



Enfermedades fungosas asociadas al cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) y alternativas de control químico *in vitro* y en condiciones hidropónicas

Fungal diseases associated with the cultivation of lettuce (*Lactuca sativa* L.) and alternatives of *in vitro* chemical control under and hydroponic conditions

René Aguilar-Ancota^{1*}; Andry C. Guillen-Juárez¹; Edgar Maldonado-Duque¹; Robert Rafael-Rutte²;
José A. Silupú-Masías¹; Yuri H. Calle-Cheje³; Arturo Morales-Pizarro¹

1 Universidad Nacional de Piura, Campus Universitario s/n. Urb. Miraflores. Piura, Perú.

2 Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur. Sector 3 Grupo 1A 03 (Av. Central y Av. Bolívar) Villa El Salvador C.P. 15834, Lima. Perú.

3 Universidad Católica Sedes Sapientiae, Campus km 159, Panamericana Norte, Mazo Huaura. Lima, Perú.

* Autor correspondiente: raguilara@unp.edu.pe (R. Aguilar-Ancota).

ORCID de los autores:

R. Aguilar-Ancota: <https://orcid.org/0000-0002-3965-6096>

E. Maldonado-Duque: <https://orcid.org/0000-0003-0030-3960>

J. A. Silupú-Masías: <https://orcid.org/0009-0001-0477-5933>

A. Morales-Pizarro: <https://orcid.org/0000-0003-3966-6689>

A. C. Guillen-Juárez: <https://orcid.org/0009-0009-4003-8875>

R. Rafael-Rutte: <https://orcid.org/0000-0003-2411-0223>

Y. H. Calle-Cheje: <https://orcid.org/0000-0001-5802-1101>

RESUMEN

La lechuga (*Lactuca sativa* L.) es una de las hortalizas de hoja más importantes cultivada ampliamente en todo el mundo, en condiciones hidropónicas presenta enfermedades que generan pérdidas económicas y una fluctuación negativa en su comercialización. Con el objetivo de identificar los agentes causales, describir su sintomatología e implementar propuestas de control químico; se recolectaron muestras de plantas enfermas y se obtuvieron aislados en placas de Petri con medio de cultivo papa dextrosa agar; desarrollado el hongo se hicieron repiques para obtener el cultivo puro. Con los hongos aislados se hicieron pruebas de patogenicidad. *In vitro* se probaron 7 tratamientos y 1 testigo mediante la técnica del medio envenenado. *In vivo* se realizaron ensayos tanto en sustrato estéril y no estéril, a los 5 días después de la siembra, 10 y 20 días después del trasplante se aplicaron 7 tratamientos y 1 testigo, evaluándose el peso fresco de lechuga cosechada. Se identificó a los hongos *Alternaria solani* causando mancha foliar, *Rhizoctonia solani* causando pudrición del cuello, *Fusarium* spp. causando marchitez, y *Pythium* sp. causando pudrición de la raíz. *In vitro*, los tratamientos T7 "Parachupadera" (flutolanil+captan) y T8 "Aliette" (fosetyl aluminio) inhibieron al 100 % el crecimiento de los hongos *Alternaria solani*, *Rhizoctonia solani* y *Fusarium* spp. *In vivo* en el ensayo con sustrato no estéril "Lichthor" (Extracto de *Saccharum officinarum*) obtuvo el primer lugar con 174 gramos de peso fresco, en el ensayo con sustrato estéril "Parachupadera" obtuvo el primer lugar con 122,8 gramos.

Palabras clave: Lechuga; hidroponía; patogenicidad; *Alternaria solani*; *Rhizoctonia*; *Fusarium*; *in vitro*.

ABSTRACT

Lettuce (*Lactuca sativa* L.) is one of the most important leafy vegetables widely cultivated throughout the world, under hydroponic conditions it presents diseases that generate economic losses and a negative fluctuation in its commercialization. In order to identify the causal agents, describe their symptomatology and implement proposals for chemical control; samples of diseased plants were collected, and isolates were obtained in Petri dishes with potato dextrose agar culture medium; once the fungus was developed, pricks were made to obtain the pure culture. Pathogenicity tests were performed with the isolated fungi. *In vitro* 7 treatments and 1 control were tested using the poisoned medium technique. *In vivo* tests were carried out both in sterile and non-sterile substrate, at 5 days after sowing, 10 and 20 days after transplantation, 7 treatments and 1 control were applied, evaluating the fresh weight of harvested lettuce. The fungi *Alternaria solani* causing leaf spot, *Rhizoctonia solani* causing collar rot, *Fusarium* spp. causing wilt, and *Pythium* sp. causing root rot were identified. *In vitro*, the treatments T7 "Parachupadera" (flutolanil+captan) and T8 "Aliette" (fosetyl aluminum) inhibited 100% the growth of the fungi *Alternaria solani*, *Rhizoctonia solani* and *Fusarium* spp. *In vivo*, in the test with non-sterile substrate "Lichthor" (*Saccharum officinarum* extract) obtained first place with 174 grams of fresh weight, in the test with sterile substrate "Parachupadera" obtained first place with 122,8 grams.

Keywords: Lettuce; hydroponics; pathogenicity; *Alternaria solani*; *Rhizoctonia*; *Fusarium*; *in vitro*.

Recibido: 07-10-2024.

Aceptado: 11-12-2024.



Esta obra está publicada bajo la licencia [CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

INTRODUCCIÓN

La lechuga (*Lactuca sativa* L.) es una planta anual, herbácea perteneciente a la familia Asteraceae y es el único miembro del género *Lactuca*. Es una de las hortalizas de hoja más importantes cultivada ampliamente en todo el mundo (Jeong et al., 2015; Sapkota et al., 2019; Shatilov et al., 2019; Yazdi et al., 2019; Shi et al., 2022), llegando a alcanzar una producción de 27 millones de toneladas el 2021 (FAO, 2021).

Es la hortaliza más consumida en fresco a nivel mundial, por su gran producción y valor económico, y también, por ser un alimento nutrafuncional y fuente importante de un alto contenido de agua (95%), vitaminas (B9, C y E), β -caroteno, luteínas, antioxidantes dietéticos, potasio, folato, minerales, fitoquímicos como los flavonoides que son beneficiosos para la salud humana (Kim et al., 2016; Wardhana et al., 2016; Ahmed et al., 2019; Shatilov et al., 2019; Camejo et al., 2020; Medina-Lozano et al., 2021; Shams et al., 2019; Shi et al., 2022; Sularz et al., 2020; Teng et al., 2021; Yang et al., 2022). Contiene metabolitos implicados en los efectos protectores contra una serie de enfermedades crónicas, incluidos el cáncer, la diabetes y las enfermedades cardiovasculares (Ismail et al., 2019). También podría ayudar a la generación de glóbulos blancos y rojos en la estructura de la médula ósea y mejorar el sistema digestivo (Wardhana et al., 2016). Además, a pesar de su bajo contenido en lípidos, la lechuga contiene ácidos grasos poliinsaturados, como los ácidos linoleico y linolénico, que debemos obtener de la dieta (Kim et al., 2016). Las lechugas son ricas en carbohidratos de baja digestibilidad como la fibra, el almidón resistente y los alcoholes de azúcar, que no se absorben en el intestino delgado, pero que son necesarios para el adecuado funcionamiento gastrointestinal (Grabitske & Slavin, 2009). Las partes más utilizadas son las hojas, seguida de los tallos y las semillas (Diaz, 2021).

La lechuga es un cultivo de crecimiento relativamente rápido, con ciclo de crecimiento corto, con alta densidad de siembra, baja demanda de energía (Bantis et al., 2018; Zhang et al., 2018), raíces poco profundas y con altos requerimientos de agua, que lo hacen ideal para la producción hidropónica en sistemas controlados (Boros et al., 2023; Bre's et al., 2022). Constituyéndose, así como una de las hortalizas hidropónicas más cultivadas, con un alto

rendimiento y buena calidad (Kaiser & Ernst, 2012; Qadeer et al., 2020).

Recientemente, los invernaderos han comenzado a expandir sus técnicas de cultivo para incluir tecnologías de cultivo sin suelo como hidroponía y aeroponía (Koukounaras, 2021; Singh et al., 2020). El sistema hidropónico es una solución útil para superar los problemas causados por los cambios climáticos y las condiciones de sequía (Jois 2021). En los últimos años el sistema hidropónico se ha utilizado como un sistema de cultivo de lechuga debido a los beneficios que aporta, incluida la eliminación de riesgos de enfermedades transmitidas por el suelo, el uso eficiente de los recursos naturales. En este sistema, los sustratos hidropónicos se utilizan como sustituto de la tierra. Los sustratos comúnmente utilizados incluyen perlita, vermiculita y turba (Kumar y Saini 2020). Tradicionalmente, se han usado estos sustratos para dar soporte a las raíces y mejorar su crecimiento (El-Kazzaz & El-Kazzaz 2017). Las principales diferencias entre el cultivo convencional en suelo y los sistemas de cultivo hidropónico son la disponibilidad de agua y suministro de nutrientes (De Souza et al., 2019). La combinación de todos estos factores determinará tanto la cantidad como la calidad del producto fresco (Kameoka & Hashimoto, 2019). Estas diferencias influyen en el desarrollo fisiológico y la bioquímica de las plantas (De Souza et al., 2019).

En Piura, en el caserío Mocará de Catacaos, se cultiva lechuga en condiciones hidropónicas que abastecen a los supermercados de la región, la zona tiene un clima prometedor para satisfacer la demanda en las circunstancias actuales de crisis alimentaria. Sin embargo, su cultivo viene siendo afectado por diferentes enfermedades fungosas, como la pudrición de raíces, pudrición del cuello y manchas foliares que ocasionan muerte de plántulas y que generan pérdidas económicas significativas al productor y una fluctuación negativa en su comercialización. Por lo tanto, se requiere una comprensión profunda sobre la caracterización de los agentes causales para clasificarlos y desarrollar adecuadas prácticas de manejo de las enfermedades. El objetivo del presente trabajo fue identificar el agente causal, describir la sintomatología e implementar alternativas de manejo.

METODOLOGÍA

Aislamiento y caracterización de hongos fitopatógenos

Se colectaron muestras de plantas de lechuga con síntomas típicos de pudrición. Los tejidos enfermos fueron lavados con abundante agua, luego, con agua destilada estéril, se desinfectaron con una solución de hipoclorito de sodio al 1% durante 2 minutos y se enjuagaron dos veces con agua destilada estéril (French & Hebert, 1980). Estas muestras fueron cortadas en pequeñas secciones de 0,5 a 1,0 cm de longitud, seleccionando áreas correspondientes a los márgenes de avance del síntoma necrótico, para ser sembrados en placas de Petri que contenían medio de cultivo papa dextrosa

agar (PDA). Las placas fueron selladas y puestas en cajas de tecknoport a temperatura ambiente hasta obtener el crecimiento del hongo (French & Hebert, 1980).

Los aislamientos obtenidos fueron purificados en tubos de prueba que contenían medio papa dextrosa agar (PDA) y almacenados a 5°C con la finalidad de mantener la viabilidad y patogenicidad de los hongos aislados (French & Hebert, 1980). A partir de los cultivos puros, se prepararon montajes en lámina para observar a través del microscopio compuesto con aumento de 40X (Carl Zeiss Mod. KF 2, Oberkochen, Germany) las características morfológicas de las estructuras

asexuales de los aislamientos fúngicos para su caracterización morfológica e identificación usando las claves propuestas por Barnett & Hunter (1998), Sneb et al. (1991). El aislamiento y caracterización del agente causal se realizaron en el Laboratorio de Fitopatología del Departamento de Sanidad Vegetal de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de Piura. Las muestras fueron colectadas de un cultivo hidropónico de lechuga ubicado en el caserío de Mocará del distrito de Catacaos, departamento de Piura, cuya ubicación geográfica se encuentra entre las coordenadas 5°18'05"S y 80°42' 18"W, 22m

Descripción sintomatológica

Se hizo la descripción sintomatológica de cada una de las enfermedades fungosas observadas en el cultivo de lechuga bajo condiciones hidropónicas.

Prueba de patogenicidad

Se utilizó plántulas de lechuga con 4 hojas que fueron trasplantadas en bandejas de plástico que contenían solución nutritiva. La inoculación de los patógenos aislados (discos de 1,0 mm de diámetro de medio de cultivo papa dextrosa agar con crecimiento activo de micelio) se realizó en la raíz, corona y hojas. Posteriormente, a fin de crear condiciones adecuadas de humedad para el desarrollo de la enfermedad y reproducción de los síntomas (French & Hebert, 1980), las plántulas inoculadas fueron cubiertas con bolsas de plástico. Después de la aparición de los síntomas, se aisló nuevamente el agente causal para cumplir con los postulados de Koch (Khakimov et al., 2022).

Prueba *in vitro* de fungicidas químicos

La eficacia de control de los productos químicos se determinó mediante el método del cultivo envenenado, que consistió en inocular trozos de 0.6 cm diámetro de medio de cultivo papa dextrosa agar con crecimiento activo del patógeno de 7 días de edad en el centro de las placas de Petri conteniendo medio papa dextrosa agar con fungicidas según las dosis que se indican en la Tabla 1.

El tratamiento control únicamente contenía medio papa dextrosa agar. Las placas inoculadas fueron puestas en cajas de tecknoport a temperatura ambiente durante el tiempo que duró la evaluación. La evaluación se realizó cada 24 horas midiendo el diámetro de crecimiento de la colonia y terminó

cuando el hongo cubrió toda la placa de 9 cm de diámetro. La eficacia de control se determinó calculando el porcentaje de inhibición del crecimiento de la colonia del patógeno mediante la fórmula propuesta por Abbott (1925).

$$(\%) \text{ de inhibición} = \left(\frac{a - b}{a} \right) 100\%$$

Donde a: Crecimiento radial del micelio del tratamiento testigo; b: Crecimiento radial del micelio en cada tratamiento.

Tabla 1

Fungicidas evaluados *in vitro* contra hongos fitopatógenos del cultivo de lechuga

Trat.	Nombre comercial	Ingrediente activo	Concentración (%)
1	Testigo	-	0,00
2	Genuino	Sulfato de Cu pentahidratado	0,25
3	Lichthor	Extracto de Saccharum officinarum	0,50
4	Action	Fosfito de Potasio (Cu) hidrosoluble,	0,35
5	Scudo	(N) orgánico, (C) orgánico, M.O	0,10
6	Fertil Copper	Sulfato de cobre pentahidratado	0,10
7	Para-Chupadera	Flutolanil y Captan	0,20
8	Aliette	Fosetyl Aluminio	0,25

Prueba de fungicidas químicos en condiciones hidropónicas

Se utilizaron los productos comerciales empleados en la prueba *in vitro*. Los productos según la dosis recomendada se vertieron en 200 ml de agua y luego, fueron mezclados y homogenizados para su aplicación. Se realizaron ensayos en sustrato (humus de lombriz) estéril y no estéril, en la que se sembraron semillas de lechuga variedad Bohemia. Los tratamientos T3, T5, T7 y T8 contenían un solo producto y fueron aplicado a los cinco días después de la siembra y a los 10 y 20 días después del trasplante. Los tratamientos T2, T4 y T6 contenían dos productos, uno aplicado a los 5 días después de la siembra y el otro a los 10 y 20 días después del trasplante (Tabla 2). El tratamiento control en ambos ensayos no recibió productos (Figura 1)

Tabla 2

Fungicidas evaluados en condiciones hidropónicas contra hongos fitopatógenos del cultivo de lechuga en sustrato estéril y no estéril

Trat.	Almácigo		Trasplante	
	Producto comercial	Concentración (%) 5 dds	Producto comercial	Concentración (%) 10 y 20 ddt
1	Testigo	Agua estéril	Testigo	Agua estéril
2	Genuino	0,25	Action	0,35
3	Lichthor	0,5	Lichthor	0,5*
4	Action	0,35	Lichthor	0,5
5	Scudo	0,1	Scudo	0,1*
6	Fertil Copper	0,1	Action	0,35
7	Para-chupadera	0,2	Para-chupadera	0,2*
8	Aliette	0,25	Aliette	0,25*

*Aplicación de un solo producto. dds: días después de la siembra, ddt: días después del trasplante.

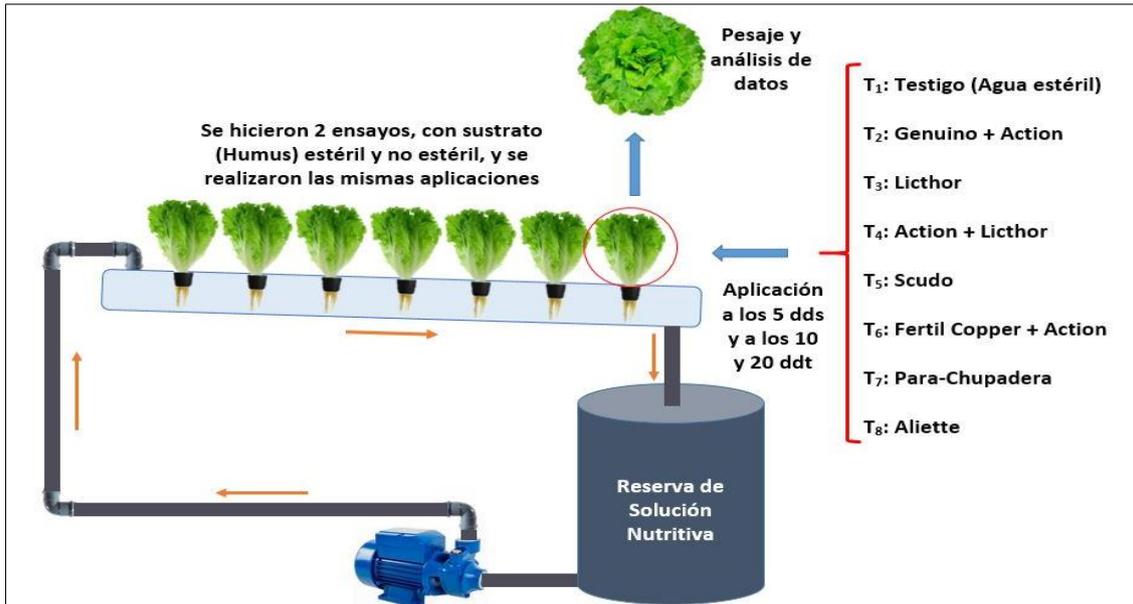


Figura 1. Esquema de la prueba de fungicidas químicos en condiciones hidropónicas.

Análisis estadístico

En la prueba in vitro se estableció siete tratamientos, un testigo, con cuatro repeticiones; en condiciones hidropónicas se utilizó ocho tratamientos incluido el testigo y diez repeticiones. Antes de realizar el análisis de varianza (ANOVA) mediante el diseño completamente al azar (DCA),

los datos se sometieron a la prueba de distribución normal de Shapiro Wilk. Los datos fueron analizados mediante el software de análisis estadístico Statistical Analysis Systems 5,0 (SAS) y para determinar la diferencia de medias se utilizó la prueba post hoc de Duncan con el mismo software con un p valor de $\alpha \leq 0,05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Aislamiento, caracterización y descripción sintomatológica

Alternaria solani

Características culturales y morfológicas. Se observó micelio de color beige oscuro (Figura 2), con conidióforos cortos, simples y erectos que dan origen a cadenas simples o ramificadas de conidios. Los conidios fueron alargados, oscuros en forma de pera. Los conidios fueron septados transversales y longitudinales, con células multinucleadas de color oscuro, los que concuerdan con Simmons (2007) para *Alternaria* sp. y Rotem (1994) para *Alternaria solani*.

Sintomatología. Se caracteriza por afectar al follaje, que se intensifica con la humedad y altas temperaturas, en las hojas se forman manchas necróticas, con anillos concéntricos, las lesiones van aumentando a medida que va envejeciendo la planta, las manchas necróticas estaban rodeadas de un halo amarillo. En los bordes de las hojas del tercio inferior, se observó manchas necróticas de coloración marrón oscura de forma regular e irregular (Figura 3). Estos resultados concuerdan con Sherf & MacNab (1986), quienes mencionaron que los primeros síntomas son pequeñas lesiones necróticas, oscuras que generalmente aparecen en las hojas de mayor edad y se extienden hacia arriba a medida que la planta envejece.

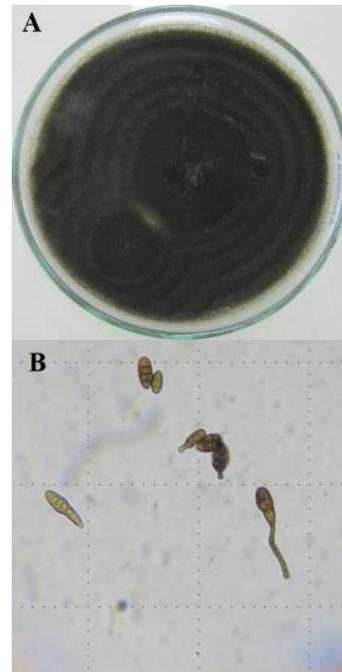


Figura 2. Hongo *Alternaria solani*. A) Colonia oscura en placas de Petri con medio papa dextrosa agar, B) conidios pigmentados sobre conidióforos de forma periforme y pluricelulares, con septas transversales, longitudinales y oblicuas.

Cuando las lesiones crecen, comúnmente muestran anillos concéntricos que están rodeados por una zona amarillenta. Sobre estas manchas se observó al microscopio esporulación de conidias de *Alternaria solani* (Figura 4).



Figura 3. Manchas necróticas marrón oscuras e irregulares en el borde de las hojas ocasionadas por *A. solani*.



Figura 4. Esporulación de conidias de *Alternaria solani* en los bordes del tercio inferior de las hojas de lechuga.

Rhizoctonia solani

Características culturales y morfológicas. Inicialmente en medio de cultivo papa dextrosa agar, se desarrolló colonias blancas, con micelio elevado algodonoso, poco frondoso, hialino a inicios del crecimiento y luego color cremoso. A los diez días, el micelio fue aéreo, superficial y de coloración marrón. En observaciones al microscopio compuesto, las hifas fueron septadas, con ramificaciones en ángulo recto (90°) y con una constricción en la base de la ramificación (Figura 5). El diámetro de las hifas midió de 6-8 μ y no se observó la formación de esclerotes. Estas características descritas corresponden a *R. solani* y concuerdan con lo descrito por Sneb et al., (1991) y Barnett & Hunter (1998).

Sintomatología, en los primeros estadios de la planta, en las hojas basales se observó flacidez y pérdida de turgencia. Se observaron síntomas de decaimiento avanzado, marchitez general y muerte de la planta. Externamente las plantas presentaron lesiones ligeramente hundidas e internamente a la altura del cuello decoloración marrón clara.

En el cuello de las plantas con síntomas más avanzados se presentó pudrición de color marrón oscuro (Figura 6) que abarcó todo el diámetro del tallo, originando colapso y muerte de la planta. Esta sintomatología descrita concuerda con Anderson (1982) para *Rhizoctonia solani*, que es un patógeno necrotrófico transmitido por el suelo. Es uno de los

patógenos más importantes que afectan la producción de lechuga en la mayoría de los países donde se cultiva, es mejor conocido por la pudrición del fondo o cuello de la lechuga (Grosch et al., 2011; Gullino et al., 2019).

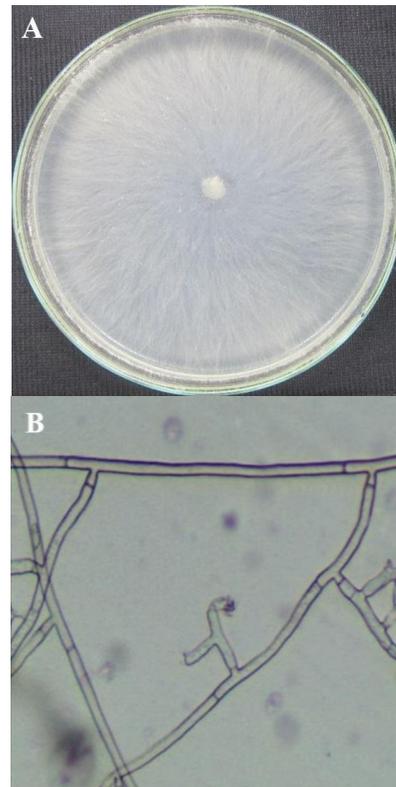


Figura 5. Hongo *Rhizoctonia solani*. A) Colonia blanca cremosa en placas de Petri con medio papa dextrosa agar, B) hifas septadas, con ramificaciones en ángulo recto (90°) y con una constricción en la base de la ramificación.



Figura 6. Pudrición del cuello (*Rhizoctonia solani*) en lechuga.

Fusarium sp.

Características culturales y morfológicas. Inicialmente en medio de cultivo papa dextrosa agar desarrolló micelio algodonoso de color blanco, luego, cambió a ligeramente amarillo cremoso (Figura 7). Al microscopio se observó fiálides en forma de botella simples y ramificadas, macroconidias hialinas, septadas, fusoides en media luna en agrupaciones mucoides y microconidias con una a dos células ligeramente curvadas, de oblonga a ovoide, formando

agrupaciones mucoides. En plantas de lechuga senescentes se observó clamidosporas terminales e intercalares, solitarias y en pares. Las características observadas corresponden a *Fusarium* sp., el cual coincide con las claves de Barnett & Hunter (1998) y Booth (1971).

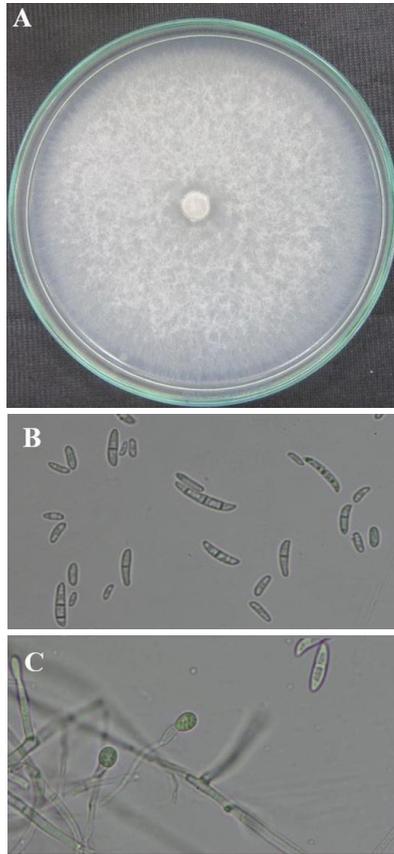


Figura 7. Hongo *Fusarium* sp. A) Colonia algodonoso blanquecino, B) macroconidias son de forma falcada con 3 a 4 septas y microconidias son uni y bicelulares, C) clamidosporas solitarias y terminales.

Sintomatología. Se observó marchitez (Figura 8) y muerte de plántulas, pudrición de la semilla o muerte antes de la emergencia, en la base del talluelo desarrolló necrosis húmeda y arrugada. La producción de estos síntomas, según los estudios de Matheron (2008) y Scott et al. (2012), se da cuando *Fusarium* spp. penetran a la planta mediante heridas provocadas por la emisión de las raíces secundarias llegando hasta el xilema y obstruyendo el transporte de agua y nutrientes, ocasionando la marchitez, manifestándose poco desarrollo de las hojas sobre todo basales. Al realizar el corte transversal del tallo, se observó áreas necróticas en el sistema vascular de la raíz, lo que coincide con lo indicado por Matheron (2008) y Scott et al. (2012). Fusariosis es una enfermedad importante del cultivo de lechuga en todo el mundo. Causa pérdidas de rendimiento que van desde el 20% al 70% dependiendo de la susceptibilidad del cultivar, prácticas de manejo y condiciones ambientales prevalecientes (Pasquali et al., 2007).



Figura 8. Marchitez por *Fusarium* sp.

***Pythium* sp.**

Las características culturales y morfológicas revelaron que las colonias no tuvieron patrón de crecimiento definido, presentaron hifas conocíticas, hialinas, ramificadas, apresorios simples y curvos. Los zoosporangios fueron redondos, no inflados, zoosporas enquistadas, oogonios esféricos, lisos, terminales o intercalares. Se observaron anteridios con ramas anteridiales monoclinales y diclinalas, 1-3 por oogonio, generalmente cortas o sésiles, con células anteridiales tubulares, apicales acopladas y oosporas esféricas y lisas.

Sintomatología. Además del síntoma clásico de pudrición de la raíz (Figura 9), las plantas afectadas por *Pythium* presentaron marchitez, clorosis, oscurecimiento vascular, subdesarrollo y disminución de la producción (Owen-Going et al., 2003; Sutton et al., 2006, Zheng et al., 2000). Las lechugas hidropónicas afectadas por *Pythium* sp. también, fueron estudiadas por Corrêa & Bettiol (2009) y Utkhede et al. (2000). A pesar de las ventajas del cultivo hidropónico de la lechuga, este ambiente es favorable para el desarrollo de pudriciones radiculares, especialmente ocasionadas por *Pythium* spp. (Chaudhary et al., 2023). En estas condiciones se pueden presentar pérdidas de hasta el 70% en variedades de lechuga susceptibles ocasionadas por *Pythium* spp (Paugh & Gordon, 2021; Scott et al., 2012).



Figura 9. Pudrición radicular por *Pythium* sp.

Pruebas de patogenicidad

La prueba de patogenicidad de los patógenos aislados e inoculados en lechuga hidropónica reveló la aparición de síntomas típicos. Esta sintomatología correspondiente a cada fitopatógeno inoculado se puede apreciar en la Figura 10.



Figura 10. Plantas de lechuga inoculadas con (A) *Pythium* sp., (B) *Fusarium* sp. y (C) *Rhizoctonia solani*.

Las plantas que fueron inoculadas con el aislado de *Pythium* sp. (Figura 10A) presentaron pudrición de la raíz, marchitez, clorosis, oscurecimiento vascular, subdesarrollo y una disminución en la producción. Estos signos coinciden con los reportes de Owen Going et al. (2003), Sutton et al. (2006), Zheng et al. (2000), Corrêa & Bettiol (2009) y Utkhede et al. (2000). Las plántulas inoculadas con el aislamiento de *Fusarium* sp. (Figura 10B) se observó marchitez de plántulas. En la base del tallo se desarrolló una necrosis húmeda y arrugada, además de áreas necróticas en el sistema vascular de la raíz. Estos síntomas concuerdan con las observaciones de Matheron (2008) y Scott et al. (2012). Por último, las que fueron inoculadas con *Rhizoctonia solani* (Figura 10C) presentaron en las hojas basales mostraron flacidez, pérdida de turgencia, marchitez general y subdesarrollo. También se observaron lesiones ligeramente hundidas. A nivel del cuello, hubo decoloración marrón clara que derivó en una pudrición marrón oscuro afectando todo el diámetro del tallo, causando finalmente la muerte. Esta sintomatología coincide con lo descrito por Anderson (1982), Grosch et al. (2011) y Gullino et al. (2019), quienes documentaron pudrición en el cuello de la lechuga.

Evaluación in vitro de los fungicidas

Los resultados muestran que los fungicidas evaluados tuvieron efecto inhibitorio contra *A. solani*, *R. solani* y *Fusarium* sp.

En las tablas 3, 4 y 5 y en las figuras 11, 12 y 13 se observa que los tratamientos T7: Parachupadera (0,2%) y T8: Aliette (0,25%) lograron el 100% de inhibición del crecimiento micelial de los hongos *Alternaria solani*, *Fusarium solani* y *Rhizoctonia solani*, superando significativamente ($p \leq 0,05$) al testigo y a los tratamientos Genuino (0,25%), Scudo (0,1%).

Estos resultados obtenidos con el fungicida Parachupadera, compuesto por Captan y Flutolanil, concuerdan con el estudio realizado por Aguilar,

(2020) quien usando Parachupadera como tratamiento, logró inhibir completamente el crecimiento micelial del hongo *Rhizoctonia solani* y afirmó que este efecto se atribuye a la presencia de dos ingredientes activos en su formulación, uno de acción curativa y otro sistémica, que afectan distintos procesos metabólicos del patógeno, ampliando su rango de acción tóxica. Los resultados también coinciden con lo obtenido por Khabbaz-Jolfaee et al (2023) quien reporta que el ingrediente Captan tuvo una eficacia aceptable en el control contra *Alternaria*.

Tabla 3

Promedio de los tratamientos en el control de *Alternaria solani* en condiciones hidropónicas

Tratamiento	Dosis (ml/100 ml de PDA)	Media	Inhibición (%)	Sig. ($p \leq 0,05$)
T3 (Lichthor)	0,50	0	100	a
T4 (Action)	0,35	0	100	a
T8 (Aliette)	0,25	0	100	a
T7 (Parachupader)	0,20	0	100	a
T2 (Genuino)	0,25	0,73	83,78	b
T5 (Scudo)	0,10	0,76	83,11	b
T6 (Fertil Copper)	0,10	1,07	76,22	c
T1 (Testigo)	0,00	4,5	0	d

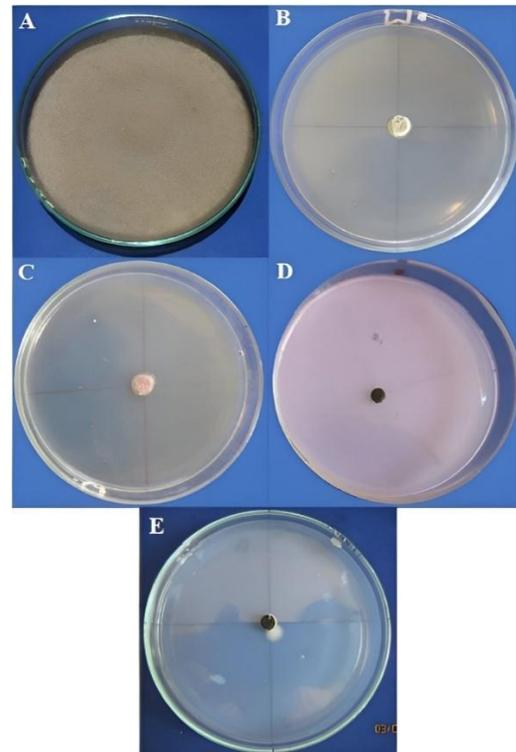


Figura 11. Inhibición del crecimiento micelial al 100% de *Alternaria solani*. A) Testigo B) Aliette (0,25%), C) Lichthor (0,5%) y D) Parachupadera (0,2%) E) Action (0,35%).

El estudio también armoniza con Soralez (2022) quien usó Captan y Flutolanil para prevenir el ataque de hongos *Rhizoctonia solani* (pudrición de la raíz) y *Fusarium*. Los resultados obtenidos con el fungicida Aliette, compuesto por Fosetyl-Aluminio armonizan con lo reportado por Bañuls (1990)

quien menciona que este fungicida combina propiedades protectoras y curativas, desplazándose de manera progresiva dentro de la planta. Aunque no ejerce acción directa sobre *A. solani*, *R. solani* y *Fusarium* sp. Si ejerce un efecto indirecto al estimular los mecanismos de defensa naturales de la planta.

Tabla 4

Promedio de los tratamientos en el control de *Rhizoctonia solani* en condiciones hidropónicas

Tratamiento	Dosis (ml/100 ml de PDA)	Media	Inhibición (%)	Sig. ($p \leq 0,05$)
T8 (Aliette)	0,25	0	100	a
T7 (Parachupadera)	0,2	0	100	a
T6 (Fertil Copper)	0,1	0	100	a
T2 (Geniuno)	0,25	2,62	41,78	b
T5 (Scudo)	0,1	2,89	35,78	bc
T4 (Action)	0,35	3,46	23,11	c
T3 (Lichthor)	0,5	3,5	22,22	c
T1 (Testigo)	0	4,5	0	d

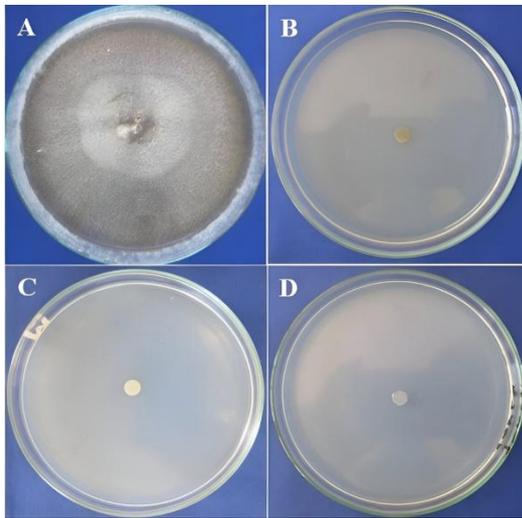


Figura 12. Inhibición al 100 % del crecimiento micelial de *Rhizoctonia solani*. A) Testigo B) Aliette (0,25%), C) Parachupadera (0,2%) y D) Fertil Copper (0,1%)

Los tratamientos T3: Lichthor (0,5 %) y T4: Action (0,35 %) lograron inhibir completamente el crecimiento micelial de los hongos *Alternaria solani* y *Fusarium solani* superando significativamente ($p \leq 0,05$) al testigo y a los tratamientos Genuino (0,25%), Scudo (0,1%). El fungicida biológico Lichthor, elaborado a partir de extracto de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) contiene un 6,61% de extracto vegetal y un 1,41% de ácidos urónicos. Estos ácidos, generados mediante fermentación microbiana, penetran las membranas celulares de los hongos fitopatógenos. Una vez en el citoplasma, activan enzimas endógenas como poligalacturonasas y enzimas pécticas, que contribuyen a descomponer las paredes celulares y membranas, desencadenando así la autólisis del hongo y su muerte celular (Biogen, 2021). Por lo que este tratamiento inhibió al 100% el hongo *Alternaria solani*. El tratamiento T4, Action (fosfito de potasio) aunque no tiene acción directa sobre el hongo *Alternaria solani* si tiene acción indirecta como

inductor de la Resistencia Sistémica Adquirida, tal como reporta Daniel & Guest (2005). En la planta el fosfito de potasio es disociado en las formas de ácido fosforoso (H_3PO_3) y K; el ácido fosforoso al ser reconocido por la planta como un metabolito del patógeno, activa los mecanismos de defensa estimulando la producción de fitoalexinas, las cuales son reconocidas por sus propiedades biocidas contra diferentes grupos de fitopatógenos (Kofet et al., 2007).

Tabla 5

Medias de Duncan a ($p = 0,05$) de los fungicidas en el control de *Fusarium solani* en condiciones de *in vitro*

Tratamiento	Dosis (ml/100 ml de PDA)	Media	Inhibición (%)	Sig. ($p \leq 0,05$)
T3 (Lichthor)	0,5	0	100	a
T4 (Action)	0,35	0	100	a
T8 (Aliette)	0,25	0	100	a
T7 (Parachupadera)	0,2	0	100	a
T6 (Fertil Copper)	0,1	0	100	a
T5 (Scudo)	0,1	0,63	86	b
T2 (Geniuno)	0,25	2,53	43,78	c
T1 (Testigo)	0	4,5	0	d

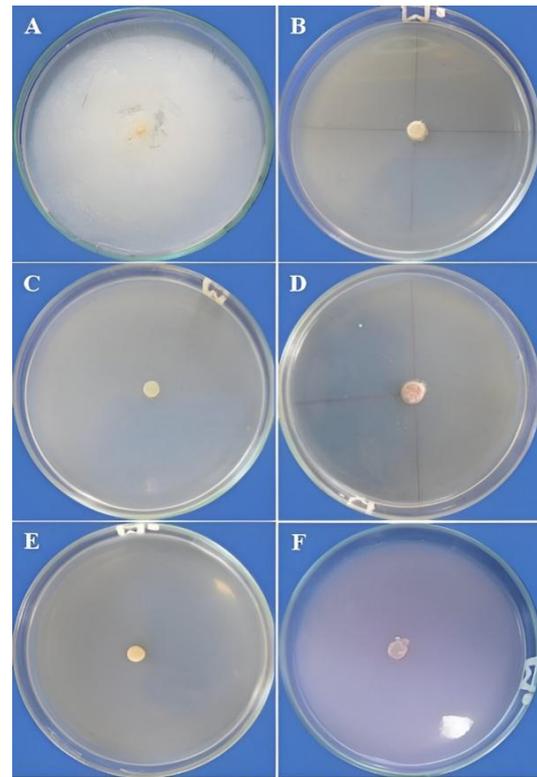


Figura 13. Inhibición del crecimiento micelial de *Fusarium* sp. A) Testigo B) Action (0,35%), C) Aliette (0,25%), D) Fertil Copper (0,1%), E) Lichthor (0,5%) y F) Parachupadera (0,2%).

El tratamiento T6: Fertil Copper (0,1 %) logró una inhibición total del crecimiento micelial de los hongos *Rhizoctonia solani* y *Fusarium solani*, superando significativamente ($p \leq 0,05$) al testigo y a los tratamientos Genuino (0,25%), Scudo (0,1%). El fungicida Fertil Cooper, compuesto por Sulfato de Cobre Pentahidratado pertenece al grupo

químico inorgánico y actúa por contacto en varios sitios (FRAC, 2017). Inhibiendo la germinación de esporas, intoxicación y bloqueo de procesos respiratorios, disminuye la biosíntesis de proteínas de los hongos (Herrero, 2005). Los fungicidas a base de cobre son considerados como multisitio que demuestran ser efectivos en el control de *R. solani* (Sun et al., 2014). Los tratamientos con Sulfato de Cobre Pentahidratado concuerdan con Alburquerque & Gusqui (2018), donde sus resultados presentaron una disminución en el micelio de *Fusarium* y *Rhizoctonia solani* in vitro. También concuerda con Ihsan & Jawhary (2006) quienes también obtuvieron una disminución del crecimiento micelial de *Fusarium* a concentraciones de 25 y 50 ppm e inhibieron al 100% el crecimiento micelial a una concentración de 100ppm de Sulfato de Cobre Pentahidratado. Además, estos resultados obtenidos con Fertil Cooper son consistentes con Pacheco (2022) quien obtuvo el mayor efecto en la inhibición del crecimiento micelial del hongo de *Fusarium* spp., al usar un tratamiento a base de Sulfato de Cobre Pentahidratado y Oxitetraciclina al 90%. Los fungicidas a base de cobre son considerados como multisitio que demuestran ser efectivos en el control de *R. solani* (Sun et al., 2014). Estos fungicidas podrían utilizarse dentro de un programa de manejo integrado de estas enfermedades en el cultivo de lechuga hidropónica.

Prueba de fungicidas químicos en condiciones hidropónicas

Prueba con sustrato no estéril

En la Tabla 6 se presenta el peso fresco de las plantas de lechuga hidropónica, el tratamiento con extracto de *Saccharum officinarum* (Litchor) presentó el mayor rendimiento con 174 g, demostrando ser mejor en relación al control de los diferentes fitopatógenos y al promover un mejor desarrollo del vigor de la planta. Estos resultados concuerdan con Marchan (2018) quien encontró que el fungicida de origen biológico Litchor aplicado al suelo en plantas de vivero, mejoró el vigor de las plantas de vid expresado en un mejor follaje y masa radicular.

Ensayo con sustrato estéril

En la Tabla 7 se observa que el mayor rendimiento de plantas de lechuga (122,8 g) se obtuvo con los tratamientos Flutolanil y Captan (Parachupadera), con el fungicida a base de sulfato de cobre pentahidratado (Fertil Copper) se obtuvo un promedio de 114,5 g por lechuga. Estos resultados concuerdan con Valdiviezo (2010) quien mencionó que el fungicida Parachupadera redujo el índice de severidad de los hongos *Rhizoctonia* sp. y *Fusarium* sp en comparación con el testigo, en el cultivo de arroz. Este fungicida incluye en su fórmula dos ingredientes activos con propiedades curativas y sistémicas, los cuales interfieren en múltiples procesos metabólicos del patógeno. Esto resulta en un amplio espectro de acción tóxica (Aguilar, 2020) y, de manera indirecta, favorece un mejor crecimiento de la planta.

Tabla 6

Promedio del peso fresco de lechuga hidropónica en sustrato no estéril

Tratamientos	Productos comerciales	Media	Sig. (p ≤ 0,05)
T2	Litchor	174	a
T3	Action / Genuino	146	b
T6	Parachupadera	135,	b
T7	Aliette	124,9	bc
T1	Genuino/Action	122,7	bc
T4	Scudo	121,2	bc
T5	Fertil Copper/ Action	107,4	cd
T8	Testigo	85,7	d

Tabla 7

Promedio del peso fresco de lechuga hidropónica en sustrato estéril

Tratamientos	Productos comerciales	Media	Sig. (p ≤ 0,05)
T6	Parachupadera	122,8	a
T5	Fertil Copper/ Action	114,9	ab
T2	Litchor	109,7	ab
T7	Aliette	105,2	b
T3	Action / Genuino	104,8	b
T4	Scudo	86,1	c
T8	Testigo	68,3	d
T1	Genuino/Action	64,6	d

CONCLUSIONES

Las características culturales, morfológicas y la descripción sintomatológica permitieron identificar a *Alternaria solani* causando mancha foliar, *Rhizoctonia solani* causando pudrición del cuello, *Fusarium* sp. causando marchitez y *Pythium* sp. causando pudrición de la raíz, demostrando que el estudio será útil para el manejo de estas enfermedades.

En las pruebas *in vitro*, el tratamiento T7 Parachupadera (Flutolanil y Captan) y T8 Aliette (Fosetyl Aluminio) mostró el mejor control de los patógenos *Alternaria solani*, *Rhizoctonia solani* y *Fusarium* sp. Por otro lado, en condiciones hidropónicas, el ensayo con sustrato no estéril "Litchor" (Extracto de *Saccharum officinarum*) generó un peso promedio de 174 gramos por

lechuga, mientras que el ensayo con sustrato estéril "Parachupadera" obtuvo un peso promedio de 122,8 gramos.

Estos resultados subrayan la importancia de combinar estrategias de manejo integrado que incluyan tratamientos químicos efectivos como T7 Parachupadera, así como la selección adecuada de sustratos para maximizar el rendimiento y la calidad de la producción en sistemas hidropónicos. Se propone realizar estudios adicionales para evaluar la interacción de estos tratamientos con otros factores agronómicos, como la nutrición mineral y el control biológico de patógenos, con el fin de desarrollar estrategias más sostenibles y específicas para el manejo de enfermedades en cultivos hidropónicos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abbott, W. S. (1925). A method of computing the effectiveness of an insecticide. *J. Econ. Entomol.* 18, 265-267.
- Aguilar, R. (2020). Etiología y control de la pudrición del cuello en el cultivo de *Gypsophila paniculata* en el Valle de Caraz, Ancash.
- Ahmed, S., Anderson, S., Roy, S. K., Woo, S. H., Sonawane, K. D., & Shohael, A. M. (2019). Effect of salinity on the morphological, physiological and biochemical properties of lettuce (*Lactuca sativa* L.) in Bangladesh. *Open Agric.* 4, 361-373.
- Alburquerque, A. D., & Gusqui, M. R. (2018). Eficacia de fungicidas químicos para el control in vitro de diferentes fitopatógenos en condiciones controladas. *Arnaldoa*, 25(2), 489-498. <http://doi.org/10.22497/arnaldoa.252.25209>
- Anderson, N. A. (1982). The genetics and pathology of *Rhizoctonia solani*. *Annu. Rev. Phytopathol.* 20, 329-347.
- Bantis, F., Smirnakou, S., Ouzounis, T., Koukounaras, A., Ntagkas, N., & Radoglou, K. (2018). Current status and recent achievements in the field of horticulture with the use of light-emitting diodes (LEDs). *Sci. Hortic.* 235, 437-451. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.02.058>.
- Bañuls, J. (1990). Comportamiento de Diferentes Combinaciones Injerto-Patrón de Cítricos frente a la salinidad, Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias, Valencia - España.
- Barnett, H. L., & Hunter, B. B. (1998). Illustrate Genera Imperfect. Editorial Burgess Publishing Company. 241 pp.
- Biogen. (2021). Lichthor. Fungicida biológico (en línea). Ficha técnica. Disponible en: <http://www.biogenagro.com/wp-content/uploads/2021/06/FT-LICHTHOR1.pdf>
- Booth, C. (1971). The Genus *Fusarium*. CMI. Kew, Surrey. pp. 19-31.
- Boros, I. F., Székely, G., Balázs, L., Csambalik, L. & Sipos, L. (2023). Effects of LED lighting environments on lettuce (*Lactuca sativa* L.) in PFAL systems—A review. *Scientia Horticulturae*, 321, 112351.
- Breś, W., Kleiber, T., Markiewicz, B., Mieloszyk, E., & Mieloch, M. (2022). The Effect of NaCl Stress on the Response of Lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Agronomy*, 12, 244. <https://doi.org/10.3390/agronomy12020244>
- Camejo, D., Frutos, A., Mestre, T. C., del Carmen, P. M., Rivero, R. M., & Martínez, V. (2020). Artificial light impacts the physical and nutritional quality of lettuce plants. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 61, 69-82.
- Chaudhary, L. B., Meetum, P., Kanjanamaneesathian, M., Adhikari, R., & Mongkol, R. (2023). Efficacy of Some Plant Extracts against Root Rot Disease of Green Oak Lettuce (*Lactuca sativa* var. Crispa) Caused by *Pythium* sp. Grown in a Hydroponic System. *Agro-biodiversity for life and environment*, 99.
- Corrêa, E. B., & Bettio, W. (2009). Controle da podridão de raiz e promoção de crescimento em hidroponia com bactérias.
- Daniel, R., & Guest, D. (2005). Defence responses induced by potassium phosphonate in *Phytophthora palmivora* challenged Arabidopsis thaliana. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 67(3-5), 194-201.
- De Souza, P. F., Borghazan, M., Zappellini, J., de Carvalho, L. R., Ree, J., & Barcelos-Oliveira, J. L. (2019). Physiological differences of 'Crocantela' lettuce cultivated in conventional and hydroponic systems. *Hortic. Bras.*, 37, 101-105.
- Díaz, C. (2021). Evaluación del crecimiento de hortalizas de lechuga (*Lactuca sativa* L.) y pepino (*Cucumis sativus* L.) utilizando ácido húmico y humus orgánico proveniente de la pila de compost. Chiapas. Tesis Ingeniería Ambiental. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. México.
- El-Kazzaz, K. A., & El-Kazzaz, A. A. (2017). Soilless agriculture a new and advanced method for agriculture development: an introduction. *Agri Res Tech*, 3, 63-72. <https://doi.org/10.19080/artoaj.2017.03.555610>
- FAO. (2021). La seguridad alimentaria y nutrición en el mundo. s.l., s.e. 1-240 p.
- Fungicide Resistance Action Committee (FRAC). (2017). List of Fungicide Common Names. <http://www.frac.info/docs/default-source/publications/frac-code-list/frac-code-list-2017final.pdf>.
- Frech, E. R., & Hebert, T. T. (1980). Métodos de investigación fitopatológica. Editorial IICA. San José Costa Rica. 277 pp.
- Grabitske, H. A., & Slavin, J. L. (2009). Gastrointestinal effects of low-digestible carbohydrates. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 49(4), 327-360. <https://doi.org/10.1080/10408390802067126>
- Grosch, R., Schneider, Kofeet, A., & Feller, C. (2011). Impact of continuous cropping of lettuce on the disease dynamics of bottom rot and genotypic diversity of *Rhizoctonia solani* AG 1-1B. *J. Phytopathol.*, 159, 35-44
- Gullino, M. L., Gilardi, G., & Garibaldi, A. (2019). Ready-to-eat salad crops: the plant pathogen's heaven. *Plant Disease*, 103, 2153-2170.
- Herrero, J. (2005). Flora de Iberia. Disponible en: <http://floradeiberia.com>
- Ihsan, F. H., & Jawhary, A. L. 2006. Effect of copper sulfate on some soil fungi isolated from AL- Qadisiya District fields. Irak: AL-Qadisiya. 9 p.
- Ismail, H., Gillespie, A. L., Calderwood, D., Iqbal, H., Gallagher, C., Chevallier, O. P., Elliott, C. T., Pan, X., Mirza, B., & Green, B. D. (2019). The health promoting bioactivities of *Lactuca sativa* can be enhanced by genetic modulation of plant secondary metabolites. *Metabolites*, 9(5), 97.
- Jeong, S. W., Kim, G. S., Lee, W. S., Kim, Y. H., Kang, N. J., Jin, J. S., Gye Min Lee, Kim S. T., El-Aty A.M. A., Shim J., & Shin, S. C. (2015). The effects of different night-time temperatures and cultivation durations on the polyphenolic contents of lettuce: Application of principal component analysis. *Journal of advanced research*, 6(3), 493-499.
- Jois, S. (2021). Morphological characteristics of hydroponically grown lettuce (*Lactuca sativa*) treated with Pranic Agriculture. *Egyptian Journal of Agricultural Research*, 99(4), 391-396.
- Kaiser, C., & Ernst, M. (2012). Hydroponic Lettuce CCDP-63. Center for Crop Diversification, University of Kentucky College of Agriculture, Food and Environment: Lexington, KY, USA. Available online:
- Kameoka, T., & Hashimoto, A. (2019). Chapter 3.2 - assessment from food science. In: Anpo, M., Fukuda, H., Wada, T. (Eds.), *Plant Factory Using Artificial Light*. Elsevier, pp. 131-141. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813973-8.00034-8>.
- Khabbaz-Jolfaei, H., Mohammadi-Moghadam, M., Baradaran, G., & Ghalandar, M. (2023). Investigation on the Efficacy of some Fungicides in Controlling Alternaria Late Blight of Pistachio. *Journal of Nuts*, 14(3), 173-180.
- Khakimov, A., Salakhutdinov, I., Omolokov, A. & Utaganov, S. (2022). Traditional and current-prospective methods of agricultural plant diseases detection: A review. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 951(1), 012002. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/951/1/012002>
- Kim, M. J., Moon, Y., Tou, J. C., Mou, B., & Waterland, N. L. (2016). Nutritional value, bioactive compounds and health benefits of lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Journal of Food Composition and Analysis*, 49, 19-34. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2016.03.004>
- Kofeet, A., & K. Fischer. 2007. Evaluation of plant resistance improvers to control *Peronospora destructor*, *P. parasitica*, *Bremia lactucae* and *Pseudoperonospora cubensis*. *Journal of Plant Disease and Protection*, 114(2), 54-61.
- Koukounaras, A. (2021). Advanced greenhouse horticulture: New technologies and cultivation practices. *Horticulturae*, 7, 1.
- Kumar, P., & Saini, S. (2020). Nutrients for hydroponic systems in fruit crops. London: Urban Horticulture-Necessity of the Future.
- Marchan, D. J. (2018). Hongos asociados a infecciones en la zona de injertación de plantas de vid y eficacia de *Trichoderma harzianum* en su control. Tesis para optar el título de Ing. Agrónoma. 92 pp.
- Matheron M. (2008.) *Fusarium wilt of leafy greens: Managing a challenging disease*. PDT. The University of Arizona. Yuma Agricultural Center. Pag. 2.
- Medina-Lozano, I., Bertolín, J. R., & Díaz, A. (2021). Nutritional value of commercial and traditional lettuce (*Lactuca sativa* L.) and wild relatives: Vitamin C and anthocyanin content. *Food Chem.* 359, 129864.
- Owen-Going, N., Sutton, J. C., & Grodzinski, B. (2003). Relationships of *Pythium* isolates and sweet pepper plants in single-plant hydroponic units. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 25(2), 155-167. doi:10.1080/07060660309507064
- Pacheco, A. J. (2022). Evaluación del efecto de fungicidas para el control de *Botrytis* spp. y *Fusarium* spp. en hojas de cinco variedades de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) bajo condiciones de laboratorio (Doctoral dissertation, Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana).
- Pasquali, M., Dematheis, F., Gullino, M. L., & Garibaldi, A. (2007). Identification of race 1 of *Fusarium oxysporum* f. sp. lactucae on lettuce by inter-retrotransposon sequence-characterized amplified region technique. *Phytopathology*, 97, 987-996.
- Paugh, K. R., & Gordon, T. R. (2021). Survival of *Fusarium oxysporum* f. sp. lactucae on crop residue in soil. *Plant Disease*,

- 105(4), 912-918. <https://doi.org/10.1094/PDIS-07-20-1464-RE>
- Qadeer, A., Butt, S. J., Asam, H. M., Mehmood, T., Nawaz, M. K., & Haidree, S. R. (2020). Hydroponics as an innovative technique for lettuce production in greenhouse environment. *Pure Appl. Biol.*, 9, 20-26.
- Rotem, J. (1994). The genus *Alternaria* biology, epidemiology, and pathogenicity, 1st ed. The American Phytopathological Society, St. Paul, Minnesota, pp 48, 203.
- Sapkota, S., Sapkota, S., & Liu, Z. (2019). Effects of nutrient composition and lettuce cultivar on crop production in hydroponic culture. *Horticulturae*, 5, 72.
- Scott, J. C., Gordon, T. R., Kirkpatrick, S. C., Koike, S. T., Matheron, M. E., Ochoa, O. E., Truco, M. J., & Michelmore, R. W. (2012). Crop rotation and genetic resistance reduce risk of damage from fusarium wilt in lettuce. *California Agriculture*, 66(1), 20-24.
- Shams, M., Ekinici, M., Turan, M., Dursun, A., Kul, R. & Yildirim, E. (2019). Growth, nutrient uptake and enzyme activity response of lettuce (*Lactuca sativa* L.) to excess copper. *Environmental Sustainability*, 2(1), 67-73. <https://doi.org/10.1007/s42398-019-00051-7>.
- Shatilov, M. V., Razin, A. F., & Ivanova, M. I. (2019). Analysis of the world lettuce market. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 395(012053), 1-6. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/395/1/012053>
- Sherf, A. F. & MacNab A. A. (1986). Vegetable diseases and their control.
- Shi, M., Gu, J., Wu, H., Rauf, A., Bin-Emran, T., Khan, Z., Mitra, S., Aljohani, A. S. M., Alhumaydi, F. A., & Al-Awthan, Y. S. (2022). Phytochemicals, nutrition, metabolism, bioavailability, and health benefits in lettuce A comprehensive review. *Antioxidants*, 11, 1158.
- Simmons, E. G. (2007). *Alternaria*. An identification manual. CBS Biodiversity Series 6. CBS Fungal Biodiversity Centre, Utrecht, The Netherlands.
- Singh, R., Upadhyay, S., Diwakar, A., Sharma, I., & Affiliation, N. (2020). A study on hydroponic farming system of wheat, spinach and sword lily for sustainable development of agriculture. *Bio Sci. Res. Bull.*, 35, 58-63.
- Sneb, B., Burgee, L., & Ogoshi, A. (1991). Identification of *Rhizoctonia* species. APS PRESS USA. 65 pp.
- Soraluz, J. L. T. (2022). Interferência das plantas daninhas no feijoeiro-comum sob épocas e densidades de semeadura diferentes (Doctoral dissertation, Tese de licenciatura).
- Sularz, O., Smoleń, S., Koronowicz, A., Kowalska, I., & Leszczyńska, T. (2020). Chemical composition of lettuce (*Lactuca sativa* L.) biofortified with iodine by KI03, 5-Iodo-, and 3,5-diiodosalicylic acid in a hydroponic cultivation. *Agronomy* 10(7), 1-17. <https://doi.org/10.3390/agronomy10071022>
- Sun, Q., Hu, K., & Yang, X. L. (2014). The Efficacy of copper sulfate in controlling infection of *Saprolegnia parasitica*. *J. World Aquac. Soc.*, 45, 220-225.
- Sutton, J. C., Sopher, C. R., Owen-Going, T. N., Liu, W., Grodzinski, B., Hall, J. C., & Benchimol, R. L. (2006). Etiology and epidemiology of *Pythium* root rot in hydroponic crops: current knowledge and perspectives. *Summa Phytopathologica, Botucatu*, 32(4), 307-321.
- Teng, J., Liao, P., & Wang, M. (2021). The role of emerging micro-scale vegetables in human diet and health benefits - an updated review based on microgreens. *Food and Function*, 12, 1914-1932. <https://doi.org/10.1039/D0FO03299A>
- Utkhede, R. S., Lévesque, C. A., & Dinh, D. (2000). *Pythium aphanidermatum* root rot in hydroponically-grown lettuce and the effect of chemical and biological agents on its control. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 22(2), 138-144.
- Valdiviezo, J. E. (2010). Caracterización y pruebas de control del agente causal de la pudrición del tallo en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.), en el Valle del Chira Piura.
- Wardhana, I., Hasbi, H., & Wijaya, I. (2016) Respon Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Selada (*Lactuca sativa* L.) pada Pemberian Dosis Pupuk Kandang Kambing dan Interval Waktu Aplikasi Pupuk Cair Super Bionik. *Agritop Jurnal Ilmu-ilmu Pertanian*, 14(2), 165.
- Yang, X., Gil, M. I., Yang, Q. & Tomás-Barberán, F. A. (2022). Bioactive compounds in lettuce: Highlighting the benefits to human health and impacts of preharvest and postharvest practices. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, 21, 4-45.
- Yazdi, M., Kolahi, M., Kazemi, E., et al., (2019). Study of the contamination rate and change in growth features of lettuce (*Lactuca sativa* Linn.) in response to cadmium and a survey of its phytochelatin synthase gene. *Ecotox. Environ. Safe.*, 180, 295-308. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.04.071>
- Zhang, X., He, D., Niu, G., Yan, Z., & Song, J. (2018). Effects of environment lighting on the growth, photosynthesis, and quality of hydroponic lettuce in a plant factory. *Int. J. Agricult. Biol. Eng.* 11, 33-40.
- Zheng, J., Sutton, J. C., & Yu, H. (2000). Interactions among *Pythium aphanidermatum*, roots, root mucilage, and microbial agents in hydroponic cucumbers. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 22(4), 368-379.