



**Evaluación de alternativas preventivas para el manejo de *Plasmodiophora brassicae* Woronin en cultivos de coliflor bajo las condiciones del municipio de Mutiscua Norte de Santander**

**Evaluation of preventive alternatives for the management of *Plasmodiophora brassicae* Woronin in cauliflower crops under the conditions of the municipality of Mutiscua Norte de Santander**

**Leónides Castellanos<sup>1</sup>, María H. Castro<sup>2</sup>, Geraldine Martínez<sup>3</sup>, Crithian Villamizar<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Programa de Ingeniería Agronómica, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Pamplona,  
Vía Bucaramanga Km 1. Pamplona  
ORCID ID : <http://orcid.org/0000-0001-9285-4879>, Email: [lcicastell@gmail.com](mailto:lcicastell@gmail.com)

<sup>2</sup>Programa de Ingeniería Agronómica, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Pamplona,  
Vía Bucaramanga Km 1. Pamplona:  
Email: [mahecaspin@gmail.com](mailto:mahecaspin@gmail.com)

<sup>2</sup>Programa de Ingeniería Agronómica, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Pamplona,  
Vía Bucaramanga Km 1. Pamplona:  
Email: [geraldinepedraza9@gmail.com](mailto:geraldinepedraza9@gmail.com)

<sup>2</sup>Programa de Ingeniería Agronómica, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Pamplona,  
Vía Bucaramanga Km 1. Pamplona:  
Email: [jairvillamizar27@gmail.com](mailto:jairvillamizar27@gmail.com)

Autor de correspondencia: [lcicastell@gmail.com](mailto:lcicastell@gmail.com) 57+3166993265

## RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue comparar la eficacia de tratamientos como la cal agrícola y medios biológicos combinados con el enraizador Acido Naftaleno Acético (A.N.A.) de forma preventiva para el control de *Plasmodiophora brassicae* en el cultivo de brócoli (*Brassica oleracea var itálica*). Se estableció un cultivo de brócoli con un diseño completamente al azar, donde se implementaron 6 tratamientos cada uno con 4 repeticiones, para un total de 24 unidades experimentales (parcelas). Se evaluaron variables fitosanitarias y morfométricas y se realizó un análisis de la eficiencia económica de los tratamientos. Se realizaron los análisis estadísticos (ANOVAS) correspondientes. La mejor alternativa preventiva para el manejo de *P. brassicae* en este trabajo investigativo y bajo las condiciones edafoclimáticas del municipio de Mutiscua; fue la utilización de *B. subtilis* + A.N.A., ya que tuvo un mejor comportamiento de varias variables evaluadas como incidencia y





severidad foliar, severidad en raíz, y área bajo la curva del progreso de la enfermedad, aunque *Trichoderma* + A.N.A. tuvo resultados similares en cuanto a incidencia y severidad foliar y este y la cal similares en cuanto a severidad de la hernia en raíces. Todos los tratamientos manifestaron ganancias con respecto al testigo, pero el tratamiento *B. subtilis* + A.N.A. logró el mayor rendimiento, superando en 3t/ha al de cal agrícola y la mayor ganancia, siendo el único que superó, aunque solo ligeramente la eficiencia económica de la cal agrícola, la cual resulta muy barata para los agricultores.

Palabras clave

*Brassica oleracea var. italica*, *Plasmodiophora brassicae*, control alternativo, antagonistas, enraizante

ABSTRACT

The objective of the present research was to compare the efficacy of treatments such as agricultural lime and biological media combined with the rooting agent Naphthalene Acetic Acid (N.A.A.) in a preventive way for the control of *Plasmodiophora brassicae* in the cultivation of broccoli (*Brassica oleracea var italica*). A broccoli culture was established with a completely randomized design, where 6 treatments were implemented each with four repetitions, for a total of 24 experimental units (plots). Phytosanitary and morphometric variables were evaluated and an analysis of the economic efficiency of the treatments was carried out. The corresponding statistical analyzes (ANOVAS) were performed. The best preventive alternative for the management of *P. brassicae* in this research work and under the edaphoclimatic conditions of the municipality of Mutiscua; was the use of *B. subtilis* + A.N.A., since it had a better performance of several variables evaluated as incidence and leaf severity, root severity, and area under the disease progress curve, although *Trichoderma* + A.N.A. had similar results in terms of incidence and foliar severity and this and lime similar in terms of severity of root hernia. All treatments showed gains with respect to the control, but the *B. subtilis* + ANA treatment achieved the highest yield, exceeding by 3t / ha that of agricultural lime and the highest gain, being the only one that exceeded, although only slightly, the economic efficiency of agricultural lime, which is very cheap for farmers.

.Key words:

*Brassica oleracea var. italica*, *Plasmodiophora brassicae*, alternative control, antagonists, rooting





## 1. INTRODUCCIÓN

Las crucíferas, son un grupo importante de especies hortícolas, tanto por el área sembrada, como por el valor de su producción. Las crucíferas de mayor importancia económica son brócoli y coliflor seguido del repollo y la col china. Presentan una actividad económica de vital importancia por el papel que juega en la seguridad alimentaria de la población, además ha tenido en los últimos años una demanda creciente por factores relacionados con la salud y el cuidado de la figura (Jaramillo y Díaz, 2006)

El municipio de Mutiscua Norte de Santander, se ha especializado a la siembra de hortalizas entre ellas las crucíferas como: brócoli, coliflor y repollo, sin embargo, estos cultivos se han visto afectados por la hernia causada por el patógeno de *Plasmodiophora brassicae* Wororin, ocasionando pérdidas notables por devastar gran parte de estos cultivos, impidiendo volver a sembrar en esas áreas especies susceptibles. Debido a esto se ha disminuido en algunas veredas el área de siembra de las crucíferas ocasionando disminución de la oferta y un aumento de los precios (Acevedo et al., 2017; Mutiscua, 2018).

El protozoo *P. brassicae*, causante de la enfermedad, es bastante específico de familia de las crucíferas, causando afecciones en las raíces al propiciar la elongación y división celular en los hipocótilos y la formación de agallas en las raíces de las plantas. Como resultado, las plantas infectadas no pueden obtener suficiente agua o nutrientes y en casos extremos que la enfermedad puede causar la muerte de estas (Pengjie et al., 2019). Se ha comprobado que las raíces inoculadas pueden ser infectadas en laboratorio a los 5 días (Ruiqin et al., 2018), demostrando la rapidez que tiene este patógeno en afectar a su huésped.

Desde hace muchos años se han estado probando fungicidas en el control de *P. brassicae*. Estudios realizados con los

fungicidas Benomil y Metil Tiofanato se verificó que redujeron la enfermedad en condiciones de invernadero, pero fallaron su eficacia en los ensayos de campo (Velandia, (1992), mientras que la flusulfamida no mostró ser eficiente en el control del patógeno cuando ya estaba establecido en las células corticales del huésped, lo cual se atribuyó a que el producto no actúa en las etapas iniciales de la infección (Tanaka et al., 1999). También se compararon los fungicidas cyazofamid y fluazinam, mostrándose el primero más eficiente en el control de la enfermedad en diversas crucíferas, mientras que fluazinam fue tóxico a las plantas (Towley y Fox, 2003). Otros investigadores también observaron la eficiencia del fungicida cyazofamid en la inhibición de la germinación de las estructuras de reposo de *P. brassicae*, cuando se aplica en pre-plantación en suelos infectados Mitani et al. (2003). En otros resultados se planteó que los fungicidas fosforados eran eficaces en el control de la hernia de las crucíferas aplicados en riego en pre-plantación, sin embargo, se consideró que este procedimiento no era económicamente viable y producía una fuerte contaminación del suelo (Abbasi y Lazarovits, 2006).

Una investigación más reciente informa que cyazofamid resultó el mejor fungicida seguido por Triclorodinitrobenzoceno TCNB para el control de la hernia de la col, no resultando efectivos captan, mancozeb, procloraz+propiconazol, carbendazín, folpep y el hidróxido de calcio (Valerín, 2017), pero se conoce que TCNB es altamente tóxico para la salud de las personas y el medio ambiente en general.

En muchas zonas los agricultores han optado por aplicar cal agrícola en aras de subir el pH y disminuir las afectaciones por el protozoo (Heinrich y Stone, 2014). Esta alternativa constituye una práctica común en Mutiscua, sin embargo, no siempre se logran los resultados esperados por lo que se impone la necesidad de realizar más investigación que brinden otras alternativas





de solución efectivas y económicamente viables a los agricultores. Es por esto que se continúa en la búsqueda de alternativas de manejo preventivas con medios biológicos.

Uno de los candidatos estudiados ha sido *Trichoderma* por ser un hongo antagonico de muchos microorganismos patógenos de las plantas por su capacidad para producir secreciones enzimáticas tóxicas extracelulares que causan desintegración y muerte en hongos fitopatógenos (Villegas, 2015). Otro candidato ha sido la bacteria antagonista *Bacillus subtilis*, la cual produce metabolitos de tipo secundario, con propiedades antifungicas, supresores efectivos contra diversos fitopatógenos ( Ariza y Sanchez, 2012). No se ha encontrado en la literatura, pero la bacteria *Bulkolderia cepacia* pudiera ser otra candidata por su poder antagonico para el control de patógenos, además de tener propiedades como estimulador de crecimiento vegetal (Toledo et al., 2002).

En ese sentido se realizaron investigaciones en coliflor bajo las condiciones de Mutiscua con productos comerciales conteniendo *T. harzianum*, *B. subtilis*, *B. cepacia*, así como con un enraizador a base de ácido naftalenacético (A.N.A) aplicándolos por separados a la plantación una vez esta fue establecida y aunque los resultados fueron alentadores no se observó una reducción importante de la enfermedad (Castellanos et al., 2019). Sin embargo, en otras investigaciones donde se realizaron los tratamientos preventivamente a las posturas y al suelo, con aspersiones subsiguientes, si se obtuvieron resultados superiores de control de la enfermedad (Padilla-Frías et al., 2018; Pengjie et al., 2019).

El objetivo de la presente investigación fue comparar la eficacia de tratamientos como la cal agrícola y medios biológicos combinados con el enraizador Acido Naftaleno Acético (A.N.A.) de forma preventiva para el control de

*Plasmodiophora brassicae* en el cultivo de brócoli (*Brassica oleracea* var *itálica*).

## 2. METODOLOGIA

La investigación se desarrolló en el Municipio de Mutiscua, en la vereda el Sucre, finca Mi tesoro cuyas coordenadas son: 7°33'17.900"N, -72°76'08.599"W, donde se implementó el cultivo de brócoli en el periodo comprendido entre el 27 de marzo hasta el 10 de junio de 2019.



Figura 1. Ubicación espacial parcela brócoli. Tomado de google Earth.

### Diseño experimental

Se estableció el cultivar de brócoli con un diseño completamente al azar, donde se implementaron 6 tratamientos cada uno con 4 repeticiones, para un total de 24 unidades experimentales (parcelas), cada una de ellas de 6m<sup>2</sup>

### Tratamientos en estudio

En la Tabla 1 se detallan los tratamientos objetos de estudio, con las respectivas dosis las cuales fueron calculadas según la recomendación de la etiqueta de cada producto.

Tabla 1. Descripción tratamientos segundo ciclo de siembra

| Tratamientos                 | Dosis           |
|------------------------------|-----------------|
| ANA                          | 0,6 ml          |
| <i>B. subtilis</i> + ANA     | 1,5 ml + 0,6 ml |
| <i>T. harzianum</i> + A.N.A. | 21,6 g + 0,6 ml |
| <i>B. cepacia</i> + A.N.A.   | 15 ml + 0,6 ml  |
| Cal                          | 4 kg            |





Testigo

-----

La raíz de cada plántula se sumergió en una solución de mezcla del producto más el enraizante, teniendo en cuenta los tratamientos. Después de esto se realizó una aspersión de la misma mezcla al sitio de siembra y se continuó con una continuidad semanal hasta una semana antes de la cosecha.

Se utilizaron las dosis de los productos comerciales recomendados por los proveedores. Se sembraron plántulas de coliflor variedad Bola de Nieve, cuya característica es su precocidad y su fácil adaptabilidad a condiciones medioambientales adversas (Mejía, 1998) provenientes de una plantuladora del municipio. El manejo agronómico y fitosanitario para los agentes diferentes a *P. brassicae* fue el mismo empleado por los agricultores de la zona.

Los tratamientos se realizaron a las posturas, en el momento de la siembra y cinco posteriores con las mezclas de los agrobiológicos +ANA o ANA solo según los tratamientos planificados con las características de composición y dosis que se reflejan en la Tabla 2

Tabla 2. Composición y dosis de los tratamientos empleadas en la investigación.

| Tratamientos               | Composición                           | Dosis/<br>Bomba 20L |
|----------------------------|---------------------------------------|---------------------|
| <i>T. harzianum</i> +A.N.A | 1x10 <sup>8</sup> esporas/g           | 1 g/L+15 cc         |
| <i>B. subtilis</i> +A.N.A. | 5x10 <sup>9</sup> UFC/mL              | 1 cc/L+15 cc        |
| <i>B. epacia</i> +A.N.A.   | 1x10 <sup>8</sup> UFC/cm <sup>3</sup> | 1 cc/L+15 cc        |
| A.N.A .                    | 17,2 g/L                              | 15 cc               |
| Cal                        | 21,6% Ca y 13,1% Mg                   | 1t/ha               |
| Testigo                    | -----                                 | -----               |

### Evaluación del experimento

La toma de datos inicio a los quince días después del trasplante y esta continuo semanal hasta el inicio de la cosecha.,

evaluando variables morfométricas y fitosanitarias.

### Variables morfométricas:

**Altura de la planta:** Se determinó midiendo desde la base del suelo, hasta el ápice de la última hoja.

**Diámetro del tallo:** Utilizando un calibrador digital (Pie de rey), se tomaron los diámetros de los tallos a cada una de las plantas.

**Numero de hojas:** Se llevó un conteo de hojas en las diez plantas seleccionadas al azar en cada una de las parcelas.

### Variables fitosanitarias:

#### Incidencia de la enfermedad

Se llevó el registro de la incidencia foliar de 10 plantas utilizando la fórmula que se presenta a continuación:

$$\% \text{ Incidencia} = \frac{\text{Número de plantas afectadas}}{\text{Número de plantas evaluadas}} \times 100$$

(Ecuación 1) (Agrios, 2005)

Lo registros empezaron 15 días después del trasplante y se determinó con una periodicidad de cada siete días.

#### Severidad de la enfermedad

Se evaluó la afectación de tejido foliar enfermo a través de la severidad de la enfermedad en el tiempo mediante una escala propuesta por Horiuchi y Ori (1980) y modificada por Strelkov et al. (2006) (Tabla 3).

Tabla 3. Escala de severidad en el follaje de la planta afectadas por hernia.

| Escala | Descripción   |
|--------|---|
| 0      | Planta sana   |
| 1      | Síntomas en hojas, marchitez incipiente                         |
| 2      | Síntomas avanzados, amarillamiento en hojas, marchitez avanzada |
| 3      | Planta muerta   |

La severidad se estimó con la fórmula que se describe a continuación:







Severidad (%) =  $\frac{\sum axb}{k \times N} \times 100$  Ecuación 2  
(Townsend y Heuberger) (Ciba-Geygi, 1981),

a= las clases de gravedad de los síntomas (0, 1, 2, y 3).

b=número de plantas con cada grado

k=Grado máximo de la escala=3

N=el número total de plantas en una unidad experimental=10

### Incidencia en raíces:

Esta variable se determinó dos días después de la cosecha de cada una de las plantas evaluadas, aplicando la fórmula que se presentada anteriormente (ecuación 1) por observación visual de las deformaciones de las raíces.

### Severidad en raíces:

Se evaluó la afectación de tejido radicular enfermo mediante la escala propuesta por Horiuchi y Ori y modificada por Strelkov et al. (2006) (Tabla 4).

Tabla 4. Escala de severidad en raíces afectadas por hernia.

| Escala | Descripción  |
|--------|--|
| 0      | Raíz sana  |
| 1      | Hernias de tamaño pequeño, menos de un 25% de la raíz afectada.  |
| 2      | Hernias de tamaño mediano en un 50% de la raíz.                  |
| 3      | Hernias de tamaño medio a gran tamaño en más del 50% de la raíz. |

El índice de severidad de la enfermedad se calculó utilizando la fórmula de Townsend y Heuberger (Ciba-Geygi, 1981) descrita anteriormente.

### Área Bajo la Curva de Progreso de la Enfermedad (ABCPE):

Al final del experimento se determinó en cada parcela según el método de Campbell y Madden (1990), para lo cual se utilizó la siguiente formula:

$ABCPE = \sum [(X_i + X_{i+1})/2] * (T_{i+1} - T_i)$   
(Ecuación 2) (Campbell y Madden, 1990)

Dónde:

$X_i$  = distribución 1 o intensidad 1 de la enfermedad en el muestreo i

$X_{i+1}$  = distribución o intensidad de la enfermedad en el muestreo i+1

$T_i$  = tiempo 1

$T_{i+1}$  = tiempo 2

### Rendimiento

En el experimento se estimó la producción total por parcela y se determinó el rendimiento en t/ha. Para esto se contaron las plantas que estaban en las unidades experimentales y el porcentaje de plantas/inflorescencia, después se pesaron 10 cabezas al azar en cada parcela y se promedió el peso en gramos. Con estos datos, se obtuvo el peso promedio/parcela afectadas por el porcentaje de plantas florecidas en 10 m<sup>2</sup> y se determinó el rendimiento en t/ha de cada unidad experimental.

Con la información obtenida de altura, diámetro del tallo, número de hojas, incidencia y severidad del follaje y de las raíces, así como con el rendimiento se realizó un análisis de varianza previa comprobación del supuesto de normalidad (prueba de Shapiro Wilk) y homogeneidad de las varianzas. Los datos de incidencia y severidad en porcentajes se transformaron en  $2 \arcsin \sqrt{\%/100}$ . Las medias fueron comparadas por la prueba de Tukey con un 5% de probabilidad de error. Se empleó el paquete SPSS versión 21 para Windows.

### Valoración del beneficio costo de las nuevas alternativas versus la tradicional y sin tratar

Se realizaron los análisis necesarios para valorar la efectividad económica de cada tratamiento biológico u alternativo utilizando la metodología del incremento parcial recomendada por el CIMMYT (1988).





En la misma se simplifica el análisis y se intención la determinación del incremento del valor de la producción, una vez deducido el monto del costo de cada tratamiento biológico u alternativo sobre la variante testigo y la variante tradicional con el uso de la cal.

Se planteó a partir de la siguiente fórmula:

$$EE = Vipn - Ct$$

Donde:

EE = Efectividad económica

Vipn = Valor del incremento de la producción de las variantes nuevas (biológicas o alternativas).

Ci = Costo adicional de la variante nueva, con respecto al testigo tradicional (variante cal), y sin tratamiento (testigo absoluto).

Para estimar los flujos de caja de cada tratamiento nuevo, se tuvo en cuenta un período de planificación de sesenta días condicionado por el tiempo en que se logra la producción de brócoli desde que se planta hasta que se cosecha.

Se tuvo en cuenta como costos de operación las siguientes partidas:

- Gastos de salario para los tratamientos fitosanitarios.
- Gastos de materiales directos por los tratamientos fundamentales, o sea, los incurridos con la cal, los biológicos alternativos y A.N.A.

Se consideraron todos los tratamientos realizados durante el ciclo del cultivo a partir de los precios de adquisición de los productos siguientes:

*T. harzianum* comercial  
*B. subtilis* comercial  
*B. cepacia* comercial  
A.N.A comercial  
Cal agrícola

Para cada tratamiento se tuvieron en cuenta la dosis recomendada en cada caso. El aumento del costo por salario en la atención fitosanitario a las posturas en las variantes con tratamiento se calculó como el incremento del valor monetario de la producción de la parcela en relación al

tratamiento testigo para cada caso, así como su significación en valor.

Se tuvo en cuenta el precio de comercialización de la coliflor para finales de noviembre del presente año. Se obtuvieron los datos meteorológicos disponibles en la estación agrometeorológicas del proyecto Plantar ubicada en el municipio Mutiscua, disponible en la Plataforma de este proyecto ubicada en la Gobernación del Departamento Norte de Santander en Cúcuta.

## ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La incidencia de la hernia para el cultivo de brócoli en la semana 5 fue menor para las parcelas tratadas con *B. subtilis* + A.N.A. y *T. harzianum* + A.N.A que mostraron diferencia estadística significativa con tratamiento testigo, aunque no con el resto; sin embargo, en la semana 8 y 10 no se evidenció diferencia entre los tratamientos. (Tabla 5).

Tabla 5. Porcentaje de Incidencia foliar en el cultivo de brócoli.

| Tratamiento                  | 2arcosen√%I/100 |        |        |
|------------------------------|-----------------|--------|--------|
|                              | S5              | S8     | S10    |
| Cal                          | 0,84 ab         | 1,10 a | 1,13 a |
| <i>T. harzianum</i> + A.N.A. | 0,43 b          | 1,12 a | 1,20 a |
| <i>B. subtilis</i> + A.N.A.  | 0,31 b          | 0,95 a | 1,19 a |
| <i>B. cepacia</i> + A.N.A.   | 0,94 ab         | 1,49 a | 1,49 a |
| A.N.A                        | 0,65 ab         | 1,23 a | 1,23 a |
| Testigo                      | 1,51 a          | 1,64 a | 1,64 a |
| CV                           | 54              | 29,6   | 28,9   |
| ET*                          | 0,21            | 0,18   | 0,19   |

\*Letras desiguales en las columnas difieren para  $P \leq 0,05$  por la prueba de Tukey

El comportamiento de la severidad de la enfermedad en el área foliar de las plantas en la semana 5, demostró que esta variable fue menor para las parcelas tratadas con *B. subtilis* + A.N.A. y *T. harzianum* + A.N.A que mostraron diferencia estadística significativa con tratamiento testigo, aunque no con el resto que quedaron intermedios desde el punto de vista estadístico. En la semana 8





el tratamiento *B. subtilis* + A.N.A. fue el de menor severidad con diferencia estadística con el testigo, pero no con el resto de los

| Tratamiento                  | ABCPE      |           |
|------------------------------|------------|-----------|
|                              | Incidencia | Severidad |
| Cal                          | 1219,18 a  | 501,68 ab |
| <i>T. harzarium</i> + A.N.A. | 826,88 a   | 361,68 a  |
| <i>B. subtilis</i> + A.N.A.  | 634,38 a   | 414,15 ab |
| <i>B. cepacia</i> + A.N.A.   | 1435,00 a  | 505,83 ab |
| A.N.A                        | 1015,00 a  | 637,30 ab |
| Testigo                      | 1846,25 a  | 1157,73 b |
| CV                           | 9,74       | 9,91      |
| ET                           | 596,3      | 290,6     |

tratamientos. Ya para la semana 10 no hubo una diferencia significativa entre los tratamientos, aunque el testigo manifestaba el mayor valor relativo 42 % ( $2\text{arcosen}\sqrt{\%S/100} = 1,40$ ) (Tabla 6).

Tabla 6. Resultados del análisis de varianza para la severidad foliar en brócoli

| tratamiento                 | $2\text{arcosen}\sqrt{\%S/100}$ |         |        |
|-----------------------------|---------------------------------|---------|--------|
|                             | S5                              | S8      | S10    |
| Cal                         | 0,51 ab                         | 0,70 ab | 0,83 a |
| <i>T. harzarium</i> +A.N.A. | 0,30 b                          | 0,71 ab | 0,88 a |
| <i>B. subtilis</i> + A.N.A. | 0,25 b                          | 0,62 b  | 0,82 a |
| <i>B. cepacia</i> + A.N.A.  | 0,55 ab                         | 0,90 ab | 1,10 a |
| A.N.A                       | 0,40 ab                         | 0,82 ab | 0,93 a |
| Testigo                     | 0,78 a                          | 1,23 a  | 1,40 a |
| CV                          | 36,76                           | 30,3    | 31,55  |
| ET*                         | 0,08                            | 0,12    | 0,15   |

\*Letras desiguales en las columnas difieren para  $P \leq 0,05$  por la prueba de Tukey

El área bajo la curva del progreso de la enfermedad, en cuanto a incidencia no tuvo diferencia significativa, aunque el tratamiento *B. subtilis* + A.N.A. manifestó un valor de 634,38 relativamente más bajo que los demás tratamientos. Para la severidad si hubo diferencia estadística significativa teniendo el tratamiento *B. subtilis* + A.N.A. el menor valor y el mayor el testigo, el resto de los tratamientos no difirieron de estos dos (Tabla 7).

Tabla 7. ABCPE para el porcentaje de incidencia y severidad foliar de la enfermedad

\*Letras desiguales en las columnas difieren para  $P \leq 0,05$  por la prueba de Tukey.

La incidencia *P. brassicae* en raíz no manifestó diferencia estadística entre los tratamientos, sin embargo, el tratamiento con cal tuvo un valor relativamente inferior, seguido del tratamiento con *Trichoderma* + A.N.A. En cuanto a la severidad si se observó diferencia estadística, con mejor respuesta para los tratamientos con cal, *B. subtilis* + A.N.A. y *Trichoderma* + A.N.A. que difirieron estadísticamente del testigo y no con respecto a *B. cepacia* + A.N.A. y A.N.A. (Tabla 8).

Tabla 8. Resultados del análisis de varianza para la de incidencia y severidad en la raíz de brócoli

| Tratamiento                  | Raíz                           | Raíz     |
|------------------------------|--------------------------------|----------|
|                              | Incidenc.                      | Severid. |
|                              | $2\text{arcosen}\sqrt{\%/100}$ |          |
| Cal                          | 2,88 a                         | 1,70 b   |
| <i>T. harzarium</i> + A.N.A. | 3,02 a                         | 1,72 b   |
| <i>B. subtilis</i> + A.N.A.  | 3,14 a                         | 1,64 b   |
| <i>B. cepacia</i> + A.N.A.   | 3,14 a                         | 1,88 ab  |
| A.N.A                        | 3,14 a                         | 1,86 ab  |
| Testigo                      | 3,14 a                         | 2,13 a   |
| CV                           | 6,52                           | 9,93     |
| ET*                          | 0,1                            | 0,090    |

\*Letras desiguales en las columnas difieren para  $P \leq 0,05$  por la prueba de Tukey

### Altura de la planta y número de hojas.

En la variable morfológica altura de la planta de brócoli, en la semana 5 no se presentó diferencia estadística. Para la semana 7 se ve reflejado que el tratamiento testigo declinó colocándose en la menor altura de los tratamientos evaluados, pero solo con diferencia respecto a la cal. Ya para la semana 10 también el testigo tuvo una altura representando las plantas con menos altura en el experimento también







con diferencia significativa con la cal (Tabla 9).

Tabla 9. Altura de las plantas de brócoli

| Tratamiento                  | Altura de la planta |          |          |
|------------------------------|---------------------|----------|----------|
|                              | S5                  | S7       | S10      |
| Cal                          | 29,64 a             | 50,19 a  | 68,06 a  |
| <i>T. harzarium</i> + A.N.A. | 25,71 a             | 44,91 ab | 62,15 ab |
| <i>B. subtilis</i> + A.N.A.  | 27,79 a             | 46,80 ab | 63,84 ab |
| <i>B. cepacia</i> + A.N.A.   | 26,90 a             | 42,42 ab | 55,46 ab |
| A.N.A.                       | 25,31 a             | 42,70 ab | 59,12 ab |
| Testigo                      | 27,82 a             | 40,30 b  | 44,35 b  |
| CV                           | 5,991               | 8,42     | 16,29    |
| ET*                          | 1,22                | 1,87     | 4,79     |

\*Letras desiguales en las columnas difieren para  $P \leq 0,05$  por la prueba de Tukey

La emisión de hojas en el cultivo de brócoli no se mostró estar influenciada por los tratamientos, ya que en ninguna de las evaluaciones se observó diferencia estadística entre estos (Tabla 10).

Tabla 10. número de hojas en brócoli

| Tratamiento                  | Numero de hojas |        |         |
|------------------------------|-----------------|--------|---------|
|                              | S5              | S7     | S10     |
| Cal                          | 7,55 a          | 9,77 a | 15,11 a |
| <i>T. harzarium</i> + A.N.A. | 6,87 a          | 9,20 a | 14,86 a |
| <i>B. subtilis</i> + A.N.A.  | 7,12 a          | 9,58 a | 15,10 a |
| <i>B. cepacia</i> + A.N.A.   | 7,06 a          | 9,33 a | 13,86 a |
| A.N.A.                       | 6,81 a          | 9,18 a | 14,47 a |
| Testigo                      | 7,31 a          | 9,12 a | 10,97 a |
| CV                           | 6,29            | 10,87  | 14,74   |
| ET*                          | 0,22            | 0,57   | 1,03    |

\*Letras desiguales en las columnas difieren para  $P \leq 0,05$  por la prueba de Tukey

### Producción y rendimiento

El tratamiento con un índice de mayor producción referente a los demás es *B.*

*subtilis* + A.N.A. ya que se cosechó 71,5 kg, seguido de *T. harzarium* + A.N.A. con un total de 69,2 kg y difiriendo significativamente del testigo que solo obtuvo una producción de 37,1 kg. El tratamiento *B. subtilis* + A.N.A. logró 0,37 kg/m<sup>2</sup> más que el tratamiento tradicional con cal agrícola, por lo que permite llevar más producto al mercado (3t/ha) (Tabla 11).

Tabla 11. Producción y rendimientos en el cultivo de Brócoli

| Tratamiento                  | Rendimiento            | t/ha |
|------------------------------|------------------------|------|
| Cal                          | 2,6 kg/m <sup>2</sup>  | 26   |
| <i>T. harzarium</i> + A.N.A. | 2,88 kg/m <sup>2</sup> | 28   |
| <i>B. subtilis</i> + A.N.A.  | 2,97 kg/m <sup>2</sup> | 29   |
| <i>B. cepacia</i> + A.N.A.   | 2,3 kg/m <sup>2</sup>  | 23   |
| A.N.A.                       | 2,6 kg/m <sup>2</sup>  | 26   |
| Testigo                      | 1,5 kg/m <sup>2</sup>  | 15   |

Las mayores ganancias fueron para *B. subtilis* + A.N.A. Todos tuvieron mayor eficacia económica que el testigo y solo *B. subtilis* + A.N.A. respecto a la cal. Aunque *T. harzarium* fue el segundo tratamiento en obtener más ingresos, los gastos utilizados para su aplicación fueron los más altos en la evaluación. El testigo fue el de menor ingresos y el de tener la diferencia negativa mayor respecto a la cal, mostrándose como el de menor beneficio para la producción de crucíferas (Tabla 12).

Tabla 12. Resumen financiero del experimento en el cultivo de brócoli.

| Tratamiento                 | Ingresos | Gastos | Ganancias | Eficiencia Económica<br>En relación a: |         |
|-----------------------------|----------|--------|-----------|--|---------|
|                             |          |        |           | Cal                                    | Testigo |
| <i>Trichoderma</i> + A.N.A. | 117,640  | 44,160 | 73,480    | -23,660                                | 14,610  |
| <i>B. subtilis</i> + A.N.A. | 121,550  | 22,200 | 99,350    | 2,210                                  | 40,480  |
| <i>B.</i> + A.N.A.          | 94,180   | 31,650 | 62,530    | -34,610                                | 3,660   |
| A.N.A.                      | 106,080  | 10,800 | 95,280    | -1.860                                 | 36,410  |
| Cal                         | 105,740  | 8,600  | 97,140    | -----                                  | 38,270  |
| Testigo                     | 63,070   | 4,200  | 58,870    | -38,270                                | -----   |





## Discusión.

En este trabajo investigativo se obtuvieron resultados con similitudes a los de Botero (2016) con diferentes cepas de *Trichoderma* tanto en campo, como en condiciones controladas, aunque se debe tener en cuenta que no se utilizaron las mismas las cepas del antagonista. En las dos investigaciones se observaron disminuciones de la enfermedad con aplicaciones de diferentes especies de *Trichoderma* y con aplicaciones frecuentes del antagonista lo que ratifica que el número de aplicaciones es importante para el control de la hernia.

Los resultados también se corresponden con los de Pengjie et al. (2019); quienes empleando una cepa muy potente de *B. subtilis* XF-1, logró reducir considerablemente la afectación de *P. brassicae* en uno de los cultivares de la familia de las crucíferas, pero diferentes en comparación con los resultados obtenidos en la investigación de Castellanos et al. (2019) en coliflor donde se mostró que la acción de *B. subtilis* individual fue ineficiente, resultado que pudo ser debido a la mala utilización de la bacteria al momento de la aplicación, la cual se realizó a los ocho días después del trasplante, tiempo con el que la enfermedad alcanzó a tomar ventaja para la colonización de las raíces de las plántulas.

Los resultados superiores de eficacia en el presente estudio se pueden atribuir a que las aplicaciones se realizaron desde la siembra de las plántulas al igual que en la investigación de Pengjie et al. (2019). Por lo tanto, el tratamiento evaluado de *B. subtilis* + A.N.A. se mostró como el mejor en la mayoría de las variables evaluadas en comparación de los demás tratamientos, concluyendo que fue el mejor tratamiento tanto en la reducción de la acción de *P. brassicae* como en la parte de costo beneficio, mostrando así ser una

alternativa viable para el manejo preventivo de *P. brassicae*

La aplicación de *B. cepacia* fue ineficiente como manejo preventivo de *P. brassicae* ya que en ninguno los análisis estadísticos este tratamiento mostró diferencia significativa en comparación al tratamiento testigo. Este antagonista no tiene antecedentes de aplicaciones contra esta enfermedad, sin embargo tiene un amplio rango para el control de otras enfermedades como: *Botrytis*, *Damping off*, *Fusarium* sp, *Rhizoctonia* sp, *Phytophthora* sp, entre otras, motivo por el cual se decidió evaluar en esta investigación.

Los resultados sugieren utilizar como medida alternativa de control para *P. brassicae* a *Trichoderma* y la bacteria *B. subtilis*, acompañadas de A.N.A, las cuales deben ser aplicadas en siembra, primero hacer una solución de cada antagonista y el enraizador, y sumergir las raíces por un periodo de 15 minutos. El sitio de siembra de cada planta debe tratarse con una aspersión con la misma solución y trasplantar. A los 15 días después debe hacerse una aspersión dirigida a la raíz con los 2 productos y a partir de ahí solo aplicar el producto antagonista semanalmente. Deben repetirse experimentos como este en condiciones de campo para verificar la acción de los tratamientos en diferentes condiciones edafoclimáticas.

La cal también puede mitigar el daño de la enfermedad es por esto que se debe aplicar con anterioridad de 15 días bien incorporada con el suelo como plantea ICA (2019), sin embargo de tenerse en cuenta resultados de otras investigaciones como Heinrich y Stone (2014), quienes demostraron que si





no se alcanza un pH de 7,1 en los suelos no se reduce la infección así como lo planteado por otros autores en relación que la eficiencia de esta práctica depende otros factores como la calidad de la cal utilizada y del suelo, ya que hay suelos que fácilmente responden a la aplicación de cal, siendo importante tener en cuenta el tamaño de las partículas de cal, ya que este ya que esta característica tiene influencia en la reducción de la hernia de la col en crucíferas (Niwa et al., 2007).

#### 4. CONCLUSIONES

La mejor alternativa preventiva para el manejo de *P. brassicae* en este trabajo investigativo y bajo las condiciones edafoclimáticas del municipio Mutiscua; fue la utilización de *B. subtilis* + A.N.A. (Bactox + Hormonagro), ya que tuvo un mejor comportamiento de varias variables evaluadas como incidencia y severidad foliar, severidad en raíz, y área bajo la curva del progreso de la enfermedad, aunque *Trichoderma* + A.N.A. tuvo resultados similares en cuanto a incidencia y severidad foliar y este y la cal similares en cuanto a severidad de la hernia en raíces.

Todos los tratamientos manifestaron ganancias con respecto al testigo, pero el tratamiento *B. subtilis* + A.N.A. logró el mayor rendimiento, superando en 3t/ha al de cal agrícola y la mayor ganancia, siendo el único que superó, aunque solo ligeramente la eficiencia económica de la cal agrícola, la cual resulta muy barata para los agricultores.

#### Referencias Bibliográficas

- Abbasi P.A., Lazarovits, G. (2006). Effect of soil application of AG3 phosphonate on the severity of clubroot of bok choy and cabbage caused by *Plasmodiophora brassicae*. Plant Disease, St. Paul, 89, 12, 1517-1522.
- Acevedo, D. Montero, P. Beltrán, L. Gallo. y Rodríguez, J. (2017). Efecto de la fritura al vacío sobre la absorción de aceite en empanadas de maíz (ZEA MAYS). Revista @limentech. 15(1), 42-49. DOI: <https://doi.org/10.24054/16927125.v1.n1.2017.2961>
- Agrios, G. (2005). Plant Pathology. Florida University. Elsevier Academic Press.
- Ariza Y, L. Sanchez L. (2012). Determinación de metabolitos secundarios a partir de *Bacillus subtilis* con efecto biocontrolador sobre *Fusarium sp.* Nova - Publicación Científica en Ciencias Biomédicas vol.10 no. 18 pp.135 – 250, 2012. [https://www.researchgate.net/publication/316651734\\_Determinacion\\_de\\_metabolitos\\_secundarios\\_a\\_partir\\_de\\_Bacillus\\_subtilis\\_con\\_efecto\\_biocontrolador\\_sobre\\_Fusarium\\_sp](https://www.researchgate.net/publication/316651734_Determinacion_de_metabolitos_secundarios_a_partir_de_Bacillus_subtilis_con_efecto_biocontrolador_sobre_Fusarium_sp)
- Botero, A. (2016). Effect of three *Trichoderma* species on clubroot disease in cabbage. Universidad Nacional de Colombia Tesis para obtener el grado de magíster en Ciencias agrarias. Faculty of Agricultural Sciences, Agronomy Department. 2016.
- Campbell, C.L., Madden L.V. (1990). Introduction to Plant Disease Epidemiology. John Wiley & Sons, New York. 1990.
- Castellanos L., G. Martínez, M. H. Castro, C. Villamizar. (2019) Alternativas para el control de la hernia de las crucíferas en coliflor en el municipio Mutiscua, provincia de Pamplona, Norte de Santander. Revista Ciencia y Tecnología





- Agropecuaria. Unipamplona. Vol. 14, no. 7, pp. 1-16.
- Ciba Geygi. (1981). Manual de ensayos de campo en producción vegetal, 2.aed., Basilea, Suiza.
- CIMMYT. (1988). La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos: un manual metodológico de evaluación económica. CIMMYT, MEX.
- Heinrich, A., y Stone, A. (2014). Clubroot (*Plasmodiophora brassicae*) control strategies on brassicas, 2(541), 1–20.  
[http://horticulture.oregonstate.edu/system/files/Clubroot final.](http://horticulture.oregonstate.edu/system/files/Clubroot%20final.pdf)
- ICA. (2019). Manejo fitosanitario del cultivo de hortalizas. 2019.  
<https://www.ica.gov.co/getattachment/bb883b42-80da-4ae5-851f-4db05edf581b/Manejo-fitosanitario-del-cultivo-de-hortalizas.aspx>
- Jaramillo, J., y Díaz, C. (2006). *El Cultivo de las Crucíferas*. Rionegro, Antioquia, Colombia : Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, CORPOICA, Centro de Investigación La Selva.
- Mitani S., Sugimoto, S., Hayashi, H., Takii, Y., Ohshima, T., Matsuo N. (2003). Effects of cyazofamid against *Plasmodiophora brassicae* Woronin on Chinese cabbage. National Center for Biotechnology Information, U.S. National Library of Medicine, 59,3 , 287-93,  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12639045>
- Mutiscua. (2018). Plan de Desarrollo Municipal 2016 – 2019.  
[http://www.sisubregionalns.gov.co:8080/sis/files/sid\\_Desarrollo\\_territorial/PMD/SurOccidental/PDM\\_MUTISCUA\\_2016-2019.pdf](http://www.sisubregionalns.gov.co:8080/sis/files/sid_Desarrollo_territorial/PMD/SurOccidental/PDM_MUTISCUA_2016-2019.pdf)
- Niwa, T. Kumei Y. Nomura, S. Yoshida, M. Osaki, T. Ezawa. (2007). Increase in soil pH due Ca-rich organic matter application causes suppression of the clubroot disease of crucifers. Soil Biology & Biochemistry, St. Louis, 39, 3 ,778-785.
- Padilla-Frías, K. Granados-Conde, Cl. Leon-Mendez, G. Arrieta, Y. y Torrenegra-Alarcon, M. (2018). Evaluación de la influencia de la temperatura en procesos de secado. Revista @limentech. 14(1), 107-117. DOI: <https://doi.org/10.24054/16927125.v1.n1.2018.3935>
- Pengjie, H., Wenyan, C., Shahzad, M., Xingyu, L., Yixin, W., Xumang, Y., Yueqiu, H. (2019). *Plasmodiophora brassicae* root hair interaction and control by *Bacillus subtilis* XF-1 in Chinese cabbage. Biological Control, 128, 56-63.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1049964418304456#!>
- Ruiqin, J., Yilian, W., Xiaodan, W., Yifan, L., Xiangqun, S., y Hui, F. (2018). Análisis proteómico de la interacción entre *Plasmodiophora brassicae* y col china (*Brassica rapa L. ssp. Pekinensis*) en la etapa inicial de infección.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S03044238183008>
- Strelkov, S. E., Tewari, J. P., y Smith-Degenhardt, E. (2006). Characterization of *Plasmodiophora brassicae* populations from Alberta, Canada. Canadian Journal of Plant Pathology, 28, 467-474.
- Tanaka, S Kochi, S. Kunita, H., Ito, S. (1999). Biological mode of action of the fungicide, flusulfamide, against *Plasmodiophora brassicae* (clubroot). European Journal of Plant Pathology, Netherlands, v. 105, no 6 pp. :577-584, 1999.
- Toledo Y. , A. Hernández A. M. Alvarez M. , G.M. Martín M.G. y Márquez, R. (2002). Determinación del efecto antagónico de un





biopreparado a partir de una cepa de *Burkholderia cepacia* ante *Fusarium* sp. en el cultivo del gladiolo (*Gladiolus* sp.) .Cultivos Tropicales, vol. 23, no. 4, pp. 11-15..

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?idp=1&id=193218135002&cid=13299>

- Towley, D. Fox. R.T.V. (2003). Control of clubroot disease using cyazofamid and fluazinam fungicides. In: Abstracts of Offered Papers, 8<sup>th</sup> International Congress of Plant Pathology, Christchurch, New Zeland, p. 72.
- Valerín. G. (1917). Evaluación de la eficacia de ocho fungicidas sintéticos y dos enmiendas en el control de la hernia de las crucíferas *Plasmodiophora brassicae* Wororin. Tesis presentada para obtener el título de Licenciado en Ingeniería Agronómica. Facultad de Ciencias agroalimentarias, Universidad de Costa Rica.
- Velandia, J. (1992). Evaluación de cinco niveles de cal apagada en el control de *Plasmodiophora brassicae* en repollo Bola Verde. Informe Anual de Actividades, Sección de Hortalizas, ICA-TIBAITATA. pp. 7-11. Bogotá. Colombia
- Villegas. M.A. (2015). *Trichoderma* Pers. Características generales y su potencial biológico en la agricultura sostenible.  
[https://www.oriusbiotech.com/escritor?nom=Trichoderma pers. Caracter%C3%ADsticas generales y su potencial biol%C3%B3gico en la agricultura sostenible](https://www.oriusbiotech.com/escritor?nom=Trichoderma%20pers.%20Caracter%C3%ADsticas%20generales%20y%20su%20potencial%20biol%C3%B3gico%20en%20la%20agricultura%20sostenible)

