

Efecto de *Trichoderma harzianum* para el control de roya (*Pucciniastrum americanum* Farl.) en el cultivo de frambuesa roja (*Rubus idaeus*) orgánica

Angelica Janeth Horta Aguilar, Aldo Alcalá Cibrián, Victor Manuel Langarica Rivera

Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez –Unidad académica Tamazula, Jalisco, C.P 49650

email: victor.langarica@tamazula.tecmm.edu.mx angelica.horta@tamazula.tecmm.edu.mx
aldo.alcala@tamazula.tecmm.edu.mx

Resumen – El biocontrol es una alternativa en la agricultura orgánica, donde es aprovechada la facultad de algunos microorganismos para controlar a otros, considerados dañinos para las plantas. La explotación comercial de la frambuesa roja (*Rubus idaeus*) está constantemente amenazada por la presencia de hongos causantes de enfermedades vegetales. Entre ellos está el *Pucciniastrum americanum*. Agente causal de la roya, que, al proliferar, reduce la producción de nutrientes y la capacidad fotosintética de la planta y rendimiento de los frutos. En cambio, *Trichoderma harzianum* es un hongo antagonista del patógeno, mediante diversos mecanismos de acción, es capaz de crear un ambiente favorable para el desarrollo radicular, activar mecanismos de defensa e inducir resistencia en la planta. El objetivo consistió en determinar si el *Trichoderma harzianum* puede ejercer un control sobre *Pucciniastrum americanum* Farl, en el cultivo de frambuesa roja (*Rubus idaeus*) orgánica.

Para esto, se determinó el porcentaje de severidad de infestación, antes y después del tratamiento, mediante la estimación del área del tejido vegetal afectado por la enfermedad. Considerando un 10% como umbral de tratamiento, la enfermedad logró prosperar sólo un 4% más, debido a la acción de control del *T. harzianum* y se mantuvo bajo control durante todo el ciclo agrícola, mientras que en las plantas testigos, la roya invadió más del 50% de la hoja.

Palabras claves – *Trichoderma*, roya, frambuesa roja, biocontrol.

Abstract -Biocontrol is an alternative in organic agriculture, where the ability of some microorganisms to control others considered harmful to plants is harnessed. The commercial exploitation of red raspberry (*Rubus*

idaeus) is constantly threatened by the presence of fungi that cause plant diseases. Among them is *Pucciniastrum americanum*. The causal agent of rust, which, upon proliferation, reduces nutrient production, the photosynthetic capacity of the plant, and fruit yield. In contrast, *Trichoderma harzianum* is a fungus that is antagonistic to the pathogen. Through various mechanisms of action, it is capable of creating a favorable environment for root development, activating defense mechanisms, and inducing resistance in the plant. The objective was to determine whether *Trichoderma harzianum* can control *Pucciniastrum americanum* Farl in organic red raspberry (*Rubus idaeus*) crops.

To this end, the severity of infestation was determined before and after treatment by estimating the area of plant tissue affected by the disease. Considering a 10% threshold as the treatment threshold, the disease only managed to thrive in 4% more cases due to the control action of *T. harzianum*, and it remained under control throughout the entire crop cycle; while in control plants, the rust invaded more than 50% of the leaves.

Key words: *Trichoderma*, rust, red raspberry, biocontrol.

I. INTRODUCCION

México es considerado como el 2° productor de Frambuesa en el mundo, con 190 mil 413 toneladas producidas y ventas equivalentes a 1343 millones de dólares. Destacando los estados de Michoacán, Jalisco y Baja California en la producción de esta frutilla, beneficiando a las familias por los más de 100,000 empleos directos que genera [1]. Jalisco aporta el 70% de la producción total, siendo Jocotepec y Zapotlán el Grande los municipios del estado que más contribuyen a la producción nacional. El 82.6% de la producción de frambuesa

se obtiene en macro túnel, mientras que el 16.9% es a cielo abierto, 0.5% en invernadero y menos del 0.1% en malla sombra. El 97.7% se produce de forma convencional y solamente un 2.3% es de producción orgánica [2]. La producción orgánica se basa en la utilización óptima de los recursos naturales sin emplear productos químicos sintéticos como fertilizantes o plaguicidas, en ninguna parte del proceso para proteger el medio ambiente y la salud humana [3].

La frambuesa Kweli fue creada en el 2016 en Italia, posee la capacidad de generar dos floraciones en la temporada, por lo que su producción no está centrada en un solo momento o peak, abarcando mayor número de meses de cosecha. Genera rendimientos muy altos, con fruta con muy buena vida pos cosecha, de color rojo brillante, buen sabor y fácil liberación del receptáculo. Peso de 5 gr por frutilla, con aptitudes para su comercialización en fresco o congelada. En pos cosecha la fruta se oscurece lentamente manteniéndose en buenas condiciones durante 10 días o más. (4).

La Roya es una enfermedad fúngica que afecta el cultivo de la frambuesa, entre las especies de roya está la ocasionada por *Pucciniastrum americanum*. Caracterizado por la aparición de manchas anaranjadas u óxido en las hojas, (ver fig. 1) resultado de la reproducción del hongo, las cuales contienen las esporas, que se dispersan fácilmente a toda la planta a través del viento, agua y utensilios agrícolas. El efecto negativo se presenta al disminuir la capacidad fotosintética de la planta, reduciendo la producción de nutrientes y generando un debilitamiento general de la planta, haciéndola más susceptible a otras enfermedades y plagas; como consecuencia se genera una caída prematura de hojas y reducción del rendimiento de los frutos [5] [6].

El hongo es heterocíclico, es decir, ataca a dos huéspedes diferentes en diferentes etapas de su ciclo de vida. Produce dos tipos de esporas (urediniosporas y teliosporas), lo que le permite hibernar, en esa forma en las cañas de los tallos infectados, residuos vegetales o el suelo. Los primeros síntomas aparecen en las hojas más bajas, posteriormente en cálices y frutos [7].



Figura 1 Roya en frambuesa [8]

El biocontrol se presenta como una alternativa en la agricultura orgánica. Aprovecha la facultad de algunos microorganismos para controlar otros, contribuyendo a la reducción del uso agroquímicos y generación de residuos que dañan el ambiente, mejoran la salud del suelo, pueden usarse de manera muy específica y en diversidad de sistemas de producción. [9]

Entre estos microorganismos se encuentra el *Trichoderma harzianum*. Un hongo antagonista de muchos hongos

patógenos, mediante su mecanismo de acción como competencia por el espacio y nutrientes en el sustrato, micoparasitismo, antibiosis, secreción de enzimas y la producción de compuestos inhibidores. También, se conoce su capacidad de crear un ambiente favorable para el desarrollo radicular aumentando la tolerancia al estrés, la activación en mecanismos de defensa y de inducción de resistencia de la planta. [10]. Además, actúa como promotor de crecimiento vegetal mediante la liberación de nutrientes en formas disponibles para la planta y produce hormonas reguladoras de crecimiento [11].

El T, *harzianum* (Rifai) están adaptados a diversas condiciones ambientales, desde localidades secas y templadas, y otras de templadas y frías, encontrándose en diferentes materiales y suelos. Este hongo, en su estadio temprano, el micelio presenta una coloración de color blanco y eventualmente desarrolla un color verde oscuro después de la esporulación (ver fig 2). Generalmente prefieren un pH de 4.5-5, además se desarrolla en áreas con un excesivo contenido de humedad y un estancamiento del bióxido de carbono en la atmósfera [12].

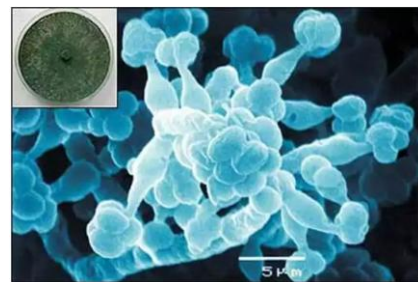


Figura 2 *Trichoderma harzianum* [13]

DESARROLLO DEL TEMA

A. Materiales y Métodos.

La empresa Alternatura Produce SPR de RL. es una empresa de sector privado y de actividad agrícola, del 2020 se especializa en la producción de frambuesa, aprovechando las condiciones agroclimáticas de Tuxpan Jalisco produce en 12.3 ha con certificación orgánica.



Figura 3. Cultivo de frambuesa

La plantación se realizó el 01 de julio 2024 (semana 27), con una densidad de 9,900 a 10,000 plantas por hectárea de la variedad k-weli de la empresa Dole. La separación entre planta fue de 40cm y la separación entre surco fue de 2.4 mts, siendo 60 cm la altura de la cama, a la cual se le colocó acolchado de ground cover de color negro con la finalidad de disminuir malezas y el gasto de agua.



Figura 4. Plantación de Frambuesa

La severidad de la roya se determina estimando el porcentaje o proporción de daño de tejido o área afectada por la enfermedad en las plantas u órganos evaluados, en este caso, en las hojas de la frambuesa (ver figura 4). El monitoreo se realizó durante 20 semanas, desde la plantación hasta la cosecha. Para el muestreo se inspeccionaron 20 plantas tomadas al azar, tomando 10 hojas de cada planta, dejando un túnel de por medio entre cada muestra tomada. La Proporción se basa en la cantidad de hojas infectadas y el total de hojas muestreadas. [14,15]. Se hizo uso del estereoscopio electrónico MotiC SMZ-161 para observación y captura de imágenes, las cuales fueron sometidas para la medición de áreas al programa de procesamiento digital ImagenJ (de dominio público programado en Java). Los datos obtenidos se sometieron a un diseño completamente aleatorizado (DCA)

Para su análisis los datos se sometieron a un análisis de varianza de un factor



Figura 5. Determinación de severidad de roya

Para la inoculación de *Trichoderma harzianum* en el cultivo, se utilizaron las cepas comerciales al 7%, de la empresa BPL, a concentración de 1×10^8 UFC/g. Las preparaciones fueron de 1Kg de producto en 1000 L por ha y las aplicaciones se realizaron cada 15 días mediante con el equipo de fumigación de la empresa, considerando como umbral de tratamiento el 10 % de infestación. (ver figura 5).



Figura 6. Aplicación de Trichoderma

II. RESULTADOS

Con base al monitoreo se pudo determinar la presencia de la roya en la frambuesa (ver Figura 6). Los síntomas de la enfermedad aparecieron en el envés de las hojas inferiores, en el haz se observaron puntos con halo amarillo que se tornaron necróticos; posteriormente se observó en los cálices de las flores y los frutos, los cuales no desarrollaron, mermando la calidad, tal como fue reportado por [5] y [7].

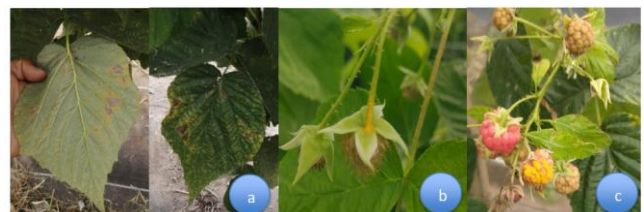


Figura 7. Roya en: (a)Hojas, (b)Pedúnculo, (c) fruto

La mayoría de los hongos patógenos no pueden sobrevivir de un período extendido, por lo que tienen 2 huéspedes: el primario y el alternativo. El huésped suele ser el cultivo es una planta herbácea nativa o residuo orgánico del lugar. Bajo

condiciones de humedad, los hongos patógenos producen esporas infecciosas conocidas como uredósporas, capaces de propagarse por viento o la lluvia, causando la infección masiva, infección que ocurre en periodo corto de tiempo (6-8 horas) y reproducir sus nuevas esporas infecciosas en un plazo de 7 a 10 días. La infección de la roya de la hoja ocurre durante el periodo lluvioso a una temperatura que oscila los 15-25°C [16]. Reportes de condiciones para propiciar el crecimiento de la roya *Hemileia vastatrix* en cafetos es a Temperaturas de 21-25°C y humedades del 80 % [17]

El hongo *T. harzianum* en la naturaleza lo podemos encontrar en la corteza vegetal, madera en descomposición y el mantillo de los bosques, identificándose por el color verde esmeralda. [18].



Figura 8. *Trichoderma harzianum*

El desarrollo de *Trichoderma* está afectado por diversos factores de tipo físico y nutricionales: es un microorganismo mesófilo, cuya temperatura óptima de crecimiento es de 25-30 °C, pero puede desarrollarse en un rango de los 10-40°C; Crecer a un pH entre 2 y 9, y de forma óptima entre 4 y 7; Posee la capacidad de adaptarse a humedades entre el 20-90 % pero crece óptimamente entre 70-80%. En fotosensible, teniendo una mayor esporulación al ser expuesto a la luz, alternando con oscuridad. [19]

En la gráfica 1 se muestra el valor promedio porcentual de daño de la roya (*Pucciniastrum americanum* Farl.) en el cultivo de frambuesa roja (*Rubus idaeus*) orgánica como efecto del control por presencia del hongo *Trichoderma harzianum*. Aplicado cuando el umbral de tratamiento de la roya alcanza el 10% de infestación en las hojas. Dicho control se mostró efectivo al mantener por al menos 15 semanas en $\pm$ 3% el valor del umbral de infestación, permitiendo la producción de la frutilla en condiciones óptimas de calidad. Se debe resaltar la importancia que tiene la tiene la incidencia de la enfermedad en frutos, más que la severidad en las hojas, ya que la presencia de pústulas en frutos impacta directamente en su comercialización, al haber una disminución del precio o incluso el rechazo total del producto [20].

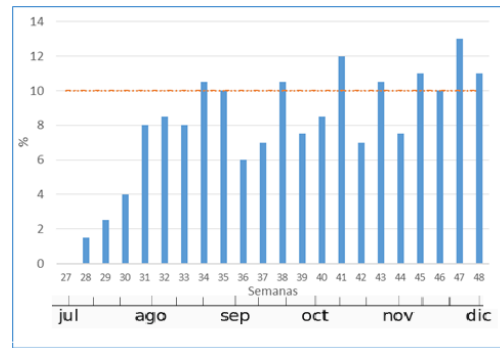


Figura 8. Porcentaje de Severidad de Roya

El crecimiento de la roya, si las condiciones son favorables, pueden incrementarse sustancialmente. La mayor parte del municipio de Tuxpan (59%) tiene clima semicálido semihúmedo. La temperatura media anual es de 22.2°C, mientras que sus máximas y mínimas promedio oscilan entre 32.8°C y 11.9°C.

Durante el desarrollo del cultivo, se tuvieron las condiciones de temperatura y humedad relativas propicias para el desarrollo de la enfermedad y del antagonista. (ver figura 9). Con una temperatura promedio a los 22°C, pero con puntos más altos cercanos a los 30°C y una humedad relativa que oscilo al 80%.

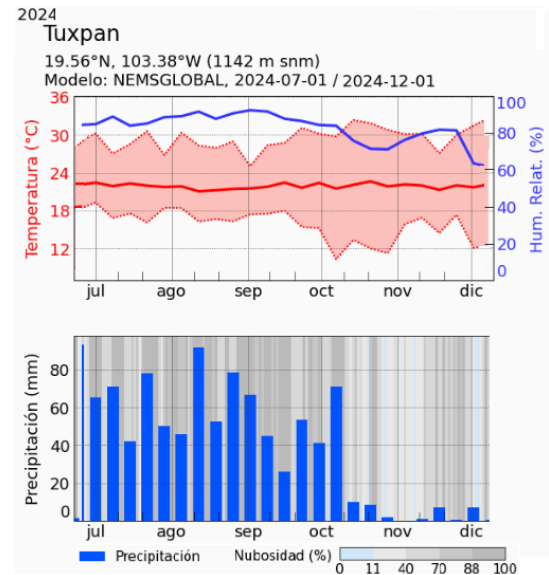


Figura 9. Condiciones climáticas de Tuxpan, Jal. [21]

Es necesario eliminar las plantas afectadas, evitar la acumulación de residuos al pie de las plantas,, desinfectar herramientas que estén en contacto con las plantas y condicionar la entrada de personal a las áreas donde se manifieste la presencia de la roya, para evitar la propagación del hongo.

Rebollar y cols. [5] muestran que la severidad causada por la roya puede alcanzar más del 50% en 60 días; en campo, los primeros síntomas de la enfermedad aparecieron en las hojas más bajas, después en peciolos, cálices y fruto.

Comportamiento similar mostrado en nuestro testigo, infestando más del 50% de la hoja (ver figura 10).

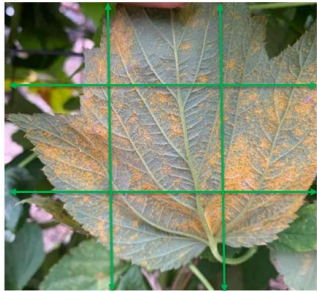


Figura 10. Infestación del 50% en testigo en hojas

Se observa que existen diferencias estadísticamente significativas con el tratamiento evaluado ($p < 0.05$), por el uso del *T. harzarium*, el cual logra contener el desarrollo de la enfermedad de la roya causada por el *P. americanum*, sobre el testigo, sin tratamiento, pudo colonizar toda la hoja una vez que terminó el ciclo productivo (ver figura 11).



Figura 11. Infestación del 100% en testigo en hojas

III. CONCLUSIONES

La roya ocasionada por el hongo *Pucciniastrum americanum* Farl. presentó un repunte en su desarrollo debido a que las condiciones climáticas de temperatura oscilando en promedio a los 22°C y las precipitaciones que mantuvieron una humedad relativa del 80% en el ambiente, la cual se cuantificó hasta el 50% del grado de severidad en los testigos sin tratamiento de las hojas del cultivo de frambuesa roja (*Rubus idaeus*); mediante el muestreo se observaron los primeros síntomas en el envés de las hojas inferiores, posteriormente los cálices de las flores y los frutos. También se registró un control de la misma, por la actividad antagonista de *Trichoderma harzianum*., ocasionando que el crecimiento del hongo de la roya no excediera el 14% de infestación, aun cuando el umbral de tratamiento se consideró con una presencia del 10%. Mostrándose como un sistema de control apropiado para esta enfermedad en el desarrollo del cultivo de frambuesa roja (*Rubus idaeus*) orgánica. Ya que no deja residuos o sustancias tóxicas en la fruta como si lo hacen los agroquímicos.

IV. TRABAJO A FUTURO

Se tiene contemplado continuar con el monitoreo para observar el desarrollo del *Trichoderma harzianum*.T. y sus efectos en la simbiosis con la planta en el presente ciclo agrícola. Así como los efectos de la temperatura y %HR en el desarrollo de los microorganismos implicados.

Agradecimientos

Agradecemos la cooperación y apoyo brindado por el Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez, Unidad Académica Tamazula de Gordiano Jalisco, México y a la empresa Alternatura Produce SPR de RL. para el desarrollo de la presente investigación.

REFERENCIAS

- [1] SADER (2024). México se posiciona como país altamente productor y exportador de berries Recuperado marzo 08, 2025 de <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/mexico-se-posiciona-como-pais-altamente-productor-y-exportador-de-berries?idiom=es>
- [2] ProducePay. (2022). Producción y exportación de frambuesa en México. Recuperado marzo 08, 2025 de <https://producepay.com/es/el-blog/produccion-y-exportacion-de-frambuesa-en-mexico/>
- [3] FAO (s/f). ¿Qué es la agricultura orgánica? Recuperado marzo 08, 2025 de <https://www.fao.org/4/ad818s/ad818s03.htm#TopOfPage>
- [4] Morales A., C., González U., J. y Ramírez C., F. (2020). Arándanos y frambuesas en la región del Maule: caracterización sectorial y análisis varietal. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Capítulo 5, Variedades de frambueso. Centro Regional de Investigación INIA Raihuén. Boletín INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Vol. N° 431. Chile. Consultado el 19 de marzo de 2025. <https://hdl.handle.net/20.500.14001/67191>
- [5] Rebollar-Alviter, A.; Leyva-Mir, S.; Mora-Aguilera, G.; Valdovinos-Ponce, G. y Romero-Cova, S. (2001). Identificación y Biología del Agente Causal de la Roya de la Frambuesa Roja (*Rubus idaeus* L.) en México. Revista Mexicana de Fitopatología. 19. 168-174.
- [6] Probelte (2023). Cómo la roya amenaza la salud de las frambuesas: la sombra naranja en los campos. Agronova Biotech, España. Recuperado marzo 08, 2025 de <https://probelte.com/es/noticias/como-la-roya-amenaza-la-salud-de-las-frambuesas-la-sombra-naranja-en-los-campos/>
- [7] Ellis, M. A. y Erincik, O. (2008). Roya tardía de las hojas de las frambuesas rojas. Departamento de Fitopatología, College of Food, Agricultural, and Environmental Sciences, Ohio State University. Recuperado marzo 08, 2025 de <https://ohioline.osu.edu/factsheet/plpath-fru-17>
- [8] France, Andres (2009). Capítulo 4. Enfermedades. Aspectos relevantes en la producción de frambuesa, (*Rubus idaeus*). Villa Alegre, Chile: Boletín INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias. no. 192. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14001/7305>
- [9] IBMA (2024) Microorganismos en el Biocontrol: Cómo Estos Agentes Microscópicos Transforman la Protección de Cultivos <https://ibmaspain.es/microorganismos-en-el-biocontrol-como-estos-agentes-microscopicos-transforman-la-proteccion-de-cultivos/>
- [10] Infante, D., Martínez, B., González, N., & Reyes, Y. (2009). Mecanismos de acción de *Trichoderma* frente a hongos fitopatógenos. Revista de protección vegetal, 24(1), 14–21. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1010-27522009000100002

- [11] BPL bioproductoslaguneros (s/f) Ficha Técnica. *Trichoderma harzianum*. Recuperado marzo 08, 2025 de <https://www.bioproductoslaguneros.com/trichospore>
- [12] Romero-Arenas, O., Lara, M. H., Huato, M. Á. D., Hernández, F. D., & Victoria, D. (2009). Características de *Trichoderma harzianum*, como agente limitante en el cultivo de hongos comestibles. *Revista colombiana de biotecnología*, 11(2), 143–151. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-34752009000200015
- [13] Imágenes Recuperado marzo 13, 2025 de Fuente: <http://www.themushroompeople.com/>
- [14] López, J.M.; Marín, G.A; Álvaro, G.B y Angel, C.A. (2018). Diagrama de Área Estándar para la estimación visual de severidad de roya del cafeto. Cenicafe). <https://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/4244/1/avt0498.pdf>
- [15] Nutter, W.J., Esker, P.D. y Coelho, R.A. 2006. Conceptos de evaluación de enfermedades y avances en la mejora de la precisión y exactitud de los datos sobre enfermedades de las plantas. *European Journal of Plant Pathology* 115:95-103. <https://doi.org/10.1007/s10658-005-1230-z>
- [16] Llano, Sylvia. (2023). La Roya, causas, síntomas y tratamiento. Ecoyaab Paisajismo. <https://www.ecoyaab.com/post/la-roya-causas-s%C3%ADntomas-y-tratamiento?srltid=AfmBOorAYIurN5rL5Q9EFDaNWH9mL2eJAVPy8YKILJ4Aqd6g0He6azK>
- [17] Moreira-Morrillo, A.A.; Vélez-Zambrano, J.P.; Moreira, Silvano I., & Garcés-Fiallos, F.R.. (2023). Enfermedades que afectan el cultivo de café: Elucidando el ciclo de vida de Roya, Mal de Hilachas y Cercosporiosis. *Scientia Agropecuaria*, 14(3), 395-412. Epub 18 de septiembre de 2023 <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2023.035>
- [18] Vallejo-Ilijama, M.T. y Zurita-Vásquez, J.H. (2014) Caracterización y clasificación de *Trichodermas* nativos aplicando diferentes medios de cultivo a nivel de laboratorio artesanal. Tesis de Maestría, facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad Técnica de AMBATO. Ecuador. <https://repositorio.uta.edu.ec/server/api/core/bitstreams/8d15bd30-83ba-45a7-b4de-25e26b40e234/content>
- [19] Vasquez Cardenas, J. A. (2010). Caracterización microbiológica y producción de *Trichoderma harzianum* y *Trichoderma viride* en cultivo artesanal. Tesis de Licenciatura Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá Colombia. <https://repositorio.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/8662/tesis615.pdf>
- [20] Rebollar-Alviter, A.; Mora-Aguilera, G. y Leyva -Mir, S. G. (2023) Progreso Temporal y Control de la Roya [*Pucciniastrum americanum* (Farl.) Arth.] de la Frambuesa Roja (*Rubus idaeus* L.) en Valle de Bravo, México *Revista Mexicana de Fitopatología*, vol. 21, núm. 3, diciembre, 2003, pp. 278-284 Sociedad Mexicana de Fitopatología, A.C. Texcoco, México Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61221306>
- [21] Meteoblue, A Windy.com Company. Datos meteorológicos históricos. Recuperado marzo 20, 2025 de <https://www.meteoblue.com/es/tiempo/pronostico/semana>

Biografía Autores

Angelica Janeth Horta Aguilar. Docente del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez –Unidad académica Tamazula, Jalisco, C.P 49650 email: Angelica.horta@tamazula.tecmm.edu.mx, Ing. en Innovación Agrícola Sustentable. Docente del departamento de Ingeniería en Innovación Agrícola Sustentable.

Aldo Alcalá Cibrián. Docente del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez –Unidad académica Tamazula, Jalisco, C.P 49650 email: aldo.alcala@tamazula.tecmm.edu.mx, Maestro en Ciencias en Alimentos. Docente del departamento de Ingeniería en Innovación Agrícola Sustentable.

Victor Manuel Langerica Rivera. Docente del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez –Unidad académica Tamazula, Jalisco, C.P 49650 email: victor.langerica@tamazula.tecmm.edu.mx, Maestro en Ciencias en Alimentos. Docente del departamento de Ingeniería en Innovación Agrícola Sustentable.