



***Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* como controladores compatibles y eficientes de insectos plaga en cultivos acuapónicos**

***Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* as compatible and efficient controllers of plague insects in aquaponic crops**

Richard Ríos Da Silva¹ ; Jessy Vargas-Flores¹ ; José Sánchez-Choy¹ ; Ricardo Oliva-Paredes¹ ; Teresa Alarcón-Castillo¹ ; Pablo Pedro Villegas Panduro^{2,*} 

¹ Universidad Nacional Intercultural de la Amazonía (UNIA). Carretera San José de Tushmo km 0,63, distrito de Yarinacocha, provincia de Coronel Portillo, región Ucayali, Peru.

² Universidad Nacional de Ucayali (UNU). Carretera Federico Basadre km 6,2, distrito de Callería, provincia de Coronel Portillo, región Ucayali, Peru.

Received January 15, 2020. Accepted July 12, 2020.

Resumen

El objetivo fue estudiar la compatibilidad y eficiencia de *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* para el control de insectos plagas en col y lechuga cultivados en un sistema acuapónico conformado por tanques de *Piaractus brachypomus*. Fueron preparadas soluciones de esporas de *B. bassiana* y *M. anisopliae*. Los datos sometidos a un Diseño Completamente Al Azar, con cuatro tratamientos, tres repeticiones y los promedios comparados por el test de Tukey a 5 % evidenciaron que *B. bassiana* + *M. anisopliae* ocasionó 73% de mortalidad de *Bemisia tabaci* en el envés de las hojas de lechuga, *B. bassiana* reveló 84% de mortalidad para *Brevicoryne brassicae* L. en el haz de las hojas de col en 23 días. En el envés de las hojas de col, *B. bassiana* + *M. anisopliae*, mostraron 79% de mortalidad en solo 6 días y *M. anisopliae* 88% en 23 días después de su aplicación. Los hongos entomopatógenos *B. bassiana* + *M. anisopliae* evaluados fueron eficaces para el control de mosca blanca en el envés de las hojas de lechuga. *B. bassiana* fue más eficaz en el control de los pulgones del haz y *M. anisopliae* en el envés de las hojas de col durante la segunda aplicación.

Palabras clave: *Beauveria bassiana*; *Metarhizium anisopliae*; insectos plagas; hortalizas; sistema acuapónico.

Abstract

The objective was to study the compatibility and efficiency of *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* for the control of insect pests in cabbage and lettuce grown in an aquaponic system made up of *Piaractus brachypomus* tanks. Spore solutions of *B. bassiana* and *M. anisopliae* were prepared. The data submitted to a Completely Random Design, with four treatments, three repetitions and the averages compared by the 5% Tukey test showed that *B. bassiana* + *M. anisopliae* caused 73% mortality of *Bemisia tabaci* on the underside of the lettuce leaves, *B. bassiana* revealed 84% mortality for *Brevicoryne brassicae* L. in the bundle of cabbage leaves in 23 days. On the underside of cabbage leaves, *B. bassiana* + *M. anisopliae*, showed 79% mortality in just 6 days and *M. anisopliae* 88% in 23 days after application. The entomopathogenic fungi *B. bassiana* + *M. anisopliae* evaluated were effective for the control of whitefly on the underside of lettuce leaves. *B. bassiana* was more effective in controlling beam aphids and *M. anisopliae* on the underside of cabbage leaves during the second application.

Keywords: *Beauveria bassiana*; *Metarhizium anisopliae*; plagues insects; vegetables; aquaponic system.

Cite this article:

Ríos Da Silva, R.; Vargas-Flores, J.; Sánchez-Choy, J.; Oliva-Paredes, R.; Alarcón-Castillo, T.; Villegas, P.P.P. 2020. *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* como controladores compatibles y eficientes de insectos plaga en cultivos acuapónicos. Scientia Agropecuaria 11(3): 419-426.

* Corresponding author
E-mail: pablounu@hotmail.com (PPP. Villegas).

1. Introducción

Los sistemas acuapónicos han surgido debido a la necesidad de reducir el consumo de recursos naturales y los riesgos de contaminación. Este entorno simbiótico se constituye de la producción de peces (acuicultura), cultivo de hortalizas, frutos (hidroponía) y bacterias nitrificantes asociadas a raíces de plantas, quienes se benefician mutuamente en un sistema de circulación de agua (Monsees *et al.*, 2019; Millares *et al.*, 2017; Lobillo *et al.*, 2014).

Esta tecnología agrícola moderna presenta diversos diseños y escalas de sistemas acoplados o desacoplados que aportan beneficios económicos, mantienen el equilibrio entre la producción de peces y plantas, optimizan el empleo de nutrientes disponibles eficientemente para disminuir el desperdicio, así como evitar el estrés y lesiones externas entre los peces (Baßmann *et al.*, 2020).

También, permiten el aprovechamiento de residuos (peces), reducción de tierra y agua utilizados en la producción tradicional por lo cual muchos trabajos han reportado el cultivo de combinaciones de tilapia- lechuga, carpa-orégano- tilapia-tomate, trucha-lechuga (Hernández, 2017). En consecuencia, para este trabajo se seleccionó la combinación paco-lechuga-col.

Asimismo, la oferta constante de alimentos orgánicos y sin interferencia climática también justifica su expansión, bien como la alta posibilidad de agregar valor al producto final. Por otro lado, patógenos, insectos y algas pueden ocurrir en estufas agrícolas, demostrando adaptabilidad a ese tipo de ambiente tan simplificado desde el punto de vista biológico (Da Mata, 2018).

De esta forma el uso de acuaponía permite conciliar la producción de alimentos sanos con la preservación del medio ambiente. Además de eso, promueve la producción intensiva animal y vegetal en zonas urbanas y en áreas donde son insuficientes la tierra y el agua, genera empleo e ingresos y poca inversión en su aplicación (Dong *et al.*, 2020; Mechado Filho y Da Silva, 2018).

Sin embargo, existe un desafío en acuaponía que es el manejo de plagas y enfermedades de plantas, parásitos y enfermedades de peces; además de la preocupación creciente del uso irracional de productos químicos debido a la elevada demanda por alimentos libres de pesticidas, antibióticos, etc., tornándose necesario eliminar plagas y enfermedades (Dong *et al.*, 2020; Moreira *et al.*, 2017; Das Chagas *et al.*, 2016).

En ese sentido, tornase necesario la búsqueda de técnicas de manejo para el control de plagas y enfermedades como plantas con

acción insecticida, destacándose el control biológico como opción al control químico de plagas, por reducir riesgos a la salud humana y al ambiente, el cual viene siendo cada vez más utilizado como importante paso para una agricultura sustentable (Souza *et al.*, 2019; Lorencetti *et al.*, 2018; Hauschild, 2016; Zambiazzi *et al.*, 2016).

Así, son crecientes las investigaciones científicas que visan disminuir las agresiones al ecosistema, destacándose el interés por organismos capaces de promover el control biológico de plagas, sobre todo, por aquellos que pueden ser manipulados en laboratorios y/o en escala industrial (Bautista *et al.*, 2018).

Aun sobre el uso de microorganismos para el control biológico, el empleo de bioinsecticidas a base de hongos entomopatógenos como *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill (Ascomycota: Hypocreales) y *Metarhizium anisopliae* (Metsch.) Sorokin (Hypocreales: Clavicipitaceae), son alternativas muy eficientes y su elevado uso se basa principalmente en su gran variabilidad genética, una gama inmensa de hospederos, fácil producción en escala industrial, formulación y aplicación (Gómez *et al.*, 2014; Chiriboga *et al.*, 2015; Dos Santos, 2016; Ashraf *et al.*, 2017; Pacheco *et al.*, 2019).

Además de eso pueden atacar en diversas fases de desarrollo del insecto, siendo el mecanismo de infección por penetración de tegumento, diferente de bacterias y virus cuya infección es exclusivamente por ingestión (Ribeiro, 2016; Gonçalves, 2017).

No en tanto, para que estos entomopatógenos sean eficientes en el control de estos microorganismos, es necesario que estén en condiciones de temperatura y humedad relativa adecuadas, que fueron proporcionados por las condiciones climatológicas de la ciudad y de los sistemas acuapónicos (Athanassiou *et al.*, 2017; Rohini y Awaknavar, 2017).

Con todo lo expuesto se justifica la realización de este trabajo debido a que existe escasa información actualizada sobre el biocontrol de plagas en cultivos acuapónicos.

El objetivo de este experimento fue evaluar la compatibilidad y eficiencia de *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* para el control de plagas en col y lechuga cultivados en un sistema acuapónico.

2. Materiales y métodos

Los experimentos fueron conducidos en el Instituto de Educación Superior Pedagógico Público Bilingüe - IESPPB, Carretera San José 0,63 km., con coordenadas geográficas de latitud: 8°21' 47", longitud: 74°34' 00", altitud: 154 m y condiciones climáticas

de temperatura ambiental: 32 °C y humedad relativa: 85% en el distrito de Yarinacocha, provincia de Coronel Portillo, Región Ucayali - Perú.

Sistema acuapónico

Fueron instalados tanques de cultivo de alevinos de *Piaractus brachypomus* (densidad de 50 alevinos/m³) y el agua proveniente de ellos rico en excretas y bacterias nitrificadoras (*Nitrosomonas* sp. y *Nitrobacter* sp.) fueron distribuidas mediante tuberías con ayuda de una bomba periférica de 2 HP a camas de cultivo con dimensiones de 7 m de largo por 1,20 m de ancho y rellenas con grava de 0,5 cm de diámetro durante 15 minutos de regado y 45 minutos de receso (Colagrosso, 2015).

La siembra de semillas se desarrolló en tubetes e instalación de plántulas de col y lechuga en las camas del sistema acuapónico (Figura 1).

Las semillas de col y lechuga se sembraron en 4 casilleros de tubetes conteniendo sustrato previamente preparado y regados a diario. Posteriormente, plántulas de 13 cm de altura y raíces de 6 cm de longitud se trasplantaron a las camas de cultivo del sistema acuapónico con distancias de 0,20 m entre surco y 0,20 m entre planta.

Monitoreo y evaluación de la presencia de insectos plagas en las hortalizas col y lechuga

Diariamente, fueron observadas la presencia de insectos plaga en el haz y envés de las hojas. Preparación de hongos entomopatógenos

Para los bioensayos, fueron adquiridos 800 g de arroz cultivados con *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae*, procedentes del Laboratorio de Entomopatógenos del SENASA, ubicado en el Cercado de Lima 15491, Perú.

Soluciones de esporas de *B. bassiana* y *M. anisopliae* fueron preparadas por separado, con 7 g de arroz colonizado, diluidos en 1 L de agua y adicionados de 6 mL de aceite agrícola orgánico a base de soya.

Por otro lado, soluciones combinadas de *B. bassiana* y *M. anisopliae*, fueron preparadas con 3,5 gramos de arroz colonizado de cada hongo, diluidos en 1 L de agua, acrecentados de 6 mL de aceite agrícola orgánico a base de soya y dejados en reposo por 6 horas para finalmente ser pulverizadas a las hortalizas a una concentración de 1 x 10⁷ conidios/mL⁻¹.

A continuación, la primera pulverización foliar de los tratamientos se realizó a los 30 días del transplante de las plántulas de hortalizas a las camas de cultivo. Después de 15 días de la primera pulverización y 8 días de la segunda pulverización, se contabilizaron los insectos adultos afectados y momificados en cada planta y tratamientos.

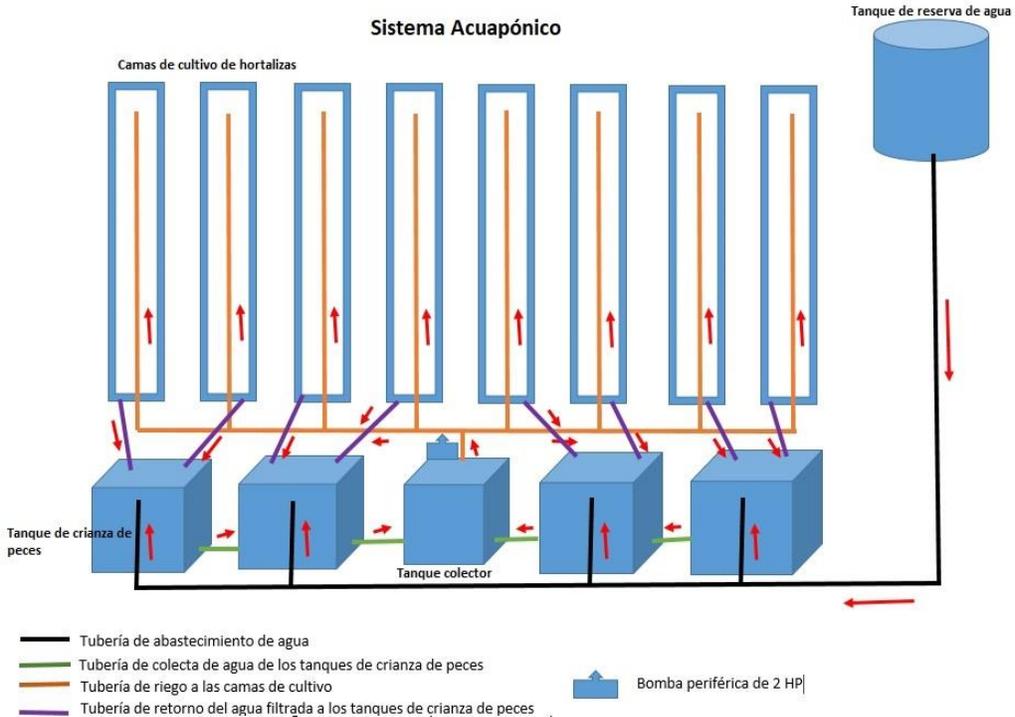


Figura 1. Esquema del Sistema acuapónico utilizado en el experimento.

Diseño de la investigación

Se utilizó un Diseño Completamente Al Azar (DCA), con cuatro tratamientos, tres repeticiones y los promedios fueron comparados por la prueba de Tukey a 5 % de probabilidad, siendo los resultados obtenidos para las dos especies de hongos analizados independientemente, utilizándose para esto el programa estadístico SAS® (Statistical Analysis System) versión 8.1.

3. Resultados y discusión

Durante los monitoreos, se identificaron los siguientes insectos plagas adultos: *Brevicoryne brassicae* Linneus (pulgón) y *Bemisia tabaci* (mosca blanca).

Los resultados obtenidos no presentaron diferencias significativas entre los tratamientos y el testigo, observándose en el envés de las hojas de lechuga 58, 66 y 73% de mortalidad en *B. tabaci* respectivamente durante 30 días, diferente del testigo donde no hubo mortalidad (Tabla 1).

En otras investigaciones, Ríos-Velasco *et al.* (2014) verificaron la patogenicidad de *B. bassiana* y *M. anisopliae* con distintas concentraciones de conidios para el control de ninfas de *B. tabaci* en *Solanum lycopersicum* bajo condiciones de laboratorio. *B. bassiana* provocó mayor mortalidad en *B. tabaci* a una concentración de 6.1×10^7 conidios/mL (100 %) y *M. anisopliae* con una concentración de 9.5×10^7 conidios/mL (87,9 %) durante 8 días.

Diferente a nuestros experimentos, fue evaluada la eficiencia de marcas de bioformulaciones comerciales de *B. bassiana* y *M. anisopliae* para reducir la población de plagas con tres aplicaciones durante 36 días, observándose pocas variaciones en la tasa de mortalidad de *B. tabaci* adultos producida por *B. bassiana* (91,90%) y *M. anisopliae* (92,67%) a diferentes concentraciones (2×10^8 ufc/L y 5×10^8 ufc/L) respectivamente (Sharma *et al.*, 2015).

Sin embargo, Garrido-Jurado *et al.* (2016), encontraron que una concentración de $1,0 \times 10^8$ conidios/mL⁻¹ de *B. bassiana* y *M. brunneum* fue necesaria para eliminar el 94% y 60% de ninfas de *B. tabaci* biotipo Q respectivamente en 96 horas.

Zafar *et al.* (2016), realizaron trabajos con aislamientos de *B. bassiana* en *Capsicum annum* y *Solanum melongena*, cuya concentración de 2×10^8 conidios/mL promovió mayor número de muertes (75,90%) y (76,91%) en ninfas de mosca blanca de cada planta hospedera a lo largo de 7 días de tratamiento.

Mientras que Jabert *et al.* (2017), en los tratamientos que realizaron entre 20 a 25 días

con dos aplicaciones de 1×10^7 conidios/mL obtuvieron baja virulencia de *B. bassiana* (34,8%) y *M. anisopliae* (18,2%) contra adultos de *B. tabaci*.

También se probó la eficacia de marcas de bioplaguicidas *B. bassiana* (BotaniGard®), *Isaria fumosorosea* (Preferal®), Natur'l Oil™ y (Publix®), a través de tratamientos por inmersión previos al envío de *Mentha* sp para atenuar el transporte transfronterizo de *B. tabaci*, reportando una reducción (81%) de la población adulta en 14 días, cuando testados solamente con concentración 2×10^3 conidios/lb de *B. bassiana* BotaniGard® (Aristizábal *et al.*, 2018).

Al contrario, Somoza (2018), evaluando la asociación de *B. bassiana* y *Bacillus thuringiensis* para el control de ninfas de *B. tabaci* en cultivo de fresas en laboratorio e invernadero, encontró que *B. bassiana* a una concentración de 1×10^6 conidia/mL ocasionó una mortalidad 61,67 % durante 7 días de tratamiento.

Por otra parte, en bioensayos fueron aisladas bacterias y hongos potenciales del suelo y estiércol de vaca con el objetivo de probar su patogenicidad en moscas blancas adultas de la yuca (*B. tabaci*), donde se observaron que 1×10^6 conidios/mL de los entomopatógenos *B. bassiana* y *M. anisopliae* ocasionaron la muerte de 70,8% y 67,5% de moscas correspondientemente en solo 5 días después del tratamiento (Harish *et al.*, 2019).

De acuerdo con Niu *et al.* (2019), estudiando la biodiversidad de hongos entomopatógenos aislados de los suelos del sur de China, ejecutaron experimentos en laboratorio para informar sus actividades entomopatógenas contra *B. tabaci* y estimar las mortalidades generadas a una concentración de 1×10^8 conidios/mL en 10 días, constatando que al utilizar aislados de hongos entomopatógenos para el manejo de ninfas de *B. tabaci* se pueden obtener niveles de control que oscilan de 55,56% y 61,02%.

Asimismo, nuevos trabajos fueron efectuados para examinar la compatibilidad en condiciones de laboratorio de hongos entomopatógenos con insecticidas y su eficacia para el manejo de ninfas de *B. tabaci* en cultivos de algodón. Los resultados demostraron que el porcentaje de muertes de 95,1% y 86,7% en 7 días de tratamiento, fue acarreado por una concentración de 1×10^6 conidios/mL originado individualmente tanto de *B. bassiana* como de *M. anisopliae* (Sain *et al.*, 2019).

De forma similar Singh y Joshi (2020), evaluaron diferentes formulaciones de entomopatógenos, junto con Azadirachtin 1% para el manejo del pulgón y la mosca blanca en el

pimiento bajo condiciones protegidas, durante los tratamientos 3 pulverizaciones foliares de $1,2 \times 10^{10}$ ufc/L fueron aplicadas a intervalos de 3, 7 y 10 días. Concluyeron que la cepa nativa de *B. bassiana* -B1 y las formulaciones comerciales de *B. bassiana* y de *M. anisopliae* durante 30 días, consiguieron reducir el 46,5%, 52% y 48,7% de la población adulta de *B. tabaci*.

Finalmente, tres métodos de inoculación: pulverización foliar, desinfección de semillas e irrigación de raíces, fueron aplicados con la finalidad de determinar la eficiencia de la colonización de la cepa *B. bassiana* Bb252 de plantas de tomate en la eliminación de insectos de *B. tabaci* biotipo MED, cuyos ensayos evidenciaron la eficiencia del 100% de colonización utilizando 1×10^8 conidios/mL de *B. bassiana* por el método de pulverización foliar alcanzados a los 14 días de tratamiento (Wei et al., 2020).

Se observa que, en los tratamientos testados, así como en el testigo, el número de pulgones muertos en el haz de las hojas de col no mostraron diferencia estadística tanto en la primera y segunda aplicación, con excepción del tratamiento 3. No obstante, en la segunda aplicación a los 23 días, las concentraciones de *B. bassiana* y *M. anisopliae* exhibieron mayores porcentajes de mortalidad (84%) y (79 %) cuando comparados a la primera aplicación durante 15 días (Tabla 2).

Diferentes ensayos fueron practicados por García-Gutiérrez y Gonzales-Maldonado (2010), al aplicar bioinsecticidas a base de *B. bassiana*, *M. anisopliae* y *Paecilomyces fumosoroseus*, los cuales lograron controlar a *Pieris rapae*, *Plutella xylostella*, *Trichoplusia ni*, *Brevycorine brassicae*, *Trips spp.*, *Phthorimaea operculella*, *Empoasca fabae*, *Liriomyza trifolii* y *B. tabaci* en cultivos de hortalizas con concentraciones de $1,2 \times 10^{12}$ conidios/ml que manifestaron mortalidades superiores al 80% a las 72 h después del procedimiento.

Similar a nuestros resultados, se desarrollaron experimentos con insecticidas químicos y micoinsecticidas mezclados con surfactante no iónico (0,125%) para la eliminación de *Frankliniella occidentalis*, *B. brassicae*, *Myzus persicae* en hojas de lechuga y brócoli, en los cuales se comprobaron que *B.*

bassiana GHA fue más eficaz contra *M. persicae* (40%) en comparación de *B. brassicae* con solo una reducción del 19% y 14% después del tercer y décimo tercer día de la primera pulverización y a concentraciones de $4,4 \times 10^{10}$ conidios/g (Dara et al., 2017).

Por tanto, vale resaltar que cada vez se presenta mayor resistencia a productos agroquímicos por parte de las plagas y sumado a esto, los países a los cuales se exportan los productos aumentan las restricciones en el uso de numerosos plaguicidas, por cuanto demandan productos naturales u orgánicos, con certificación (Chiriboga et al., 2015).

En la Tabla 3, con respecto a la primera y segunda aplicación, así como en el número de pulgones muertos en el envés de las hojas de col, los resultados expresaron diferencias significativas en todos los tratamientos realizados y en el testigo.

El tratamiento con la combinación de *B. bassiana* + *M. anisopliae*, expuso mayor porcentaje de mortalidad (79%) en solo seis días de la primera aplicación, a pesar de esto, porcentajes de mortalidad de *M. anisopliae* (88%), *B. bassiana* (82%) y ausencia de mortalidad en el testigo durante 23 días de exposición después de su segunda aplicación, revelaron que la aplicación aislada fue más eficiente en el control de los insectos plaga de col al contrario de la aplicación combinada de ambos entomopatógenos.

Estos datos son semejantes con los hallazgos de las evaluaciones efectuadas por Ramanujam et al. (2017), quienes constataron que la pulverización de aislamientos de *B. bassiana*-5a y *M. anisopliae* Ma-4 en concentración de 1×10^8 ufc/mL lograron disminuir 87,1% y 83,9% en la población de *B. brassicae* en 10 días y bajo condiciones de campo.

Al mismo tiempo, la mortalidad más alta de pulgones (*B. brassica* L.) fue dada por *B. bassiana* y *M. anisopliae* 96% y 97% en condiciones de campo y 85% y 83% en laboratorio; durante 10 días y a bajas concentraciones de conidios (1×10^4 conidios/mL) (Al-Keridis, 2016).

Tabla 1

Control del número de *Bemisia tabaci* vivas y muertas, en el envés de las hojas de lechuga

Trat	Descripción	Aplicación (30 días)		Mortalidad (%)
		Nº de moscas blancas vivas	Nº de moscas blancas muertas	
T1	<i>Beauveria bassiana</i>	6,53 ab	4,22 b	66
T2	<i>Metarhizium anisopliae</i>	4,21 b	2,48 b	58
T3	<i>B. bassiana</i> + <i>M. anisopliae</i>	8,47 a	6,24 a	73
T4	Testigo	0,5 c	0,5 c	0

Letras iguales no presentan diferencias significativas. Tukey $p \leq 0,05$.

Tabla 2Control del número de *Brevicoryne brassicae* L. vivos y muertos, en el haz de las hojas de col

Trat.	Descripción	Primera aplicación (15 días)			Segunda aplicación (8 días)		
		Nº de pulgones vivos	Nº de pulgones muertos	Mortalidad (%)	Nº de pulgones vivos	Nº de pulgones muertos	Mortalidad (%)
T1	<i>Beauveria bassiana</i>	24,08 b	5,33 a	22	10,81 a	9,07 a	84
T2	<i>Metarhizium anisopliae</i>	21,92 b	6,35 a	28	5,04 ab	4,01 ab	79
T3	<i>B. bassiana</i> + <i>M. anisopliae</i>	35,00 a	8,50 a	24	0,05 b	0,50 b	0
T4	Testigo	0,50 c	0,50 b	0	0,50 b	0,50 b	0

Letras iguales no presentan diferencias significativas. Tukey $p \leq 0,05$.**Tabla 3**Control del número de *Brevicoryne brassicae* L. vivos y muertos, en el envés de las hojas de col

Trat.	Descripción	Primera aplicación (15 días)			Segunda aplicación (8 días)		
		Nº de pulgones vivos	Nº de pulgones muertos	Mortalidad (%)	Nº de pulgones vivos	Nº de pulgones muertos	Mortalidad (%)
T1	<i>Beauveria bassiana</i>	24,42 b	10,56 b	43	13,06 a	10,66 a	82
T2	<i>Metarhizium anisopliae</i>	22,13 b	10,87 b	49	5,98 ab	5,29 ab	88
T3	<i>B. bassiana</i> + <i>M. anisopliae</i>	35,12 a	27,82 a	79	0,50 b	0,50 b	0
T4	Testigo	0,50 c	0,50 c	0	0,50 b	0,50 b	0

Letras iguales no presentan diferencias significativas. Tukey $p \leq 0,05$.

Ligeras variaciones fueron notadas en experimentos para el control de *B. brassicae* L. utilizando micoinsecticidas aislados, siendo que, 100% y 91,11% de la mortalidad de los pulgones de la col por *B. bassiana* y *M. anisopliae* acontecieron en 10 días de tratamiento (Embaby y Loft, 2016).

Después del ajuste de *B. bassiana* a la concentración de 1×10^7 conidios/mL, los análisis elaborados por Akbari et al. (2014), registraron que *B. bassiana* es capaz de colonizar hasta el 83% de la población de *B. brassicae* en 14 días. Entretanto, Asi et al. (2009), seleccionaron dos cepas; *M. anisopliae* (L6) y *M. anisopliae* (M440) testando diluciones de 1×10^7 conidios/mL⁻¹ durante 7 días para constar la destrucción del 73,11% y 81,11% de pulgones adultos de la col.

Además, Liu et al. (2009) confirmaron que *B. brassicae* fue eliminada (93,87%) con 1×10^8 conidios/mL de *B. bassiana* y a la vez Prince y Chandler (2020), lograron mortalidad de 86,6% a 639,6 ufc/mm² de *B. bassiana* por 9 días de tratamiento.

Para todos los efectos los hongos entomopatógenos que fueron utilizados expresaron alto valor de patogenicidad debido a que provocaron mortalidad a concentraciones bajas. Es probable que el comportamiento de ambas especies de hongos evaluadas para el control de moscas blancas y pulgones estén concernientes con sus características genéticas y fisiológicas, lo que determinan los contrastes entre diversos géneros de hongos y su patogenicidad hacia un determinado insecto (Rojas-Gutiérrez et al., 2017).

Además de eso, micopláguicidas relacionados con biopláguicidas bacterianos y virales no necesitan ser ingeridos para realizar su

acción biocontroladora, solo requieren humedad y temperatura para estimular el crecimiento de esporas del microorganismo al depositarse en la superficie del insecto, atravesar la cutícula del exoesqueleto con ayuda de reacciones enzimáticas, invadir el cuerpo, sistema circulatorio (hemolinfa) y provocar la muerte del insecto por inanición fisiológica en aproximadamente 3 a 7 días (Bautista et al., 2018).

Por otro lado, es importante realizar experimentos que permitan estudiar mecanismos de acción patógena, identificar taxonómicamente y caracterizar a microorganismos nativos con el propósito de seleccionar los más virulentos y establecer condiciones óptimas *in vitro* para su aplicación en el campo y en la industria agrícola (Pacheco et al., 2019).

En conclusión, con todo lo expuesto es necesario recalcar que los resultados conseguidos bajo ciertos parámetros controlados se tornan difíciles para ser discutidos con investigaciones semejantes debido a la insuficiente información sobre el biocontrol de plagas con hongos entomopatógenos de las especies en estudio y todavía, en sistemas acuapónicos.

No obstante, se ha verificado que existen experimentos bajo condiciones de laboratorio y/o de campo con diferentes especies vegetales y ordenes de insectos, lo cual ha permitido realizar una referencia comparativa para este trabajo.

4. Conclusiones

La combinación de *B. bassiana* y *M. anisopliae* fue eficaz para el control de mosca blanca en el envés de las hojas de lechuga; sin embargo, *B. bassiana* fue más

satisfactorio en el control de los pulgones del haz y *M. anisopliae* en el envés de las hojas de col durante la segunda aplicación evidenciando compatibilidad con el sistema acuapónico debido a que no se alteraron componentes acuáticos y vegetales generando una producción libre de pesticidas. Debido a la escasa información se sugiere realizar más experimentos sobre la interacción de *B. bassiana* y *M. anisopliae* así como la aplicación de *Verticillium leccanii* para el cultivo de frutos u hortalizas en sistemas acuapónicos con el objetivo de ser transferidos a la práctica agrícola.

ORCID

R.A. Ríos  <https://orcid.org/0000-0003-0473-4960>
 J.I. Vargas  <https://orcid.org/0000-0001-7246-8065>
 J.G. Choy  <https://orcid.org/0000-0003-3376-590X>
 R.J. Oliva  <https://orcid.org/0000-0002-9751-1610>
 T.A. Castillo  <https://orcid.org/0000-0002-3761-2049>
 P.P. Villegas  <https://orcid.org/0000-0001-9300-8113>

Referencias bibliográficas

- Akbari, S.; Safavi, S.A.; Ghosta, Y. 2014. Efficacy of *B. bassiana* (Blas.) Vuil. against cabbage aphid *B. brassicae* L. (Hem.: Aphididae) in laboratory condition. Journal Archives of Phytopathology and plant protection 47(12): 1454-1458.
- Al-Keridis, L.A. 2016. Virulence of some entomopathogenic fungi on cabbage aphids, *Brevicoryne brassicae* L. International Journal of ChemTech Research 9(12): 61-67.
- Aristizábal, L.F.; Avery, P.B.; Kumarc, V.; et al. 2018. Mitigating trans-boundary movement of *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) on *Mentha* sp by pre-shipment treatments of biopesticides. Crop Protection 107: 71-78.
- Ashraf, M.; Farooq, M.; Shakeel, M.; et al. 2017. Influence of entomopathogenic fungus, *Metarhizium anisopliae*, alone and in combination with diatomaceous earth and thiamethoxam on mortality, progeny production, mycosis, and sporulation of the stored grain insect pests. Environ Sci Pollut Res 24: 28165-28174.
- Asi, M.R.; Bashir, M.H.; Afzal, M.; et al. 2009. Effect of conidial concentration of entomopathogenic fungi on mortality of cabbage aphid, *Brevicoryne brassicae* L. Pak. J. Life Soc. Sci 2: 175-180.
- Athanassiou, C.G.; Kavalieratos, N.G.; Rumbos, C.I.; et al. 2017. Influence of temperature and relative humidity on the insecticidal efficacy of *Metarhizium anisopliae* against larvae of *Ephestia kuehniella* (Lepidoptera: Pyralidae) on wheat. Journal of Insect Science 17(1): 22.
- Baßmann, B.; Harbach, H.; Weißbach, S.; et al. 2020. Effect of plant density in coupled aquaponics on the welfare status of African catfish, *Clarias gariepinus*. J World Aquacult Soc 51: 183-199.
- Bautista, E.J.; Mesa, L.; Gómez, M.I. 2018. Alternativas de producción de bioplaguicidas microbianos a base de hongos: el caso de América Latina y El Caribe. Scientia Agropecuaria 9(4): 585-604.
- Colagrosso, A. 2015. Instalación y manejo de sistemas de cultivo acuapónicos a pequeña escala. 1a Edición. Roma, Italia. 64 pp.
- Chiriboga, P.H.; Gómez, B.G.; Garcés, E.K. 2015. Protocolos para formulación y aplicación del bio-insumo: *Beauveria bassiana*, hongo entomopatógeno para el control biológico de hormigas cortadoras (YSAÚ). Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), ISBN 978-92-9248-592-4 Asunción, Paraguay. 28 pp.
- Da Mata, A. 2018. Controle de algas e moscas, em espuma fenólica, para alface sob sistema hidropônico do tipo NFT. Tesis de Maestría, Instituto Federal Goiano, Goiânia. Brasil. 31 pp.
- Dara, S.K. 2017. Managing Western flower thrips (Thysanoptera: Thripidae) on lettuce and green peach aphid and cabbage aphid (Hemiptera: Aphididae) on broccoli with chemical insecticides and the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* (Hypocreales: Clavicipitaceae). The Open Plant Science Journal 10: 21-28.
- Das Chagas, F.; Polonio, J.C.; Ruvolo-Takasusuki, M.C.; et al. 2016. Controle biológico em sistema orgânico de produção por agricultores da cidade de Maringá (Paraná, Brasil). Ciência e Natura 2(38): 637-647.
- Dong, Z.; Sha, S.; Lia, C.; et al. 2020. Potential Risk of Antibiotics Pollution in Aquaponic System and Control Approaches. Chemical Engineering Transactions 78: 265-270.
- Dos Santos, M.D.; Duarte, M.E.; Valente, E.C.; et al. 2016. Eficiência de isolados comerciais de *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuillemin e *Metarhizium anisopliae* (Metsch.) Sorok (Hypocreales: Cordycipitaceae, Clavicipitaceae) sobre o ácaro rajado *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae). R. Bras. Bioci 2(14): 76-79.
- Embaby, E.E.; Lotfy, D.E. 2016. Controlling cabbage aphid (*Brevicoryne brassicae* L.) using isolated mycoinsecticides. J. Plant Prot. and Path. Mansoura Univ 7(1): 73-77.
- García-Gutiérrez, C.; González-Maldonado, M.B. 2010. Uso de bioinsecticidas para el control de plagas de hortalizas en comunidades rurales. Ra Ximhai 6(1): 17-22.
- Garrido-Jurado, I.; Resquín-Romero, G.; Amarilla, S.P.; et al. 2016. Transient endophytic colonization of melon plants by entomopathogenic fungi after foliar application for the control of *Bemisia tabaci* Gennadius (Hemiptera: Aleyrodidae)
- Gómez, H.; Zapata, A.; Torres, G.E.; et al. 2014. Manual de producción y uso de hongos entomopatógenos. Laboratorio de entomopatógenos SCB, Servicio Nacional de Sanidad Agraria- SENASA, Lima. Perú. 37 pp.
- Gonçalves, V. 2017. Compatibilidade de agrotóxicos e óleos essenciais a *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill e *Metarhizium anisopliae* (Metsch.) Sorokin. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas. Brasil. 63 pp.
- Harish, E.R.; Farhana, A.H.; Sangeetha, B.G. 2019. Screening potential microbes against whitefly (*Bemisia tabaci* (Gennadius)), the most important pest of cassava (*Manihot esculenta* Crantz). Journal of Entomology and Zoology Studies 7(6): 601-606.
- Hauschild, R.C. 2016. Controle de pragas na produção orgânica de hortalizas, em Estrela, RS. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Brasil. 30 pp.
- Hernández, L.F. 2017. Diseño, construcción y evaluación de un sistema acuapónico automatizado de tipo tradicional y doble recirculación en el cultivo de tilapia roja (*Oreochromis mossambicus*) y lechuga crespa (*Lactuca sativa*). Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. Colombia. 127 pp.
- Jaber, L.R.; Araj, S.E.; Qasem, J.R. 2017. Compatibility of endophytic fungal entomopathogens with plant extracts for the management of sweetpotato whitefly *Bemisia tabaci* Gennadius (Homoptera: Aleyrodidae). Biological Control 117: 164-171.
- Liu, S. 2009. Selecting BD061-3 strain of *Beauveria bassiana* to *Brevicoryne brassicae* L. J Anhui Agric Sci 16(1): 7523-7524.
- Lobillo, J.R.; Fernández-Cabanás, V.M.; Carmona, E.; et al. 2014. Manejo básico y resultados preliminares de crecimiento y supervivencia de tencas (*Tinca tinca* L.) y lechugas (*Lactuca sativa* L.) en un prototipo

- acuapónico. Información Técnica Económica Agraria 110(2): 142-159.
- Lorencetti, G.A.; Potrich, M.; Mazaro, S.M. 2018. Eficiencia de *Beauveria bassiana* Vuill. e *Isaria* sp. para o controle de *Thaumastocoris peregrinus* Carpintero & Dellapé (Hemiptera: Thaumastocoridae). *Ciência Florestal* 1(28): 403-411.
- Mechado Filho, H.S.; Da Silva, C.V. Produção sustentável de alimentos. En: 7ª Jornada Científica e Tecnológica da Fatec de Botucatu, Brasil, 29 oct-01 nov, 2018.
- Millares, N.; Pérez, L.; Jaime, B.; *et al.* 2017. Un método alternativo para incrementar la productividad en el cultivo acuícola-agrícola en proyectos comunitarios con enfoque de género: la acuaponia. *Revista Cubana de Investigaciones Pesqueras* 34(2): 84-89.
- Monsees, H.; Suhl, J.; Paul, M.; *et al.* 2019. Lettuce (*Lactuca sativa*, variety Salanova) production in decoupled aquaponic systems: Same yield and similar quality as in conventional hydroponic systems but drastically reduced greenhouse gas emissions by saving inorganic fertilizer. *PLoS ONE* 14(6): 1-23.
- Moreira, F.J.; Araújo, B.; Da Silva, V.; *et al.* 2017. Controle de *Cosmopolites sordidus* (Coleoptera: Curculionidae) com os fungos entomopatogênicos *Beauveria bassiana* e *Metarhizium anisopliae* em banana. *Revista Verde* 3(12): 366-373.
- Niu, X.; Xie, W.; Zhang, J.; *et al.* 2019. Biodiversity of Entomopathogenic Fungi in the Soils of South China. *Microorganisms* 7(311): 1-14.
- Pacheco, M.L.; Reséndiz, J.F.; Arriola, V.J. 2019. Organismos entomopatogênicos como control biológico en los sectores agropecuario y forestal de México: una revisión. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 10(56): 5-32.
- Prince, G.; Chandler, D. 2020. Susceptibility of *Myzus persicae*, *Brevicoryne brassicae* and *Nasonovia ribisnigri* to fungal biopesticides in laboratory and field experiments. *Insects* 11(55): 1-16.
- Ramanujam, B.; Japur, K.; Poornesha, B. 2017. Field evaluation of entomopathogenic fungi against cabbage aphid, *Brevicoryne brassicae* (L.) and their effect on coccinellid predator, *Coccinella septempunctata* (Linnaeus). *Journal of Biological Control* 31(3): 168-171.
- Ribeiro, R. 2016. *Beauveria bassiana* Vuill. (Ascomycetes: Clavicipitaceae) sobre *Thaumastocoris peregrinus* Carpinteiro & Dellapé (Hemiptera: Thaumastocoridae). Tese Mestrado, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Brasil. 54 pp.
- Ríos-Velasco, C.; Pérez-Corral, D.A.; Salas-Marina, M.A.; *et al.* 2014. Pathogenicity of the Hypocreales fungi *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* against insect pests of tomato. *Southwestern Entomologist* 39(4): 739-750
- Rohini, S.; Awaknavar J.S. 2017. Preliminary lab studies on the use of *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin against *Callosobruchus chinensis* (Fabricius) (Coleoptera: Bruchidae) under different temperature and relative humidity regimes. *Journal of Entomology and Zoology Studies* 5(5): 1538-1545.
- Rojas-Gutiérrez, R.L.; Loza-Murguía, M.; VINO-NINA, L.; *et al.* 2017. Capacidad biocontroladora de *Beauveria brongniartii* (Sacc.) y *Metarhizium anisopliae* (Metsch.) en el control de pulgones *Macrosiphum euphorbiae* (Hemiptera: Aphididae). *J Selva Andina Res Soc* 8(1): 48-68.
- Sain, S.K.; Monga, D.; Kumar, R.; *et al.* 2019. Compatibility of entomopathogenic fungi with insecticides and their efficacy for IPM of *Bemisia tabaci* in cotton. *J Pestic Sci* 44(2): 97-105.
- Sharma, M.; Budha, P.B.; Pradhan S.B. 2015. Efficacy test of bio-pesticides against tobacco whitefly *Bemisia tabaci* (Gennadius, 1889) on tomato plants in Nepal. *Journal of Institute of Science and Technology* 20(2): 11-17.
- Singh, H.; Joshi, N. 2020. Management of the aphid, *Myzus persicae* (Sulzer) and the whitefly, *Bemisia tabaci* (Gennadius), using biorational on capsicum under protected cultivation in India. *Egyptian Journal of Biological Pest Control* 30(67): 1-9.
- Somoza, C.E. 2018. Asociación de *Beauveria bassiana* cepa HPI-019/14 y *Bacillus thuringiensis* cepa GP139 para el control biológico de *Bemisia tabaci* en cultivo de fresa. Tesis de Maestría, Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, Puebla. México. 150 pp.
- Souza, H.; Ribeiro, M.F.; Silva, R. 2019. Compatibilidade entre defensivos naturais e o fungo entomopatogênico *Beauveria bassiana* (bals.). *Vuill. Magistra* 30: 60-66.
- Wei, Q.Y.; Li, Y.Y.; Xu, C.; *et al.* 2020. Endophytic colonization by *Beauveria bassiana* increases the resistance of tomatoes against *Bemisia tabaci*. *Arthropod-Plant Interactions* 14: 289-300.
- Zafar, J.; Freed, S.; Khan, B.A.; *et al.* 2016. Effectiveness of *Beauveria bassiana* against cotton whitefly, *Bemisia tabaci* (Gennadius) (Aleyrodidae: Homoptera) on different host plants. *Pakistan J Zool* 48(1): 91-99.
- Zambiazzi, E.; Guilherme, S.; Corassa, J.; *et al.* 2016. Patogenicidade de *Beauveria bassiana* no controle *in vitro* da lagarta-da-espiga do milho (*Helicoverpa zea*). *Revista de Ciências Agrárias* 39(1): 89-94.