro y Samán. *Colombia Forestal*, 21(1), 81-90. <https://doi.org/10.14483/2256201X.11744>
- Díaz Medina, A., Suárez Pérez, C., Díaz Milanes, D., López Pérez, Y., Morera Barreto, Y., & López, J. (2016). Influencia del bioestimulante FitoMas-E sobre la producción de posturas de cafeto (*Coffea arabica* L.). *Centro Agrícola*, 43(4), 29-35. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0253-57852016000400004
- Echeverría-Salazar, A. J., Vega Armijos, J. E., & Luna-Romero, A. E. (2023). Evaluación de bioestimulante orgánico en cacao (*Theobroma cacao* L.) variedad nacional en etapa de vivero. *Revista Científica Agroecosistemas*, 11(1), 52-58. <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/596>
- Fernández-Zárate, F. H., Huaccha-Castillo, A. E., Quiñones-Huatangari, L., Vaca-Marquina, S. P., Sanchez-Santillan, T., Morales-Rojas, E., Seminario-Cunya, A., Guelac-Santillan, M., Barturén-Vega, L. M., & Coronel-Bustamante, D. (2022). Effect of arbuscular mycorrhiza on germination and initial growth of *Cinchona officinalis* L. (Rubiaceae). *Forest Science and Technology*, 18(4), 182-189. <https://doi.org/10.1080/21580103.2022.2124318>
- Gómez Silvera, A., Beraun Macedo, L. A., Gómez Rengifo, O. J., & Llatas Ducep, E. (2016). *Procesos de regeneración natural de la quina o cascarilla (Cinchona spp.): en los bosques de neblina del distrito de Kañaris, región Lambayeque*. Programa Bosques Andinos. https://www.bosquesandinos.org/wp-content/uploads/2021/05/Gomez-procesos_reg.pdf
- Guevara, S., Laborde, J., & Sánchez-Ríos, G. (2004). Rain forest regeneration beneath the canopy of fig trees isolated in pastures of Los Tuxtlas, Mexico. *Biotropica*, 36(1), 99-108. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2004.tb00300.x>
- Huamán, L., Albán, J., & Chilquillo, E. (2019). Aspectos taxonómicos y avances en el conocimiento del estado actual del árbol de la quina (*Cinchona officinalis* L.) en el norte de Perú. *Ecología Aplicada*, 18(2), 145-153. <https://doi.org/10.21704/rea.v18i2.1333>
- Jäger, H. (2015). Biology and Impacts of Pacific Island Invasive Species. 11. *Cinchona pubescens* (Red Quinine Tree) (Rubiaceae) L. *Pacific Science*, 69(2), 133-153. <https://doi.org/10.2984/69.2.1>
- Jiménez-Arias, D., Morales-Sierra, S., Borges, A. A., Herrera, A. J., & Luis, J. C. (2022). New biostimulants screening method for crop seedlings under water deficit stress. *Agronomy*, 12(3), 728. <https://doi.org/10.3390/agronomy12030728>

- Kama Serna, A. (2017). *Aplicación de biol en cultivo de haba (Vicia faba L.) bajo riego por goteo en la Estación Experimental Choquenaira* [Tesis de pregrado, Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia]. Repositorio Institucional Universidad Mayor de San Andrés. <https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/13212>
- Lemus-Soriano, B. A., Venegas-González, E., & Pérez-López, M. A. (2021). Efecto de bioestimulantes radicales sobre el crecimiento en plantas de aguacate. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(6), 1139-1144. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i6.2725>
- Linares-Gabriel, A., López-Collado, C. J., Tinoco-Alfaro, C. A., Velasco-Velasco, J., & López-Romero, G. (2017). A Application of biol, inorganic fertilizer and superabsorbent polymers in the growth of heliconia (*Heliconia psittacorum* cv. Tropica). *Revista Chapingo. Serie Horticultura*, 23(1), 35-48. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2016.02.004>
- López, N. (2016). Evaluación del paisaje y recursos escénicos después de 350 años de explotación de la “cascarilla” o “Quina” *Cinchona officinalis* L. (Rubiaceae) en el Sector Cajanuma-Rumishitana, Ecuador. *Arnaldoa*, 23(2), 461-474. <https://doi.org/10.22497/arnaldoa.232.23205>
- Moreno Rivas, L. P., López Rodríguez, H., Medina Litardo, R., & Pérez Almeida, I. (2021). Efecto de bioestimulantes sobre el crecimiento de la Vainilla Tahitensis en Daule, Ecuador. *Revista Científica Ecociencia*, 8(6), 25-38. <https://doi.org/10.21855/ecociencia.86.606>
- Prendergast, H. D., & Dolley, D. (2001). Jesuits' bark (*Cinchona* [Rubiaceae]) and other medicines. *Economic Botany*, 55(1), 3-6. <http://www.jstor.org/stable/4256385>
- Rafael, R., Medina, M., Gago, D., & Díaz, H. (2018). Fertilización con fuentes orgánicas en dos variedades de café (*Coffea arabica* L.) a nivel de vivero. *RevLA*, 2(1-2). <https://revistas.unas.edu.pe/index.php/revia/article/view/106>
- Ruiz, E. M. (2018). Efecto de tres tipos de abono orgánico líquido (biol), en la etapa de desarrollo en vivero de bolaina blanca (*Guazuma crinita* c. Martius) en Pucallpa Perú. *Tzhoecoen*, 10(3), 371-382. <https://doi.org/10.26495/rtzh1810.327529>
- Sánchez-Santillán, T. (2023). *Efecto de hongos micorrizicos arbusculares y abonos orgánicos en plantas de quina (Cinchona officinalis L.) bajo condiciones de invernadero y vivero*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas. <https://hdl.handle.net/20.500.14077/3198>
- Sánchez Santillán, T., Altamirano Tantalean, M. A., Huaman Vela, M. H., Guelac Santillan, M., Rojas, K. C., & Morales Rojas, E. (2022). Efecto de micorrizas arbusculares y abonos orgánicos en el comportamiento vegetativo de *Cinchona officinalis* en ambientes controlados. *Revista Científica Pakamuros*, 10(3), 1-13. <https://doi.org/10.37787/pakamuros-unj.v10i3.311>
- Sánchez Santillán, T., Chichipe Puscán, A. K., Huaman Pilco, A. F., Morales Rojas, E., & Chavez Quintana, S. G. (2020). Efecto del área foliar y bioestimulantes en la propagación vegetativa de café especial (*Coffea arabica* L. var. typica) en cámara de subirrigación. *Revista de Investigación de Agroproducción Sustentable*, 4(3), 1-7. <https://doi.org/10.25127/aps.20203.663>
- Viteri Ferrín, J. R., & Macías Chila, R. (2019). Estudio para el uso de bioestimulante en la supervivencia de plantas injertadas de cacao CCN 51, en el Cantón El Carmen en el año 2018. *Caribeña de Ciencias Sociales*, (marzo). <https://www.eumed.net/rev/caribe/2019/03/uso-bioestimulante-plantas.html>