

Combinación de diferentes formas de aplicación de Pectimorf® en plantas de *Phaseolus vulgaris* L. biofertilizadas



Combination of different forms of application of Pectimorf® in biofertilized *Phaseolus vulgaris* L. plants

<https://cu-id.com/2284/v14n1e04>

[✉]Danurys Lara-Acosta*, [✉]María Caridad Nápoles-García, [✉]Alejandro Bernardo Falcón-Rodríguez

Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Dpto. de Fisiología y Bioquímica Vegetal, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

RESUMEN: La productividad agrícola actual resulta insuficiente para cubrir la demanda de la población mundial. Una alternativa para reducir esta problemática puede ser el uso de los bioestimulantes. El objetivo de esta investigación fue determinar el efecto de la combinación de distintas formas de aplicación de Pectimorf® en la nodulación y en el crecimiento de plantas de frijol común biofertilizadas con Azofert®-F. El experimento se realizó en condiciones semicontroladas y se evaluó la aplicación de Pectimorf® a las semillas (10 mg·L⁻¹) conjuntamente con Azofert®-F, la aspersión foliar en la etapa de crecimiento correspondiente a V3 (5 y 100 mg L⁻¹) y la combinación de ambas formas de aplicación; en la nodulación y en el crecimiento de plantas de frijol común Cuba Cueto-25-9-N. Para ello se emplearon dos controles: uno en el que las plantas no se trataron con los bioestimulantes y otro en el que solo se biofertilizaron con Azofert®-F. La combinación de las formas de aplicación estimuló la nodulación y el crecimiento de las plantas, destacándose la mayor concentración, 100 mg·L⁻¹. El producto Pectimorf® mostró más de un 40 % de efectividad con relación a la biofertilización cuando se combinaron las formas de aplicación.

Palabras clave: bioestimulantes, aplicación a las semillas, aspersión foliar, nodulación, crecimiento.

ABSTRACT: The current agricultural productivity is insufficient to cover the demand of the world population. An alternative to reduce this problem could be the use of biostimulants. The objective of this research was to determine the effect of the combination of different Pectimorf® forms of application, on the nodulation and growth of common bean plants biofertilized with Azofert®-F. The experiment was carried out under semi-controlled conditions and the application of Pectimorf® to the seeds (10 mg·L⁻¹) was evaluated together with Azofert®-F, foliar spraying in the growth stage corresponding to V3 (5 and 100 mg·L⁻¹) and the combination of both application forms; on common bean plants Cuba Cueto-25-9-N nodulation and growth. Two controls were used: one in which the plants were not treated with biostimulants and another one in which they were only biofertilized with Azofert®-F. The combination of the application forms stimulated the plants nodulation and growth, highlighting the highest concentration, 100 mg·L⁻¹. The product Pectimorf® showed more than 40 % effectiveness in relation to biofertilization when the forms of application were combined.

Keywords: biostimulants, seed application, foliar spray, nodulation, growth.

INTRODUCCIÓN

La agricultura, a lo largo de la historia, ha sido la base del desarrollo y la subsistencia de la sociedad humana. De esta práctica se derivan buena parte de los alimentos básicos que conforman los pilares de la dieta de la población mundial. Sin embargo, la productividad agrícola actual es insuficiente para

cubrir la demanda de una población creciente. De hecho, se estima que para el año 2050, será necesario un aumento de al menos el 70 % en la producción de alimentos para mantener la seguridad alimentaria de los 9.8 billones de personas que existirán para esta época en el mundo (Vinchira-Villarraga y Moreno-Sarmiento, 2019). Además, es necesario reducir el impacto ambiental derivado de la producción de

*Autora para correspondencia: Danurys Lara-Acosta, e-mail: danurys@inca.edu.cu

Recibido: 16/05/2023

Aceptado: 08/12/2023

alimentos, por lo que debe mejorar la eficiencia en la utilización de los recursos no renovables y maximizar la productividad a través del uso de alternativas biológicas que aseguren rentabilidad ([Pedraza-Zapata et al., 2017](#)).

Durante mucho tiempo se han empleado los bioestimulantes en la agricultura con el objetivo de reducir insumos e incrementar el rendimiento y la calidad de los cultivos. Otro de los propósitos que se persigue con el empleo de estos compuestos naturales es la disminución en el uso de fertilizantes inorgánicos, que tanto daño causan al medio ambiente cuando se utilizan desmedidamente ([Bulgari et al., 2015](#)). En las últimas décadas el uso de los bioestimulantes en la agricultura ha aumentado significativamente. La gran demanda de estos compuestos se asocia con sus efectos beneficiosos en el crecimiento, productividad y protección de las plantas ([Rouphael & Colla, 2020](#)).

Para Cuba, como país subdesarrollado, los bioestimulantes juegan un papel de suma importancia desde el punto de vista económico y medio ambiental. Económico porque reduce costos en cuanto a importaciones de insumos para la agricultura ya que estos bioestimulantes pueden ser elaborados en territorio nacional con las propias materias primas con que cuenta el país. En cuanto al aspecto medio ambiental, los bioestimulantes son compuestos orgánicos capaces de mejorar la eficacia, absorción y asimilación de nutrientes en las plantas. No representan un agente contaminante para el medio ambiente, ni para el hombre ([Salazar-Rodríguez et al., 2021](#)).

Uno de los cultivos que mayores afectaciones sufre desde el punto de vista productivo es el frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) ([Polania et al., 2016](#)). El frijol es la leguminosa más importante en el consumo humano, constituye un complemento nutricional indispensable en la dieta diaria de más de 300 millones de personas en el mundo y es un componente importante en los sistemas de producción agrícola ([Magaña-Lemus et al., 2015](#)). Su grano contribuye a la prevención de enfermedades del corazón, del tubo digestivo y a evitar la obesidad. Es por ello que instituciones médicas a nivel mundial promueven su consumo, convirtiéndolo en un producto comercialmente atractivo ([Ganesan & Xu, 2017](#)).

Desde hace varios años, en el Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas se trabaja en el desarrollo y formulación de bioestimulantes que tengan efectos beneficiosos en el crecimiento y desarrollo del cultivo del frijol común. Entre estos productos destacan el Pectimorf® y el Azofert®-F. El Pectimorf® está constituido por oligosacáridos pépticos, que se obtienen a partir de la pectina cítrica, cuyo principio activo es una mezcla de α -1,4 oligogalacturónidos con diferentes grados de polimerización ([Cabrera et al.,](#)

[2003](#)). Mientras que el Azofert®-F es un bioestimulante microbiano que contiene cepas de rizobios seleccionadas por su competitividad y eficiencia, así como altas concentraciones de inductores de la nodulación ([Nápoles et al., 2002](#)). Investigaciones previas con la combinación de estos bioproductos tuvieron como objetivo encontrar las concentraciones y formas de aplicación más efectivas en la estimulación de los procesos fisiológicos y bioquímicos del frijol ([Lara et al., 2021](#); [Lara-Acosta et al., 2019](#)). A partir de estos estudios se determinó que la aplicación de Pectimorf® a las semillas conjuntamente con Azofert®-F a la concentración de 10 mg L⁻¹ y la aplicación por aspersión a las concentraciones de 5 y 100 mg L⁻¹, en la etapa de crecimiento V3 (cuando las plantas tienen el segundo par de hojas trifoliadas desplegadas), corresponden a los tratamientos con los que se obtienen mejores resultados en la nodulación y en el crecimiento de las plantas de frijol común en la etapa de prefloración ([Lara-Acosta et al., 2019](#)). Teniendo en cuenta estos antecedentes, el objetivo del presente trabajo fue determinar el efecto de la combinación de distintas formas de aplicación de Pectimorf® en la nodulación y en el crecimiento de plantas de frijol común biofertilizadas con Azofert®-F.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el Departamento de Fisiología y Bioquímica Vegetal del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), provincia Mayabeque, Cuba, durante los meses de octubre a noviembre de 2019. Como material vegetal se utilizaron semillas de frijol común, variedad Cuba Cueto-25-9-N (*Phaseolus vulgaris* L.), procedentes del Banco de germoplasma de semillas del Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical "Alejandro de Humboldt" (INIFAT), Cuba ([Fernández et al., 2014](#)). Por su comportamiento ante las enfermedades y manejo agronómico, esta variedad, se incluye dentro de las 25 variedades de frijol común seleccionadas para facilitar el plan estatal de producción de semillas en Cuba ([Faure et al., 2016](#)).

Como biofertilizante se empleó el producto comercial Azofert®-F, con Registro No. 002/17 y patente concedida por resolución OCPI No. 556/2002 [Nápoles et al. \(2002\)](#), a base de la cepa *Rhizobium tropici* CIAT 899 [Martínez-Romero et al. \(1991\)](#) a una concentración de $7,3 \times 10^{10}$ UFC mL⁻¹. Se aplicó en dosis de 200 mL por cada 46,04 kg de semilla, previo a la siembra. El bioestimulante Pectimorf®, compuesto por una mezcla de oligosacáridos pépticos (oligogalacturónidos, OGs), con Registro No. RCF 017/18 y patente No. 22859/2003 [Cabrera et al. \(2003\)](#), se empleó en concentraciones de 5, 10 y

100 mg L⁻¹, seleccionadas a partir de estudios previos (Lara-Acosta et al., 2019).

En el estudio se establecieron siete tratamientos: dos controles (uno inoculado solo con Azofert®-F (CI) y el otro no inoculado ni tratado con Pectimorf® (CA)). En uno de los tratamientos las semillas de frijol común se trataron con una mezcla que contenía Pectimorf® a 10 mg L⁻¹ y el inoculante Azofert®-F (A) a la concentración y dosis referida, en un volumen total de 400 mL por cada 46,04 kg de semilla, previo a la siembra. En otros dos tratamientos las semillas se inocularon con Azofert®-F y luego en la etapa de crecimiento V3 (cuando las plantas tenían el segundo par de hojas trifoliadas desplegadas) se aplicó el bioestimulante Pectimorf® por aspersión foliar a las concentraciones de 5 y 100 mg L⁻¹ (1,5 mL por planta). En los restantes dos tratamientos se combinaron ambas formas de aplicación. Los tratamientos se establecieron como se muestra en la [Tabla 1](#).

Las plantas crecieron en condiciones de invernadero en recipientes plásticos de 0,55 kg de capacidad de suelo Ferralítico Rojo Lixiviado típico, éutrico (Hernández, 2015) y se regaron cada día con 50 mL de agua corriente (480 ± 25 µS cm⁻¹). Las variables climatológicas promedios: 25,7 ± 2 °C de temperatura y 82,5 ± 4 % de humedad relativa, se calcularon a partir del registro mensual por la Estación Meteorológica de Tapaste No. 78 374, ubicada en el Km 3 ½ Carretera Tapaste-San José, San José de las Lajas, provincia Mayabeque, Cuba.

Para el análisis químico del suelo se tomaron muestras de 0-20 cm de profundidad y se emplearon los métodos descritos por Paneque-Pérez et al. (2010). El suelo se caracterizó por presentar pH cercano a la

neutralidad, contenido bajo de materia orgánica, contenido alto de fósforo asimilable y niveles adecuados de calcio y magnesio (Tabla 2). Las características químicas del suelo se consideraron adecuadas para el crecimiento de plantas de frijol Cuba Cueto-25-9-N, a partir de lo informado en los manuales para la producción sostenible de este cultivo (Espinoza et al., 2019; Faure et al., 2017).

El contenido de materia orgánica (M.O) se determinó según el método de Walkley & Black (1934), el pH por el método potenciométrico, con una relación suelo-agua (1:2,5), el fósforo asimilable por el método de Oniani a partir de una extracción con H₂SO₄ (0,1 N), los cationes intercambiables calcio (Ca²⁺) y magnesio (Mg²⁺) por complejometría, a partir de una extracción con NH₄OAc (1 mol L⁻¹) a pH= 7

En la etapa de crecimiento R5 (cuando las plantas presentaban los primeros botones florales) se determinó, en 20 plantas por tratamiento, el número (u planta⁻¹) y la masa seca de los nódulos (g planta⁻¹); el número de trifoliolos (u planta⁻¹), el diámetro (cm planta⁻¹) y largo del tallo (cm planta⁻¹), la longitud radical (cm planta⁻¹), la masa seca aérea y de las raíces (g planta⁻¹) y el contenido relativo de clorofilas totales en la tercera hoja trifoliada (unidades SPAD) con el medidor portátil MINOLTA SPAD 502 Plus. Para determinar la masa seca se empleó una balanza analítica, luego de colocar las muestras en una estufa durante 72 h a 75 °C, tiempo requerido para que mantuvieran un peso constante.

La efectividad del bioestimulante Pectimorf® en el crecimiento con respecto a las plantas que solo se biofertilizaron, se determinó a partir de la [ecuación \(1\)](#) de Santillana et al. (2005).

TABLA 1. Tratamientos establecidos para determinar la mejor forma de aplicación de Pectimorf® en semillas o plantas de frijol biofertilizadas con Azofert®-F

Tratamientos	
T1	Control absoluto no tratado (CA)
T2	Semillas inoculadas con Azofert®-F (CI)
T3	A + Pm (10 mg L ⁻¹) aplicado a las semillas previo a la siembra
T4	A + Pm (5 mg L ⁻¹) aplicado por aspersión foliar en V3
T5	A + Pm (100 mg L ⁻¹) aplicado por aspersión foliar V3
T6	A + Pm (10 mg L ⁻¹) aplicado a las semillas previo a la siembra + Pm (5 mg L ⁻¹) aplicado por aspersión foliar en V3
T7	A + Pm (10 mg L ⁻¹) aplicado a las semillas previo a la siembra + Pm (100 mg L ⁻¹) aplicado por aspersión foliar en V3

A: Azofert®-F, Pm: Pectimorf®

TABLA 2. Características químicas del suelo Ferralítico Rojo Lixiviado típico, éutrico, que se utilizó para el crecimiento de las plantas de frijol variedad Cuba Cueto-25-9-N

pH (H ₂ O)	Características químicas del suelo			
	M.O g kg ⁻¹	P mg kg ⁻¹	Ca ²⁺ cmol kg ⁻¹	Mg ²⁺ cmol kg ⁻¹
6,23	16,10	75,00	29,25	9,75

$$E = \frac{MST_{Pm} - MST_b}{MST_b} \times 100 \quad (1)$$

donde:

E: efectividad del bioestimulante Pectimorf® en el crecimiento con respecto a las plantas que solo se biofertilizaron.

MST_{Pm}: masa seca total de las plantas biofertilizadas y tratadas con Pectimorf®.

MST_b: masa seca total de las plantas que solo se biofertilizaron.

El experimento se realizó bajo un Diseño Completamente Aleatorizado y se repitió en dos ocasiones. Solo se muestran los datos de una repetición dada la similitud en el comportamiento de los resultados. Los datos se procesaron mediante un análisis de varianza de clasificación simple y comparación de medias por la Prueba de Tukey $p < 0,05$; en el programa estadístico IBM SPSS, Statistics v22. Antes del análisis de varianza, se comprobó la normalidad de los datos por la prueba de Kolmogorov-Smirnov y la homogeneidad de varianzas con el estadístico de Levene. Los gráficos se realizaron en el programa Microsoft Excel 2010.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el estudio se evidenció mayor efectividad de las bacterias en el inoculante Azofert®-F respecto a la de posibles rizobios residentes en el suelo que se empleó como sustrato para el crecimiento de las plantas. Tanto las plantas que solo se trataron con Azofert®-F (CI) como las que recibieron ambos bioestimulantes, mostraron incrementos en las variables de nodulación que se evaluaron con respecto al tratamiento control sin tratar (CA). En cuanto al efecto del bioestimulante Pectimorf®, se observó un mayor número de nódulos e incrementos en la masa seca de los nódulos cuando se combinó la aplicación a las semillas (10 mg L⁻¹) con la aspersión foliar a la concentración de 100 mg L⁻¹ (Figura 1). Es importante destacar, además, que la masa seca de los nódulos de las plantas que se trataron con Pectimorf® en sus dos formas de aplicación, así como su combinación, fue mayor que en el caso de las que solo se biofertilizaron con Azofert®-F (Figura 1B).

En estudio previos, en condiciones de cultivo controladas en los que se evaluaron las mismas concentraciones y formas de aplicación de Pectimorf® que las del presente trabajo, este bioestimulante también incrementó las variables de nodulación, sobretodo la masa seca de los nódulos (Lara et al., 2021; Lara-Acosta et al., 2019). Sin embargo, en el cultivo de soya, variedades INCAsoy-24 e INCAsoy-27, la aplicación de Pectimorf® por aspersión foliar a la concentración de 10 mg L⁻¹ en plantas inoculadas con Azofert®-S no estimuló el proceso de nodulación (Corbera & Nápoles, 2011; Corbera-Gorotiza & Nápoles-García, 2013).

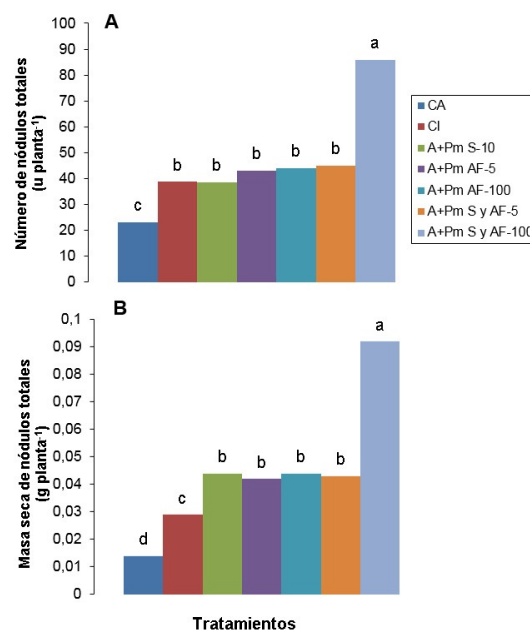


FIGURA 1. Efecto de diferentes formas de aplicación de Pectimorf® en la nodulación de plantas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) Cuba Cueto-25-9-N inoculadas con Azofert®-F, evaluadas en R5 y cultivadas en condiciones semicontroladas. CA: sin tratamiento con los bioestimulantes, CI: Azofert®-F, A+Pm S-10: Azofert®-F+Pectimorf® (10 mg L⁻¹) aplicados a las semillas, A+Pm AF-5: Azofert®-F+Pectimorf® (5 mg L⁻¹) aplicado por aspersión foliar en V3, A+Pm AF-100: Azofert®-F+Pectimorf® (100 mg L⁻¹) aplicado por aspersión foliar en V3, A+Pm S y AF-5: Azofert®-F+Pectimorf® (10 mg L⁻¹) aplicados a las semillas y Pectimorf® (5 mg L⁻¹) aplicado por aspersión foliar en V3, A+Pm S y AF-100: Azofert®-F+Pectimorf® (10 mg L⁻¹) aplicados a las semillas y Pectimorf® (100 mg L⁻¹) aplicado por aspersión foliar en V3. Medias con letras iguales no difieren significativamente según Tukey ($p < 0,05$), $n = 20$. ES x: error estándar de la media, (A) ES $x = 2,92$ y (B) ES $x = 0,001$.

Se plantea que el efecto de Pectimorf® en la nodulación de las plantas de frijol común podría estar relacionado con la capacidad que tiene este bioestimulante para actuar como sustituto de hormonas tradicionales, principalmente de la auxina (Borges et al., 2015; Borges-García et al., 2017; Izquierdo et al., 2016; Santos-Pino et al., 2017). A pesar de que aún no se han estudiado las bases moleculares que permiten definir los mecanismos mediante los cuales este producto provoca tal efecto, podría relacionarse con la transmisión de un grupo de señales que provocan incrementos en los niveles de esta fitohormona, lo cual favorece todos los procesos que regula, como lo hace en el crecimiento de las raíces en peciolos de violeta africana (Falcón y Cabrera, 2007) y en la formación de raíces adventicias en esquejes de guayaba (Ramos-Hernández et al., 2013).

La combinación de ambas formas de aplicación del bioestimulante Pectimorf® a las concentraciones seleccionadas favoreció varios de los indicadores del crecimiento que se evaluaron (Tablas 3 y 4). En todos los tratamientos en los que se aplicó Pectimorf® por aspersión foliar o combinado con la aplicación a las semillas, a las concentraciones de 5 y 100 mg L⁻¹, se incrementó el número de hojas trifoliadas en las plantas. Sin embargo, no se obtuvo diferencias significativas en el área foliar entre las plantas que se trataron con la mezcla de OGs y las que solo fueron inoculadas con Azofert®-F, pero si mostraron un incremento significativo en esta variable las plantas a las que se aplicó Pectimorf® por aspersión foliar a la concentración de 100 mg L⁻¹ con respecto a las plantas que no se trataron con ninguno de los bioestimulantes. El producto a base de OGs también mostró un efecto positivo en la masa seca aérea cuando se aplicó por aspersión foliar a la concentración de 100 mg L⁻¹ y se combinaron las formas de aplicación. Se debe destacar, que la combinación de las formas de aplicación no mostró diferencias significativas con el resto de los tratamientos con Pectimorf® en esta variable (Tabla 3).

El bioestimulante Pectimorf® incrementó el contenido de clorofilas totales en la tercera hoja trifoliada cuando se combinó la aplicación a las semillas con la aspersión foliar (Tabla 3). Un mayor contenido de clorofila en estas plantas podría garantizar una mayor tasa fotosintética, permitiendo la obtención de un mayor número de compuestos carbonados para ser utilizados en los procesos metabólicos, que incluye el desarrollo y funcionamiento de los nódulos (Azcon-Bieto & Talón, 2013).

Las plantas que se trataron con Pectimorf® y las que solo se biofertilizaron con Azofert®-F presentaron tallos de mayor longitud con respecto a las que no se trataron con los productos. A pesar de que el Pectimorf® mostró mejores resultados, solo la combinación de la aplicación a las semillas con la aspersión foliar a la concentración de 100 mg L⁻¹ incrementó significativamente esta variable. Este tratamiento también estimuló el crecimiento del diámetro del tallo y no mostró diferencias con la aplicación foliar de 100 mg L⁻¹ y la combinación de la aplicación a las semillas con la aspersión foliar a la concentración de 5 mg L⁻¹ (Tabla 4).

En la longitud de la raíz no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos correspondientes a las distintas formas de aplicación y sus combinaciones, con el tratamiento en el que solo se inocularon las plantas. Los mayores valores correspondieron a los tratamientos en que las plantas fueron asperjadas con la concentración de 100 mg L⁻¹ y en el que se combinó la aplicación a semillas con la aspersión foliar a la concentración de 5 mg L⁻¹. El efecto enraizador de este bioestimulante a base de OGs se observó en los tratamientos en los que se combinó la aplicación a semillas con la aspersión foliar, pero la mayor concentración de Pectimorf® fue la que mejor resultado mostró, al igual que en el proceso de nodulación (Figura 1).

En estudios previos se demostró que la combinación de Azofert®-F y Pectimorf® estimula el desarrollo radical en etapas tempranas del crecimiento vegetativo en frijol común. El efecto bioestimulante de ambos productos se manifestó en incrementos en el número de raíces laterales a la concentración de 100 mg L⁻¹ de Pectimorf® (Lara-Acosta et al., 2022).

TABLA 3. Efecto de diferentes formas de aplicación de Pectimorf® en el crecimiento aéreo y en el contenido de clorofilas de plantas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) Cuba Cueto-25-9-N inoculadas con Azofert®-F, evaluadas en R5 y cultivadas en condiciones semicontroladas

Tratamientos	Número de hojas (u planta ⁻¹)	Área Foliar (cm ² planta ⁻¹)	Masa seca aérea (g planta ⁻¹)	Clorofilas (unidades SPAD planta ⁻¹)
CA	4,10 c	0,84 b	1,07 c	28,54 b
CI	4,30 c	0,92 ab	1,12 c	29,06 b
A+Pm S-10	5,10 bc	1,04 ab	1,28 bc	29,59 b
A+Pm AF-5	6,00 ab	1,13 ab	1,27 bc	29,24 b
A+Pm AF-100	6,70 a	1,21 a	1,84 a	29,85 b
A+Pm S y AF-5	6,00 ab	0,95 ab	1,63 ab	35,12 a
A+Pm S y AF-100	6,00 ab	1,16 ab	1,63 ab	35,03 a
Esx	0,23	0,06	0,09	0,61

CA: sin tratamiento con los bioestimulantes, CI: Azofert®-F, A+Pm S-10: Azofert®-F+Pectimorf® (10 mg L⁻¹) aplicados a las semillas, A+Pm AF-5: Azofert®-F+Pectimorf® (5 mg L⁻¹) aplicado por aspersión foliar en V3, A+Pm AF-100: Azofert®-F+Pectimorf® (100 mg L⁻¹) aplicado por aspersión foliar en V3, A+Pm S y AF-5: Azofert®-F+Pectimorf® (10 mg L⁻¹) aplicados a las semillas y Pectimorf® (5 mg L⁻¹) aplicado por aspersión foliar en V3, A+Pm S y AF-100: Azofert®-F+Pectimorf® (10 mg L⁻¹) aplicados a las semillas y Pectimorf® (100 mg L⁻¹) aplicado por aspersión foliar en V3. Medias con letras iguales no difieren significativamente según Tukey (p<0,05), n=20. ES x: error estándar de la media.

TABLA 4. Efecto de diferentes formas de aplicación de Pectimorf® en el crecimiento de plantas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) Cuba Cueto-25-9-N inoculadas con Azofert®-F, evaluadas en R5 y cultivadas en condiciones semicontroladas

Tratamientos	Longitud del tallo (cm planta ⁻¹)	Diámetro del tallo (mm planta ⁻¹)	Longitud de la raíz (cm planta ⁻¹)	Masa seca de la raíz (g planta ⁻¹)
CA	55,09 c	2.45 c	25,41 c	0,28 c
CI	83,77 b	2.46 c	28,56 abc	0,30 bc
A+Pm S-10	91,95 ab	2.61 bc	28,00 abc	0,34 bc
A+Pm AF-5	106,53 ab	2.64 bc	29,58 ab	0,34 bc
A+Pm AF-100	103,45 ab	2.85 ab	30,76 a	0,35 bc
A+Pm S y AF-5	97,05 ab	2.77 ab	29,82 a	0,41 b
A+Pm S y AF-100	109,95 a	3,00 a	25,87 bc	0,67 a
Esx	5,93	0,06	0,89	0,03

CA: sin tratamiento con los bioestimulantes, CI: Azofert®-F, A+Pm S-10: Azofert®-F+Pectimorf® (10 mg L⁻¹) aplicados a las semillas, A+Pm AF-5: Azofert®-F+Pectimorf® (5 mg L⁻¹) aplicado por aspersión foliar en V3, A+Pm AF-100: Azofert®-F+Pectimorf® (100 mg L⁻¹) aplicado por aspersión foliar en V3, A+Pm S y AF-5: Azofert®-F+Pectimorf® (10 mg L⁻¹) aplicados a las semillas y Pectimorf® (5 mg L⁻¹) aplicado por aspersión foliar en V3, A+Pm S y AF-100: Azofert®-F+Pectimorf® (10 mg L⁻¹) aplicados a las semillas y Pectimorf® (100 mg L⁻¹) aplicado por aspersión foliar en V3. Medias con letras iguales no difieren significativamente según Tukey (p<0,05), n=20. ES x: error estándar de la media.

El incremento en el número de raíces laterales, permite mayor interacción de la planta con el suelo y con bacterias fijadoras de nitrógeno. Esto podría garantizar mayor cantidad de sitios de infección y bacteroides establecidos en el tejido vegetal, favoreciendo la fijación biológica del nitrógeno (Ye et al., 2018).

El bioestimulante Pectimorf® en sus dos formas de aplicación, así como en los tratamientos en los que se combinaron ambas formas, aumentó el crecimiento de las plantas con respecto a las que solo se biofertilizaron. Los mejores resultados se obtuvieron con la combinación de las formas de aplicación, destacándose el tratamiento con la mayor concentración de Pectimorf® (100 mg L⁻¹) con incrementos superiores al 60 % (Figura 2).

El efecto de Pectimorf® en las variables de crecimiento podría estar relacionado con los efectos positivos en la nodulación. Además de incrementar el número y la masa seca de los nódulos, este bioestimulante también favorece el proceso de fijación y transformación del nitrógeno atmosférico, a partir de aumentos en la actividad de la enzima nitrogenasa y en la expresión de la enzima glutamato sintasa que garantiza una mayor disponibilidad de compuestos nitrogenados, lo que aumenta la disponibilidad de este nutriente para el crecimiento de las plantas (Lara et al., 2021).

En la literatura, varios autores informan que los incrementos en la nodulación traen consigo aumentos en las variables de crecimiento Carter & Tegeder (2016); Costales-Menéndez & Falcón-Rodríguez (2018); Granda et al. (2014); Granda-Mora et al. (2017). en frijol común, demostraron una correlación positiva entre el número de nódulos y la masa seca

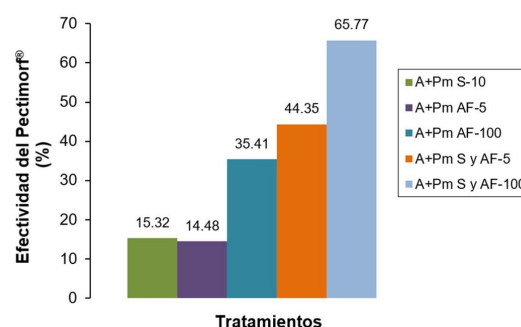


FIGURA 2. Efectividad del bioestimulante Pectimorf® en el crecimiento con respecto a la biofertilización de plantas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) Cuba Cueto-25-9-N con Azofert®-F, evaluadas en R5 y cultivadas en condiciones semicontroladas. A+Pm S-10: Azofert®-F+Pectimorf® (10 mg L⁻¹) aplicados a las semillas, A+Pm AF-5: Azofert®-F+Pectimorf® (5 mg L⁻¹) aplicado por aspersión foliar en V3, A+Pm AF-100: Azofert®-F+Pectimorf® (100 mg L⁻¹) aplicado por aspersión foliar en V3, A+Pm S y AF-5: Azofert®-F+Pectimorf® (10 mg L⁻¹) aplicados a las semillas y Pectimorf® (5 mg L⁻¹) aplicado por aspersión foliar en V3, A+Pm S y AF-100: Azofert®-F+Pectimorf® (10 mg L⁻¹) aplicados a las semillas y Pectimorf® (100 mg L⁻¹) aplicado por aspersión foliar en V3.

radical. Granda-Mora et al. (2016) también observaron en el cultivar Mantequilla inoculado con *R. leguminosarum* y *R. etli* una correlación positiva entre el número, la masa seca de nódulos, la masa seca radical y la masa seca aérea. Según estos autores, los

incrementos en las variables de crecimiento se deben a una mayor disponibilidad de nitrógeno como resultado de la fijación biológica de este elemento. [Haag et al. \(2013\)](#), también plantearon que mayor número y masa seca de los nódulos indica mayor contenido de bacteroides, con posible incremento en el proceso de fijación.

Por otro lado, los incrementos observados con la aplicación de Pectimorf® en los indicadores de crecimiento de la parte aérea de las plantas de frijol común (número de hojas, área foliar y masa seca aérea), [Tabla 1](#), podrían ser resultado del efecto de este bioestimulante en el desarrollo radical (longitud y masa seca radical), [Tabla 2](#). Las plantas con raíces de mayor tamaño y/o con un mayor número de raíces secundarias, pueden anclarse con mayor fortaleza al suelo y tener una mayor capacidad exploratoria, lo que les garantiza una mayor absorción de agua y minerales y les permite mayor eficiencia en todos los procesos metabólicos (fotosíntesis, respiración, transporte de sustancias, fijación biológica del nitrógeno). Esto conlleva a incrementos en el crecimiento, en la translocación de compuestos para la formación de vainas y semillas, en el rendimiento y en la calidad de los granos de frijol ([Martirena-Ramírez et al., 2019](#)).

Existen resultados en estudios de campo donde el Pectimorf® se aplicó a la concentración de 10 mg L⁻¹ a semillas de frijol, cultivar Odile, biofertilizadas con Azofert®-F y aumentó el número de legumbres y el peso de granos por planta (peso de 100 granos), incrementando el rendimiento. Según análisis económicos, el empleo del Pectimorf® mejoró el ingreso neto por hectárea en comparación con el control inoculado con Azofert®-F ([Moreno, 2018](#)). El incremento en el rendimiento del cultivo puede contribuir a aumentar el ingreso de los productores y a satisfacer a un mayor número de consumidores.

CONCLUSIONES

La combinación de la aplicación de Pectimorf® a las semillas y por aspersión foliar, en plantas biofertilizadas con Azofert®-F cultivadas en condiciones semicontroladas, mostró un efecto significativo en el proceso de nodulación y en el crecimiento de las plantas de frijol común, con incrementos por encima de un 40 % con respecto a las plantas que solo se biofertilizaron, destacándose la concentración de 100 mg L⁻¹.

Resulta importante aumentar la producción y extender a todo el país el empleo de bioestimulantes en la agricultura. Los aportes positivos de estos bioproductos a la soberanía y seguridad alimentaria del país es una realidad que no puede demorar, dado el contexto económico actual y la necesidad imperiosa de producir alimentos y reducir las importaciones.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Belkis Morales y a Juan Hugo Hernández, trabajadores del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, por producir los bioproductos evaluados en este estudio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Azcon-Bieto, J., & Talón, M. (2013). *Fundamentos de fisiología vegetal* (2da edición). Publicacions Edicions Universitat de Barcelona, España, ISBN: 978-84-481-9293-8.
- Borges, M., Reyes, D., Zayas, J., & Destrade, R. (2015). Efecto de Pectimorf® en el enraizamiento in vitro de plantas de 'FHIA-18' (Musa AAAB). *Bioteología Vegetal*, 15(4), 227-232, ISSN: 2074-8647.
- Borges-García, M., González-Paneque, O., Reyes-Avalos, D. M., Rodríguez-González, M., Villavicencio-Ramírez, A., & Abeal, E. D. (2017). Respuesta de plantas in vitro de ñame clon Blanco de guinea al uso del Pectimorf®. *Cultivos Tropicales*, 38(2), 129-136 ISSN: 1819-4087, e-ISSN: 0258-5936.
- Bulgari, R., Cocetta, G., Trivellini, A., Vernieri, P., & Ferrante, A. (2015). Biostimulants and crop responses: A review. *Biological Agriculture & Horticulture*, 31(1), 1-17, ISSN: 0144-8765, DOI: <https://doi.org/10.1080/01448765.2014.964649>.
- Cabrera, J., Gómez, R., Diosdado, E., Hormaza, J., Iglesias, R., Gutiérrez, A., & González, S. (2003). Procedimiento de obtención de una mezcla de oligosacáridos pécticos estimuladora del enraizamiento vegetal (Ministerio de Comercio Patent N. 22859).
- Carter, A. M., & Tegeder, M. (2016). Increasing nitrogen fixation and seed development in soybean requires complex adjustments of nodule nitrogen metabolism and partitioning processes. *Current Biology*, 26(15), 2044-2051, ISSN: 0960-9822, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cub.2016.06.003>.
- Corbera, J., & Nápoles, M. C. (2011). Evaluación de la inoculación conjunta Bradyrhizobium japonicum-hongos MA y la aplicación de un bioestimulador del crecimiento vegetal en soya, cultivada en época de primavera. *Cultivos Tropicales*, 32(4), 13-19, ISSN: 1819-4087, 0258-5936.
- Corbera-Gorotiza, J., & Nápoles-García, M. C. J. (2013). Efecto de la inoculación conjunta Bradyrhizobium elkanii-hongos MA y la aplicación de un bioestimulador del crecimiento vegetal en soya (Glycine max (L.) Merrill), cultivar INCASOY-27. *Cultivos Tropicales*, 34(2), 05-11, ISSN: 1819-4087, 0258-5936.
- Costales-Menéndez, D., & Falcón-Rodríguez, A. (2018). Combinación de formas de aplicación de quitosano en el desarrollo de soya biofertilizada. *Cultivos Tropicales*, 39(3), 71-79, ISSN: 1819-4087, 0258-5936.
- Espinoza, A., Valdivia, R., & Pilarte, F. (2019). Instructivo 3: Manejo de la fertilización de maíz y frijol-4R, basado en la evaluación visual de suelos. *Catholic Relief Services*.

- FALCÓN, A.B.; CABRERA, J.C. (2007). Actividad enraizadora de una mezcla de oligogalacturónidos en pecíolos de violeta africana (*Saintpaulia ionantha*). *Cultivos Tropicales*, 28(2), 87-90, ISSN: 0258-5936.
- Faure, B., Arteaga, G., Benítez, R., & Monzón, O. (2017). *Guía técnica para la producción sostenible del frijol común (Phaseolus vulgaris L.)*. Molinos S. A., Instituto de Investigaciones de Granos, Artemisa, Cuba.
- Faure, B., Benítez, R., García, A., & Ortega, L. (2016). *Manual para la producción sostenible del frijol común*. Molinos S. A., Instituto de Investigaciones de Granos, Artemisa, Cuba.
- Fernández, L., Shagarodsky, T., Cristóbal, R., Nuñez, L., Gil, J., Sánchez, Y., González, M., Moreno, V., Fundora, Z., & Castiñeiras, L. (2014). *Catálogo de variedades INIFAT*. Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical, 2014. ISBN: 978-959-7223-06.
- Ganesan, K., & Xu, B. (2017). Polyphenol-rich dry common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) and their health benefits. *International journal of molecular sciences*, 18(11), 23-31, ISSN: 1422-0067, DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms18112331>.
- Granda, K., OCHOA, M., RUILOVA, V., GUAMÁN, F., & TORRES, R. (2014). Evaluación de cepas nativas de *Rhizobium* sobre parámetros fenotípicos en frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). *Centro de Biotecnología*, 3(1), 25-37.
- Granda-Mora, K. I., Brunet, Y., & Torres-Gutiérrez, R. (2017). Efecto en campo de la cepa nativa COL6 de *Rhizobium leguminosarum* bv. *Viciae* sobre frijol común cv. Percal en Ecuador. *Centro Agrícola*, 44(2), 5-13, ISSN: 2072-2001, 0253-5785.
- Granda-Mora, K. I., Nápoles-García, M. C., Robles-Carrión, A. R., Brunet, Y., & Torres-Gutiérrez, R. (2016). Respuesta de *Phaseolus vulgaris* cv. Mantequilla a la inoculación de cepas de *Rhizobium* nativas de Ecuador en casas de cultivo. *Centro Agrícola*, 43(4), 49-56, ISSN: 2072-2001, 0253-5785.
- Haag, A. F., Arnold, M. F., Myka, K. K., Kerscher, B., Dall'Angelo, S., Zanda, M., Mergaert, P., & Ferguson, G. P. (2013). Molecular insights into bacteroid development during *Rhizobium*-legume symbiosis. *FEMS microbiology reviews*, 37(3), 364-383, 1574-6976, DOI: <https://doi.org/10.1111/1574-6976.2012.12003>.
- HERNÁNDEZ, J.A., PÉREZ, J.M., BOSCH, I.D., & CASTRO, S.N. (2015). *Clasificación de los suelos de Cuba*. Ediciones Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas.
- Izquierdo, H., Diosdado, E., González-Cepero, M. C., Núñez, M. de la C., Cabrera, J. C., Hernández, R. M., González, J. L., Hernández, M. M., Héctor, E. F., & Gómez, R. (2016). Contributions to knowledge of the functioning of national bioestimulators in plant biotechnology processes. *Biotecnología Aplicada*, 33(3), 3511-3516, ISSN: 1027-2852.
- Lara, D., Ramírez, M., Leija, A., Costales-Menéndez, D., Nápoles, M. C., Falcón-Rodríguez, A., & Hernández, G. (2021). Effect of a mix of oligogalacturonides on symbiotic nitrogen fixation in common bean. *Agronomía Colombiana*, 39(1), 30-36, ISSN: 0120-9965, DOI: <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v39n1.92081>.
- Lara-Acosta, D., Costales-Menéndez, D., Nápoles-García, M. C., & Falcón-Rodríguez, A. (2019). Pectimorf [R] and Azofert-F [R] in the growth of bean plants (*Phaseolus vulgaris* L.). *Cultivos Tropicales*, 40(4), 05, ISSN: 0258-5936.
- Lara-Acosta, D., Costales-Menéndez, D., Nápoles-García, M. C., & Falcón-Rodríguez, A. (2022). Efecto de la combinación de bioproductos en el crecimiento radicular de *Phaseolus vulgaris* L. *Cultivos Tropicales*, 43(3), 1-4, ISSN: 1819-4087.
- Magaña-Lemus, D., Gaucín-Piedra, S. D., & Flores-Rico, L. D. (2015). Análisis sectorial y de la dinámica de los precios del frijol en México. *Compendium: Cuadernos de Economía y Administración*, 2(3), 1-21, ISSN: 1390-9894.
- Martínez-Romero, E., Segovia, L., Martins-Mercante, F., Franco, A. A., Graham, P., & Pardo, M. A. (1991). *Rhizobium tropici*, a novel species nodulating *Phaseolus vulgaris* L. beans and *Leucaena* sp. Trees. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 41(3), 417-426, ISSN: 1466-5026, DOI: <https://doi.org/10.1099/00207713-41-3-417>.
- Martirena-Ramírez, A., Veitia, N., Torres, D., Rivero, L., García, L. R., Collado, R., & Ramírez-López, M. (2019). Longitud de la raíz: Indicador morfológico de la respuesta al estrés hídrico en *Phaseolus vulgaris* L. en casa de cultivo. *Biotecnología Vegetal*, 19(3), 225-233, ISSN: 2074-8647.
- Moreno, J. L. (2018). *Efecto de bioestimulantes de oligosacarinas en el desarrollo y productividad del frijol (Phaseolus vulgaris L.) C.V. ODILE* [Tesis de grado en opción al título de ingeniero agrónomo]. Universidad Agraria de La Habana "Fructuoso Rodríguez Pérez", Facultad de Agronomía, Departamento de Química, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.
- Nápoles, M., Gutiérrez, A., & Corbera, J. (2002). Medio de cultivo para *Bradyrhizobium japonicum*. *Biopreparado resultante*, 22, 797.
- Paneque-Pérez, V. M., Calaña, J. C., Calderón, M., Borges, Y., Hernández, T. C., & Caruncho, M. (2010). *Manual de técnicas analíticas para análisis de suelo, foliar, abonos orgánicos y fertilizantes químicos*. Ediciones Instituto San José de las Lajas, Provincia Habana, Cuba.
- Pedraza-Zapata, D. C., Sánchez-Garibello, A. M., Quevedo-Hidalgo, B., Moreno-Sarmiento, N., & Gutiérrez-Rojas, I. (2017). Promising cellulolytic fungi isolates for rice straw degradation. *Journal of Microbiology*, 55, 711-719, ISSN: 1225-8873, DOI: <https://doi.org/10.1007/s12275-017-6282-1>.
- Polania, J., Poschenrieder, C., Rao, I., & Beebe, S. (2016). Estimation of phenotypic variability in symbiotic nitrogen fixation ability of common bean under drought stress using ¹⁵N natural abundance in grain. *European Journal of Agronomy*, 79, 66-73, ISSN: 1161-0301, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.05.014>.

- Ramos-Hernández, L., Arozarena-Daza, N. L., Lescaille-Acosta, J., García-Cisneros, F., Tamayo-Aguilar, Y., Castañeda-Hidalgo, E., Lozano-Trejo, S., & Rodríguez-Ortiz, G. (2013). Dosis de pectimorf® para enraizamiento de esquejes de guayaba var. Enana Roja Cubana. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 4(SPE6), 1093-1105, ISSN: 2007-0934.
- Rouphael, Y., & Colla, G. (2020). Biostimulants in agriculture. *Frontiers in plant science*, 11(40), 1-7, ISSN: 1664-462X, DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00040>.
- Salazar-Rodríguez, Y., Alfonso-Martínez, J., & Gallardo-Cruz, A. (2021). Los bioestimulantes. Una alternativa para el desarrollo agroecológico cubano. *Revista ECOVIDA*, 11(3), 225-249, ISSN: 2076-281X.
- Santillana, N., Arellano, C., & Zúñiga, D. (2005). Capacidad del Rhizobium de promover el crecimiento en plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum miller*). *Ecología Aplicada*, 4(1-2), 47-51, ISSN: 1726-2216.
- Santos-Pino, A., Beovides-García, Y., Mollineda-Trujillo, M., López-Torres, J., Basail-Pérez, M., Gutiérrez-Sánchez, Y., Rayas-Cabrera, A., Medero-Vega, V., Barković, D., Rodríguez-Pérez, D., & Adriana, M. (2017). Efecto del pectimorf® como biorregulador del crecimiento en la micropropagación del cultivar 'INIVIT MX-2008' (*Xanthosoma sagittifolium* (L.) Schott). *Agricultura Tropical*, 3(1), 52-63, ISSN: 2517-9292.
- Ye, H., Roorkiwal, M., Valliyodan, B., Zhou, L., Chen, P., Varshney, R. K., & Nguyen, H. T. (2018). Genetic diversity of root system architecture in response to drought stress in grain legumes. *Journal of Experimental Botany*, 69(13), 3267-3277, ISSN: 0022-0957, DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/ery082>.

Danurys Lara-Acosta, MSc., Aspirante a Investigador, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas., Dpto. de Fisiología y Bioquímica Vegetal. Gaveta postal No.1, San José de las Lajas. Mayabeque, Cuba. CP 32700.

María Caridad Nápoles-García, Dr.C., Investigador Titular, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas., Dpto. de Fisiología y Bioquímica Vegetal. Gaveta postal No.1, San José de las Lajas. Mayabeque, Cuba. CP 32700 e-mail: tere@inca.edu.cu.

Alejandro Bernardo Falcón-Rodríguez, Dr.C., Investigador Titular, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas., Dpto. de Fisiología y Bioquímica Vegetal. Gaveta postal No.1, San José de las Lajas. Mayabeque, Cuba. CP 32700 e-mail: alfalcon@inca.edu.cu.

Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

CONTRIBUCIONES DE AUTOR: **Conceptualización:** Danurys Lara-Acosta. **Curación de datos:** Danurys Lara-Acosta, María Caridad Nápoles-García, Alejandro Bernardo Falcón-Rodríguez. **Análisis formal:** Danurys Lara-Acosta, María Caridad Nápoles-García. **Investigación:** Danurys Lara-Acosta, María Caridad Nápoles-García, Alejandro Bernardo Falcón-Rodríguez. **Metodología:** Danurys Lara-Acosta, María Caridad Nápoles-García. **Supervisión:** Danurys Lara-Acosta, María Caridad Nápoles-García. **Validación:** Danurys Lara-Acosta, María Caridad Nápoles-García, Alejandro Bernardo Falcón-Rodríguez. **Visualización:** Danurys Lara-Acosta, María Caridad Nápoles-García. **Redacción-borrador original:** Danurys Lara-Acosta, María Caridad Nápoles-García. **Redacción-revisión y edición:** Danurys Lara-Acosta, María Caridad Nápoles-García.

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

La mención de marcas comerciales de equipos, instrumentos o materiales específicos obedece a propósitos de identificación, no existiendo ningún compromiso promocional con relación a los mismos, ni por los autores ni por el editor.