

EN

The Effect of Ginger Extract (*Zingiber officinale* Roscoe) on *Botrytis cinerea*

ES

Efecto del extracto de jengibre (*Zingiber officinale* Roscoe) sobre el crecimiento de *Botrytis cinerea*

Lesly Aide Vázquez Vázquez¹; Macario Vicente Flores^{1*}; Guadalupe Esmaragda Torres Dominguez¹

¹Universidad Tecnológica de Xicotepec de Juárez, Av. Universidad Tecnológica núm. 1000, Tierra Negra, Xicotepec de Juárez, Puebla. C. P. 73080. México.

*Corresponding author:

macario.vicenteflores@
utxicotepec.edu.mx

ORCID: 0009-0009-3746-2624

Received: November 14, 2023

Accepted: February 29, 2024

DOI:

10.5154/r.rchsat.2023.04.01

Abstract

Currently, in sustainable agriculture, there has been an increased interest in the search for and application of natural products for pest and disease control. This is achieved through the use of plant extracts, which reduce the use of synthetic agrochemicals and avoid the negative effects they generate. Plant extracts serve as a low-cost and environmentally friendly agroecological alternative, with minimal impact on agroecosystems. The objective of this research was to evaluate the effectiveness of ethanolic extracts from ginger residues (*Zingiber officinale* Roscoe) (Zingiberaceae) from two cultivation areas in the Xicotepec region (La Ceiba and Tlaxcalantongo), Puebla, on gray mold (*Botrytis cinerea* Whetzel) (Ascomycota). The fungicidal activity of extracts at different concentrations (1, 3, and 5 % v/v) was assessed using the disk diffusion method. Incubation was conducted at 27.5 °C, followed by the measurement of *in vitro* fungal growth. The mean halos for each concentration were compared to a control treatment (commercial agrochemical). The findings revealed that the ginger extract, particularly at concentrations of 3 and 5%, were the best for inhibiting fungal growth. These results suggest that ginger extracts possess fungicidal activity on gray mold and hold promise for the development of environmentally friendly fungicidal products.

Keywords: Agriculture, fungi, agroecology (Thesauri), agrochemical, plant extracts.

Resumen

Actualmente, en la agricultura sustentable se ha incrementado el interés en la búsqueda y aplicación de productos naturales para el control de plagas y enfermedades, mediante la utilización de extractos vegetales, los cuales disminuyen el uso de agroquímicos sintéticos y se evitan los efectos negativos que éstos generan; siendo los extractos vegetales una alternativa agroecológica de bajo costo e impacto sobre los agroecosistemas. El objetivo de la presente investigación fue evaluar la efectividad de extractos etanólicos obtenidos a partir de residuos de jengibre (*Zingiber officinale* Roscoe) (Zingiberaceae) de dos zonas de cultivo de la región de Xicotepec (La Ceiba y Tlaxcalantongo), Puebla, sobre el moho gris (*Botrytis cinerea* Whetzel) (Ascomycota). Se evaluó la actividad fungicida de los extractos bajo diferentes concentraciones (1, 3 y 5 % v/v), se utilizó el método de difusión en disco, incubación a 27.5 °C y después se midió el crecimiento *in vitro* del hongo. Se compararon resultados de las medias del halo de crecimiento de cada concentración con respecto a un control (agroquímico comercial), encontrándose que el extracto de jengibre, en concentraciones de 3 y 5 % fueron los mejores para inhibir el halo de crecimiento. Los resultados sugieren que los extractos de jengibre poseen actividad fungicida sobre el moho gris y pueden utilizarse en el desarrollo de productos fungicidas de bajo impacto ambiental.

Palabras clave: Agricultura, hongos, agroecología (Tesauros); agroquímico, extractos vegetales,



Please cite this article as follows (APA 7): Vázquez Vázquez, L. A., Vicente Flores, M., & Torres Dominguez, G. E. (2024). The Effect of Ginger Extract (*Zingiber officinale* Roscoe) on *Botrytis cinerea*. *Revista Chapingo Serie Agricultura Tropical*, 4(1). doi: 10.5154/r.rchsat.2023.04.01

Introduction

Agriculture is a human activity that involves coordinating different procedures for land treatment, the main objective is to produce plant-based food. It requires modifying the environment to suit the needs of this study and exploit soils for greater productivity (SAGARPA, 2017). Sustainable agriculture focuses on meeting current needs without compromising those of future generations. It is manifested in biodiversity protection, preservation of native seeds, and the promotion of organic farming practices (SADER, 2023). Additionally, organic farming aims to promote the sustainability of systems by primarily using raw materials produced within the same crop unit. If external resources are used, it should be minimized, and efforts should be made to ensure they are free from contaminants (Castro-Martínez et al., 2022).

Currently, eco-friendly alternatives are being sought to replace the method of chemical control of agricultural pests and diseases, which relies on synthetic agrochemicals. While these chemicals prove effective against pests and diseases in the short and medium term, they also cause environmental contamination problems, which have adversely impacted the biodiversity of agroecosystems. These methods prevent the complete decomposition of organic matter and adversely affect proper plant nutrition, thus facilitating infection by phytopathogens (Ibarra Vrska, 2019; Flores-Villegas et al., 2019).

Fungicides and other agrochemicals can affect, to a lesser or greater degree, both the target species and non-target species (mainly beneficial entomofauna). Thus, interest arises in the use of natural extracts made from plant residues, which help to control pests and diseases that affect agricultural crops, improving their optimal development (Salazar-Magallón et al., 2017; Salgado-Garciglia et al., 2019; Aguilar-González et al., 2021).

Diseases caused by fungi have increased in incidence and severity, causing partial and sometimes even total crop losses, so controlling the different diseases caused by these phytopathogenic agents has proved to be a challenge in different crops of economic importance, since most of the diseases caused by fungi hinder the proper growth of crops, thereby reducing agricultural production (Restrepo et al., 2012; Aslam et al., 2017; García-Romero, 2019).

The mechanism for the development of plant diseases caused by different pathogens such as fungi, involves overcoming different barriers or protective layers of

Introducción

La agricultura, es una actividad humana que tiende a coordinar diferentes procedimientos en el tratamiento de la tierra, el objetivo principal es producir alimentos de origen vegetal, donde es necesario modificar el ambiente para adaptarlo a las necesidades de esta labor y aprovechar los suelos para una mayor productividad (SAGARPA, 2017). La agricultura sustentable se centra en satisfacer las necesidades actuales sin comprometer las futuras generaciones y se manifiesta en la protección de la biodiversidad, la preservación de semillas nativas y el fomento de la agricultura orgánica (SADER, 2023). Asimismo, la agricultura orgánica, busca fomentar la sostenibilidad de los sistemas al utilizar principalmente materias primas producidas en la misma unidad de los cultivos, y en caso de usar recursos externos, debe ser lo menor posible y asegurarse que estén libres de contaminantes (Castro-Martínez et al., 2022).

Actualmente, se buscan alternativas ecoamigables para sustituir el método de control químico de plagas y enfermedades agrícolas, el cual hace uso de agroquímicos sintéticos, que si bien resultan efectivos contra plagas y enfermedades (en corto y mediano plazo), pero a su vez ocasionan problemas de contaminación ambiental, que han impactado desfavorablemente la biodiversidad de los agroecosistemas, dichos métodos impiden la total descomposición de materia orgánica, además afectan la correcta nutrición de la planta, facilitando así la infección por fitopatógenos (Ibarra Vrska, 2019; Flores-Villegas et al., 2019).

Los fungicidas y otros agroquímicos pueden afectar en menor o mayor grado, tanto a la especie objetivo como a las especies no blanco (principalmente entomofauna benéfica). De esta manera, surge el interés por el uso de extractos naturales elaborados a partir de residuos vegetales, los cuales ayudan a controlar las plagas y enfermedades que afectan los cultivos agrícolas, mejorando su óptimo desarrollo (Salazar-Magallón et al., 2017; Salgado-Garciglia et al., 2019; Aguilar-González et al., 2021).

Las enfermedades causadas por hongos han presentado un incremento en la incidencia y severidad, provocando pérdidas parciales y en ocasiones hasta totales de las cosechas, por lo que controlar las diferentes enfermedades provocadas por estos agentes fitopatógenos, ha resultado ser un desafío en distintos cultivos de importancia económica, ya que la mayoría de las afecciones originadas por hongos obstaculiza el crecimiento adecuado de los cultivos y con ello reduce la producción agrícola (Restrepo et al., 2012; Aslam et al., 2017; García-Romero, 2019).

the host to get nutrients and thus proliferate. Fungi can use mechanical forces by forming appressoria to penetrate the host, use chemical compounds or toxins, enzymes, even growth regulators and achieve pathogenesis. Another way to reach hosts is by means of vectors and adherence to different plant surfaces and start their colonization (Sharma and Gautam, 2019). Fungi can affect different crops and cause different diseases, for example: aethracnose or canker *Colletotrichum* spp. (Ascomycota), early blight or *Alternaria* leaf spot in potatoes (*Alternaria solani* Cooke, Ascomycota), gray mold *Botrytis cinerea* Pers. (Ascomycota), Damping-off or *Rhizoctonia solani* Kühn (Basidiomycota), white rot in onions *Sclerotium cepivorum* Berk (Ascomycota), clubroot (*Plasmodiophora brassicae* Woronin, Plasmodiophoromycota), ring spot (*Mycosphaerella brassicola* Lindau, Ascomycota), among others (DANE, 2014; Ajayi-Oyetunde and Bradley, 2018; Pérez-López et al., 2018; Terrones-Salgado et al., 2019).

The fungus *B. cinerea*, commonly known as gray mold, is a phytopathogenic fungus that affects more than a thousand species worldwide and due to its wide host range and distribution, it is considered a polyphagous and cosmopolitan species (Elad et al., 2015; Bi et al., 2023). Typically, this fungus is characterized by the presence of abundant mycelium with apical cells containing clusters of conidia (asexual spores). The conidia are ovoid or round, unicellular, and can vary in color from whitish to dark gray (Agrios, 2005; Nakajima and Akutsu, 2014). The fungus proliferates in environments with high relative humidity (90-95 %) and low temperatures (15-20 °C), initially creating a gray layer of mold on damaged parts (Nakajima y Akutsu, 2014; Bi et al., 2023).

The fungus *B. cinerea* causes economically significant damage, both pre-harvest and post-harvest, in a wide variety of agricultural crops, such as: strawberry *Fragaria* L. (Rosaceae), blackberry *Rubus fruticosus* L. (Rosaceae), grape *Vitis vinifera* L. (Vitaceae), raspberry *Rubus idaeus* L. (Rosaceae), blueberry *Vaccinium corymbosum* L. (Ericaceae) and kiwifruit *Actinidia deliciosa* Lindl. (Actinidiaceae) (Antunes & Cavaco, 2010; Nakajima & Akutsu, 2014; Fernández-Ortuño et al., 2017; Priyashantha et al., 2023).

Strawberry is one of the crops most susceptible to gray mold, which occurs mainly in the postharvest stage (Taborda-Andrade et al., 2015; Fernández-Ortuño et al., 2017). Strawberry rot is one of the main threats to plantations of this crop, as expressed by Williamson et al. (2007), its infection begins during the flowering stage and remains until fruit ripening. Ripe fruits are

El mecanismo para el desarrollo de las enfermedades en las plantas provocadas por diferentes patógenos como los hongos, implica atravesar diferentes barreras o capas protectoras del huésped para conseguir nutrientes y de esta manera proliferar. Los hongos pueden usar fuerzas mecánicas al formar apresorios y conseguir la penetración en el huésped, utilizar compuestos químicos o toxinas, enzimas, hasta reguladores de crecimiento y lograr la patogénesis, otros medios para llegar hasta los huéspedes, es por medio de vectores y ser adheridos a las diferentes superficies de las plantas y comenzar su colonización (Sharma y Gautam, 2019). Los hongos pueden afectar diferentes cultivos y provocar diferentes enfermedades, por ejemplo: antracnosis o chancro *Colletotrichum* spp. (Ascomycota), mancha de *Alternaria* o tizón temprano en patatas *Alternaria solani* Cooke (Ascomycota), moho gris *Botrytis cinerea* Pers. (Ascomycota), Damping-off o mal del talluelo *Rhizoctonia solani* Kühn (Basidiomycota), pudrición blanca en cebolla *Sclerotium cepivorum* Berk (Ascomycota), hernia de crucíferas *Plasmodiophora brassicae* Woronin (Plasmodiophoromycota), mancha de anillo *Mycosphaerella brassicola* Lindau (Ascomycota), entre otras (DANE, 2014; Ajayi-Oyetunde y Bradley, 2018; Pérez-López et al., 2018; Terrones-Salgado et al., 2019).

El hongo *B. cinerea* conocido comúnmente como moho gris, es un hongo fitopatógeno que afecta a más de mil especies en todo el mundo y debido a su amplia variedad de hospederos y distribución, se le considera una especie polífaga y cosmopolita (Elad et al., 2015; Bi et al., 2023). Generalmente, este hongo se caracteriza por la presencia de abundante micelio con células apicales que contienen racimos de conidios (esporas asexuales), que son de forma ovoide o redondo, unicelulares y pueden variar en color desde blanquecino hasta gris oscuro (Agrios, 2005; Nakajima y Akutsu, 2014). El hongo prolifera en ambientes con alta humedad relativa (90-95 %) y temperaturas bajas (15-20 °C), creando en un inicio una capa gris de moho en las partes dañadas (Nakajima y Akutsu, 2014; Bi et al., 2023).

El hongo *B. cinerea* provoca daños que son de gran importancia económica, tanto en el periodo previo a la cosecha como en la postcosecha, en una amplia variedad de cultivos agrícolas, tales como: fresa *Fragaria* L. (Rosaceae), zarzamora *Rubus fruticosus* L. (Rosaceae), uva *Vitis vinifera* L. (Vitaceae), frambuesa *Rubus idaeus* L. (Rosaceae), arándano azul *Vaccinium corymbosum* L. (Ericaceae) y kiwi *Actinidia deliciosa* Lindl. (Actinidiaceae) (Antunes & Cavaco, 2010; Nakajima & Akutsu, 2014; Fernández-Ortuño et al., 2017; Priyashantha et al., 2023).

especially susceptible to gray mold infections after suffering some physical damage, which allows the pathogen to rapidly colonize the damaged tissue and start spreading through the entire fruit (Fernández-Ortuño et al., 2018).

Signs of infection caused by *B. cinerea* on strawberry plants vary depending on the affected part; initially, they manifest as dark spots that are lighter than the surrounding tissue and increase in size rapidly (Trejo-Corona, 2022). Subsequently, a gray mycelium forms in the infection area and its vicinity, eventually producing spores with shades ranging from white to dark gray (Romanazzi & Feliziani, 2014). Newly sprouted leaves on strawberry plants remain in a state of latency for a period, and once this period is concluded, leaf necrosis occurs (Trejo-Corona, 2022).

Koike and Bolda (2016), suggest that, for the phytosanitary management of strawberry crops, an integrated approach involving chemical methods with organic substances should be implemented. The most widely employed method currently used to control gray mold in this crop is based on the use of fungicides from synthetic chemicals, posing a challenge due to their extensive structural, toxicological and functional diversity. These products can impact environmental compartments and non-target organisms in different ways and with diverse levels of intensity, depending on usage methods, geographical characteristics, and climatic patterns at the application site (Vargas González et al., 2019). A causal effect of the use of these products is the resistance that has been observed in the genus *Botrytis* due to its genetic diversity, and the frequent use of these chemicals repeatedly, which promotes the appearance of such resistance (Fernández-Ortuño et al., 2018). Sustainable alternatives are the use of biological control and plant extracts, which reduce the amount of chemical waste, generate no resistance, cause no risk to human health and have no effect on beneficial entomofauna, and are easy to implement (Zaker, 2016; Zelaya-Molina et al., 2022; Greff et al., 2023).

Plant extracts, due to their various phytochemical compounds at different concentrations, offer a wide range of applications in agriculture, and these extracts can be obtained using different solvents, primarily water and alcohols (Félix, 2018; Salgado-Garciglia et al., 2019). The main compounds present in plant extracts exhibit fungicidal or fungistatic properties. This means that they can either inhibit the growth of phytopathogenic fungi or create an unfavorable environment for their development and reproduction in host organisms (Zaker, 2016).

La fresa forma parte de los cultivos más susceptibles al moho gris, el cual se presenta principalmente en etapa de postcosecha (Taborda-Andrade et al., 2015; Fernández-Ortuño et al., 2017). La podredumbre de la fresa es una de las principales amenazas para plantaciones de este cultivo, tal como expresa Williamson et al. (2007), su infección inicia durante la etapa de floración y permanece hasta la maduración del fruto. La fruta madura, es especialmente susceptible a las infecciones del moho gris después de sufrir algún daño físico, lo cual permite que el patógeno colonice rápidamente el tejido dañado e inicie su propagación por toda la fruta (Fernández-Ortuño et al., 2018).

Los signos de infección causados por *B. cinerea* en las plantas de fresa, varían en función de la parte afectada; inicialmente, se manifiestan como puntos oscuros que son más suaves que el tejido circundante e incrementan su tamaño rápidamente (Trejo-Corona, 2022). Posteriormente, se forma un micelio de color gris en la zona de la infección y sus cercanías, que eventualmente producen una esporulación con tonalidades que van desde blanca hasta un gris oscuro (Romanazzi & Feliziani, 2014). Las hojas recién brotadas en las plantas de fresa permanecen en un estado de latencia por un periodo de tiempo y una vez concluido éste, se produce la necrosis de las hojas (Trejo-Corona, 2022).

Koike y Bolda (2016), sugieren que, para el manejo fitosanitario del cultivo de fresa, se debe implementar un enfoque integral que englobe métodos químicos con sustancias orgánicas. El método más ampliamente empleado en la actualidad para control del moho gris en este cultivo se fundamenta en el uso de fungicidas a partir de químicos sintéticos, el cual representa un desafío, ya que, por su amplia diversidad estructural, toxicológica y funcional, estos productos pueden impactar a los compartimentos ambientales y organismos no objetivos de diferentes maneras y con distintos niveles de intensidad, dependiendo de las formas de uso, las características geográficas y los patrones climáticos del sitio de aplicación (Vargas González et al., 2019). Un efecto causal del uso de estos productos es la resistencia que se ha observado en el género *Botrytis* debido a su diversidad genética, y el uso frecuente de estos productos químicos repetitivamente, que promueve la aparición de dicha resistencia (Fernández-Ortuño et al., 2018). Unas alternativas sostenibles son el uso del control biológico y extractos vegetales, los cuales disminuyen la cantidad de desechos químicos, no generan resistencia, no conlleva riesgos para la salud humana y tampoco afectan a la entomofauna benéfica, además de ser de fácil implementación (Zaker, 2016; Zelaya-Molina et al., 2022; Greff et al., 2023).

Several plant extracts have been shown to have antimicrobial activity or capacity to reduce or inhibit the development of gray mold, and multiple reports indicate that they reduce the appearance of rotting in strawberries and its decomposition (Hussein and Joo, 2018).

Although the antifungal capacity of several plant extracts has been documented, the intensity of the inhibitory effect differs considerably depending on the extraction technique and methodology employed in the antifungal tests (Rattanapitigorn et al., 2006). Extracts of ginger *Zingiber officinale* Roscoe (Zingiberaceae), when tested in *in vitro* environments, have been indicated to serve as inhibitors of: *Aspergillus flavus* Link (Ascomycota), *B. cinerea*, *Monilinia fructicola* G.Winter (Ascomycota), *Fusarium oxysporum* Schltdl (Ascomycota) and *Sclerotinia sclerotiorum* Lib. (Ascomycota) (Alvarado et al., 2011; Moon et al., 2018; Hussein and Joo, 2018).

Ginger has a long history of use, ranging from infusions, spice, candies, among others, and this is because different properties are attributed to it, one of them are the antimicrobial ones. The extract of this rhizome has been evaluated as an *in vitro* treatment against phytopathogenic fungi and bacteria, yielding favorable results for considering ginger extracts or essential oils as a viable option against *Botrytis cinerea* (Hussein and Joo, 2018; Beristáin-Bauza et al., 2019). In the chemical structure of essential oils and oleoresin, molecules such as zingiberene, a predominant sesquiterpene in the oil up to 60%, as well as gingerols, shogaols, and zingerone, are found. These compounds are responsible for the spicy or pungent flavor (Mahboubi, 2019; Vega-Olmos y Escobedo-Martínez, 2022).

As mentioned above, it is necessary to promote the search for agroecological alternatives that are environmentally friendly and safe for human health, to reduce the use of chemical fungicides and avoid their negative effects. One alternative is the use of plant extracts, such as those from the ethanolic extract of ginger, for pest and disease control, as an alternative to organic and sustainable agriculture. Therefore, the objective of this research was to evaluate the fungicidal activity of different concentrations of ethanolic extract from *Z. officinale* residues against *B. cinerea*.

Materials and Methods

Two samples of ginger considered as shrinkage (rhizomes that do not meet the associated characteristics or quality parameters for export or sale in the main markets) were obtained from different areas of the municipality of Xicotepec, Puebla, Mexico: La Ceiba

Los extractos vegetales por sus diferentes compuestos fitoquímicos y en diversas concentraciones, ofrecen una amplia gama de aplicaciones en la agricultura y éstos pueden obtenerse con diferentes solventes (principalmente agua y alcoholes) (Félix, 2018; Salgado-Garciglia et al., 2019). Los principales compuestos, contenidos en extractos vegetales exhiben propiedades fungicidas o fungistáticas, lo que significa que son capaces de inhibir el crecimiento de hongos fitopatógenos o generar un entorno desfavorable para su desarrollo y reproducción en los organismos huéspedes (Zaker, 2016).

Se ha comprobado que diversos extractos vegetales poseen la capacidad o actividad antimicrobiana capaces de disminuir o inhibir el desarrollo del moho gris y múltiples reportes indican reducir la aparición de pudrición en fresas y su descomposición (Hussein y Joo, 2018).

A pesar de que se ha documentado la capacidad antifúngica de varios extractos vegetales, la intensidad del efecto inhibitorio difiere considerablemente en función de la técnica de extracción y metodología empleada en las pruebas antifúngicas (Rattanapitigorn et al., 2006). Se ha indicado que los extractos de jengibre *Zingiber officinale* Roscoe (Zingiberaceae), cuando se prueban en entornos *in vitro*, sirven como inhibidores de: *Aspergillus flavus* Link (Ascomycota), *B. cinerea*, *Monilinia fructicola* G.Winter (Ascomycota), *Fusarium oxysporum* Schltdl (Ascomycota) y *Sclerotinia sclerotiorum* Lib. (Ascomycota) (Alvarado et al., 2011; Moon et al., 2018; Hussein y Joo, 2018).

El jengibre tiene una larga historia de uso, desde infusiones, como condimento, caramelos, entre otros y esto se debe a que se le atribuyen diferentes propiedades, una de ellas son las antimicrobianas, donde se ha evaluado el extracto de este rizoma como tratamiento *in vitro* contra hongos fitopatógenos y bacterias, obteniéndose resultados favorables para considerar a los extractos o aceites esenciales del jengibre una opción viable contra *Botrytis cinerea* (Hussein y Joo, 2018; Beristáin-Bauza et al., 2019). En la estructura química de los aceites esenciales y la oleoresina, se encuentran moléculas de zingibereno, un sesquiterpeno predominante del aceite hasta en un 60 %, además de gingeroles, shogaoles y zingerona, responsables del sabor picante o de pungencia (Mahboubi, 2019; Vega-Olmos y Escobedo-Martínez, 2022).

Por lo mencionado anteriormente, es necesario promover la búsqueda de alternativas agroecológicas que sean amigables con el ambiente y la salud humana, para disminuir el uso de fungicidas químicos y evitar los efectos negativos de estos. Una alternativa es el

(20° 23' 16"N 97° 52' 53"W) and Tlaxcalantongo (20° 18' 54"N 97° 52' 22"W), which were compared to evaluate the performance of ethanolic extracts and their effectiveness on the halo of *B. cinerea*.

The samples were processed at the facilities of the Universidad Tecnológica de Xicotepéc de Juárez, Puebla. Initially, the rhizomes were cleaned and washed, followed by disinfection with a 100 ppm sodium hypochlorite solution for an immersion time of 2 to 3 minutes. Subsequently, the ginger was placed on trays with filter paper in a ventilated area at room temperature to dry. Once dry, the rhizomes were sliced to an approximate thickness of 2 to 3 mm and left to dry again. After that, with the help of a food dehydrator, the samples were fully dried at a temperature of 70 °C for 12 hours. Once completely dehydrated, the ginger was stored in Ziploc bags at room temperature.

Extraction and concentration of ginger extract

A total of 50 g of the previously dehydrated rhizome were weighed, placed in amber glass containers with a capacity of 1.2 L, and then 700 ml of 96% ethanol were added for maceration for seven days. After the resting period, the solvent was evaporated using a Rotavapor (ISSE LABS), resulting in a ginger concentrate (extract). The extracts were individually concentrated using a Rotavapor at 60 °C, while applying a vacuum with a pump. In this concentration process, it took 40 minutes to obtain 20 ml of La Ceiba extract and 19 ml of Tlaxcalantongo extract (Figure 1).

Isolation and purification of *B. cinerea*

Strawberries with signs of gray mold disease were collected, and using a bacteriological loop, they were

used of the vegetable extracts, such as those from the ethanolic extract of ginger for the control of pests and diseases, as an alternative to organic and sustainable agriculture. For the previous, the objective of the present investigation was to evaluate the fungicidal activity of different concentrations of ethanolic extract from residues of *Z. officinale* against *B. cinerea*.

Materiales y métodos

Se obtuvieron dos muestras de jengibre consideradas como mermas (rizomas que no cumplen con las características o parámetros de calidad asociados para su exportación o venta en los principales mercados), provenientes de zonas diferentes del municipio de Xicotepéc, Puebla, México: La Ceiba (20° 23' 16"N 97° 52' 53"O) y Tlaxcalantongo (20° 18' 54"N 97° 52' 22"O), las cuales fueron comparadas para evaluar el rendimiento de los extractos etanólicos y su efectividad sobre el halo de crecimiento de *B. cinerea*.

Las muestras fueron procesadas en las instalaciones de la Universidad Tecnológica de Xicotepéc de Juárez, Puebla. Inicialmente se realizó la limpieza y lavado de los rizomas, después la desinfección con solución de hipoclorito de sodio a 100 ppm por un tiempo de inmersión de 2 a 3 min, consecutivamente el jengibre fue colocado sobre charolas con papel filtro en un sitio ventilado a temperatura ambiente para secarse. Una vez seco, los rizomas se cortaron en rodajas de un espesor aproximado de 2 a 3 mm, para dejarlo secar nuevamente. Después, con ayuda de un deshidratador de alimentos, se terminaron de secar las muestras a una temperatura de 70 °C durante 12 h ya totalmente deshidratado el jengibre, se guardó en bolsas tipo ziploc a temperatura ambiente.



Figure 1. Ginger ethanolic extract from La Ceiba and Tlaxcalantongo, Puebla.
Figura 1. Extracto etanólico de jengibre de La Ceiba y Tlaxcalantongo, Puebla.

inoculated onto Petri dishes with Potato Dextrose Agar (PDA). The dishes were then incubated at a temperature of 27 °C in complete darkness for a period of six days until sporulation. Subsequently, macroscopic observations were carried out to identify colonies in the dishes, and a sample was extracted for individual cultivation using the mycelial disc technique.

Evaluation of mycelial growth inhibition

In order to analyze the inhibition capacity of the ginger extracts obtained (La Ceiba and Tlaxcalantongo), different concentrations (1, 3, and 5 % v/v) were dissolved with ethanol.

In a Petri dish with *B. cinerea* isolate, four sterile filter paper discs were placed at a distance of 25 mm from the central point of the dish. These discs were previously saturated with the concentrations and were kept in incubation at a temperature of 27 °C in complete darkness. The development of the mycelium was monitored from the arrangement of the discs until it colonized the center of the dish. Once the growth area reached a diameter of 5 to 10 mm within a period of four days (96 h), the diameter of the halo (fungal growth) was measured using calipers.

Experimental Design and Statistical Analysis

A completely randomized experimental design was used, consisting of seven treatments: a commercial product (Captan 50 WP, used as a control), where its active ingredient is CAPTAN: N-trichloromethylthio-4-cyclohexene-1,2-dicarboximide and three concentrations of ginger extract from each zone (1, 3, and 5 % v/v) and five replicates were used for each treatment. The calculation of the arithmetic mean and standard deviation of the different results was considered, the comparison of means was performed by analysis of variance (ANOVA) and the separation of means was performed with Tukey's test ($P < 0.05$). For the above, the information was analyzed with the statistical software R version 4.2.1 (2022).

Obtención y concentración del extracto de jengibre

Se pesaron 50 g del rizoma previamente deshidratado, se colocó en frascos de vidrio ámbar con capacidad de 1.2 L y posteriormente se adicionaron 700 ml de etanol al 96 % para su maceración durante siete días. Transcurrido el tiempo de reposo, se evaporó el solvente mediante el uso de un Rotavapor (ISSE LABS), se obtuvo un concentrado de jengibre (extracto). Los extractos se concentraron de manera individual utilizando un Rotavapor a 60 °C, mientras se aplicaba el vacío con una bombilla. Durante este proceso de concentración, se necesitaron 40 min para obtener 20 ml de extracto de La Ceiba y 19 ml de extracto de Tlaxcalantongo (Figura 1).

Aislamiento y purificación de *B. cinerea*

Se colectaron fresas que presentaron signos de la enfermedad del moho gris y con la ayuda de un asa bacteriológica se inocularon cajas Petri con Agar Papa Dextrosa (PDA) y se incubaron a una temperatura de 27 °C en completa oscuridad durante un período de seis días hasta que se produjo la esporulación. Posteriormente, se llevaron a cabo observaciones macroscópicas para identificar las colonias en las cajas, y se extrajo una muestra para sembrarlas de forma individual utilizando la técnica de discos de micelio.

Evaluación de la inhibición de crecimiento micelial

Con el objetivo de analizar la capacidad de inhibición de los extractos de jengibre obtenidos (La Ceiba y Tlaxcalantongo), se realizaron disoluciones con etanol, se propusieron diferentes concentraciones (1, 3, y 5 % v/v).

En una caja de Petri con aislado de *B. cinerea*, se colocaron cuatro discos de papel filtro estéril, a una distancia de 25 mm desde el punto central de la caja. Estos discos se saturaron previamente con las concentraciones y se mantuvieron en incubación a temperatura de 27 °C y en completa oscuridad. Se realizó un seguimiento del desarrollo del micelio desde la dispo-

Table 1. Formulations containing ginger extract from two different locations.
Cuadro 1. Tratamientos formulados con extracto de jengibre de dos localidades.

La Ceiba Ginger Extract (CGE) / Extracto de Jengibre La Ceiba (EJC)		Tlaxcalantongo Ginger Extract (TGE) / Extracto de Jengibre Tlaxcalantongo (EJT)	
Control commercial product / Testigo producto comercial	CP		
Treatment 2 / Tratamiento 2	CGE 1 %	Treatment 5 / Tratamiento 5	TGE 1 %
Treatment 3 / Tratamiento 3	CGE 3 %	Treatment 6 / Tratamiento 6	TGE 3 %
Treatment 4 / Tratamiento 4	CGE 5 %	Treatment 7 / Tratamiento 7	TGE 5 %

Table 1 shows the treatments used in this research with their respective coding.

Results and Discussion

The ginger extracts had an amber-reddish color (Figure 1), as well as an intense pungent odor, these characteristics were similar to those reported in the literature, which has been found in the essential oils of the rhizome and is mainly given by molecules such as zingiberene, being a sesquiterpene the predominant component of the oil up to 60 % and other compounds such as zingiberol, gingerols, shogaols and zingerone, while the yellow color is generated by the molecule 6-gingerol (Rai et al., 2006; Mahboubi, 2019; Vega-Olmos and Escobedo-Martínez, 2022).

Figure 2 shows the characteristics such as the color and shape of *B. cinerea* growth, at the macroscopic level, from which the hyphae or inoculum were obtained for the different treatments. The image shows the light gray color of the conidiophores which, after some time had elapsed, developed and turned dark gray (Agrios, 2005; Bi et al., 2023).

Table 2 shows the average values of the diameter of the halo of *B. cinerea* in response to different treatments with extracts obtained from La Ceiba and Tlaxcalantongo. Significant differences ($P < 0.05$) were observed among the treatment groups in the experiment. The results indicate a lower mycelial growth in the treatments with higher concentrations (3 and 5 %) of La Ceiba and Tlaxcalantongo extracts compared to

sición de los discos hasta que colonizó el centro de la caja, una vez cuando el área de crecimiento alcanzó un diámetro de 5 a 10 mm en un período de cuatro días (96 h), se realizó la medición del diámetro del halo (crecimiento fúngico) con la ayuda de un vernier.

Diseño experimental y análisis estadístico

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar, que constó de siete tratamientos: un producto comercial (Captán 50 WP, utilizado como testigo), donde su ingrediente activo es CAPTÁN: N-triclorometiltio-4-ciclohexeno-1,2-dicarboximida y tres concentraciones del extracto de jengibre de cada zona (1, 3, y 5 % v/v) y se utilizaron cinco repeticiones por cada tratamiento. Se consideró el cálculo de la media aritmética y la desviación estándar de los diferentes resultados, la comparación de medias se realizó mediante un análisis de varianza (ANOVA) y la separación de medias se realizó con la prueba de Tukey ($P < 0.05$). Para lo anterior, la información se analizó con el software estadístico R versión 4.2.1 (2022).

En el Cuadro 1, se presentan los tratamientos utilizados en esta investigación con su respectiva codificación.

Resultados y discusión

Los extractos de jengibre presentaron un color ámbar-rojizo (Figura 1), así como también un olor intenso picante, estas características fueron similares a las reportadas en la literatura, lo cual se ha encontrado en los aceites esenciales del rizoma y es otorgado

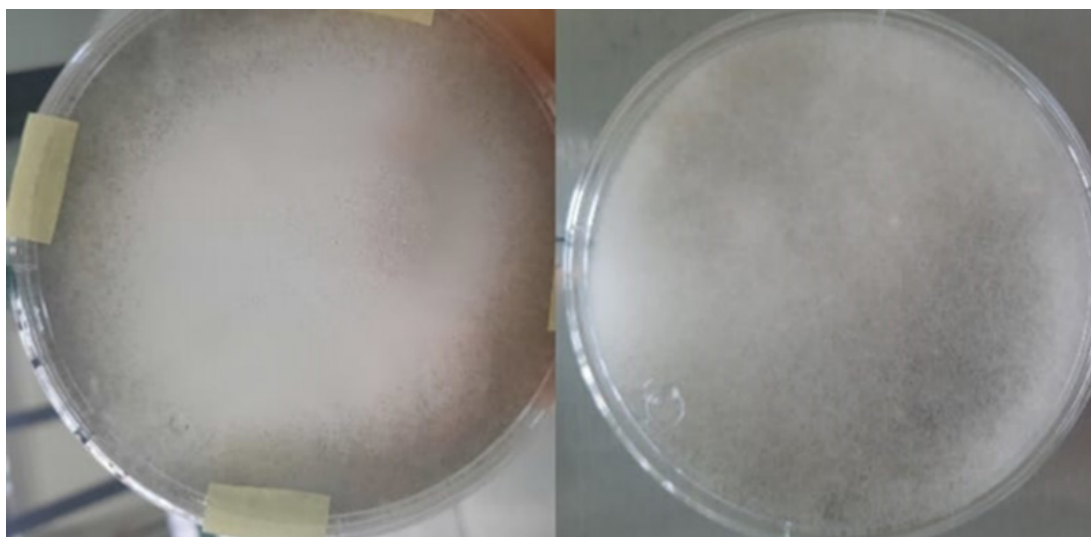


Figure 2. Isolation and sporulation of *B. cinerea* from strawberry crops.
Figura 2. Aislamiento y esporulación de *B. cinerea* de cultivos de fresa.

Table 2. Diameter of the *B. cinerea* halo per day.
Cuadro 2. Diámetro del halo de crecimiento de *B. cinerea* por día.

Treatment / Tratamiento	<i>B. cinerea</i> halo averages (diameter in mm) per day / Medias del halo de crecimiento de <i>B. cinerea</i> (diámetro en mm) por día				
	0	1	2	3	4
CP / PC	5	8.26 ± 0.7 ^c	15.50 ± 0.5 ^d	19.3 ± 1.0 ^d	20.28 ± 0.6 ^e
CGE1 / EJC1	10	30.18 ± 4.0 ^a	40.98 ± 1.0 ^a	56.68 ± 5.3 ^a	72.20 ± 6.5 ^a
CGE3 / EJC3	10	25.56 ± 6.0 ^{ab}	35.88 ± 2.9 ^{abc}	56.60 ± 9.6 ^a	63.26 ± 8.4 ^{ab}
CGE5 / EJC5	10	19.52 ± 2.2 ^b	26.40 ± 3.4 ^{cd}	37.14 ± 1.4 ^c	44.90 ± 1.2 ^{cd}
TGE1 / EJT1	10	28.22 ± .9 ^{ab}	39.42 ± 11.9 ^{ab}	51.16 ± 5.5 ^{ab}	71.24 ± 10.2 ^a
TGE3 / EJT3	10	28.38 ± 8.2 ^{ab}	34.44 ± 7.3 ^{abc}	42.56 ± 4.3 ^{bc}	54.38 ± 2.3 ^{bc}
TGE5 / EJT5	10	19.26 ± 4.3 ^b	28.86 ± 3.0 ^{bc}	35.82 ± 4.0 ^c	39.92 ± 3.6 ^d

Note: Different letters in an identical column indicate significant differences ($P < 0.05$). CP: commercial product. CGE: La Ceiba ginger extract, TGE: Tlaxcalantongo ginger extract.

Nota: Letras distintas en una columna idéntica señalan diferencias significativas ($P < 0.05$). PC: producto comercial. EJC: Extracto de Jengibre la Ceiba, EJT: Extracto de Jengibre Tlaxcalantongo.

the lower concentration extracts (CGE 1 % and TGE 1 %). In the latter, the diameter of the fungal halo exceeded the discs soaked with the extract at a concentration of 1 %, with diameter values around 71 and 72 mm approximately in both treatments after four days.

Figure 3 shows the zone of inhibition induced by *B. cinerea*. Figures 3a and 3b are from the *in vitro* evaluation with the commercial product as the control in the experiment. In these results, the zone of inhibition was significantly smaller (around 20 mm after four days). Meanwhile, Figure 3c represents the *in vitro* evaluation with the TGE 5 % treatment, where the fungus halo assay was maintained at approximately 39 to 44 mm after four days.

Figure 4 shows the different sigmoid curves presented by the *in vitro* growth of *B. cinerea* in the different treatments with CP and ginger extracts at different concentrations. It is also noted that in the case of both treatments at a concentration of 1 %, the largest mycelial growth diameters were observed. On the other hand, in the cases of CGE 5 % and TGE 5 %, a better inhibition of halo is highlighted, which indicates a significant reduction in mycelial growth, suggesting a greater control over the expansion and colonization of the fungus *in vitro*. Regarding the results obtained with the CP treatment, where the zone of inhibition was more evident, the control was greater due to the different compounds of chemical synthesis.

In the literature, the main chemical compounds (carbohydrates, crude fiber, protein, minerals, lipids or essential oils, etc.) of ginger rhizome have been reported,

principalmente por moléculas como el zingibereno, siendo un sesquiterpeno el componente predominante del aceite hasta en un 60 % y otros compuestos como el zingiberol, gingeroles, shogaoles y zingerona, mientras que, el color amarillo es generado por la molécula 6-gingerol (Rai et al., 2006; Mahboubi, 2019; Vega-Olmos y Escobedo-Martínez, 2022).

En la Figura 2, se pueden observar las características como el color y forma del crecimiento del hongo *B. cinerea*, a nivel macroscópico, de donde se obtuvieron las hifas o el inóculo para los diferentes tratamientos, en la imagen se observa el color gris claro de los conidióforos que, al transcurrir el tiempo se desarrollaron y se tornaron en un gris oscuro (Agris, 2005; Bi et al., 2023).

En el Cuadro 2, se muestran los valores promedio del diámetro del halo de crecimiento de *B. cinerea* en respuesta a los distintos tratamientos con extractos obtenidos de La Ceiba y Tlaxcalantongo, donde se observan los valores promedio, en los que se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los tratamientos del experimento. Los resultados muestran un menor crecimiento micelial en los tratamientos de las concentraciones más elevadas (3 y 5 %) de extracto de La Ceiba y Tlaxcalantongo, comparado con los extractos de menor concentración (EJC 1 % y EJT 1 %), donde los diámetros del halo de crecimiento del hongo superaron los discos impregnados con dicho extracto a su concentración de 1 %, obteniéndose valores del diámetro a los cuatro días de 71 y 72 mm aproximadamente en ambos tratamientos.

En la Figura 3, se observan los halos de crecimiento que se generaron por *B. cinerea*, la Figura 3a y b son

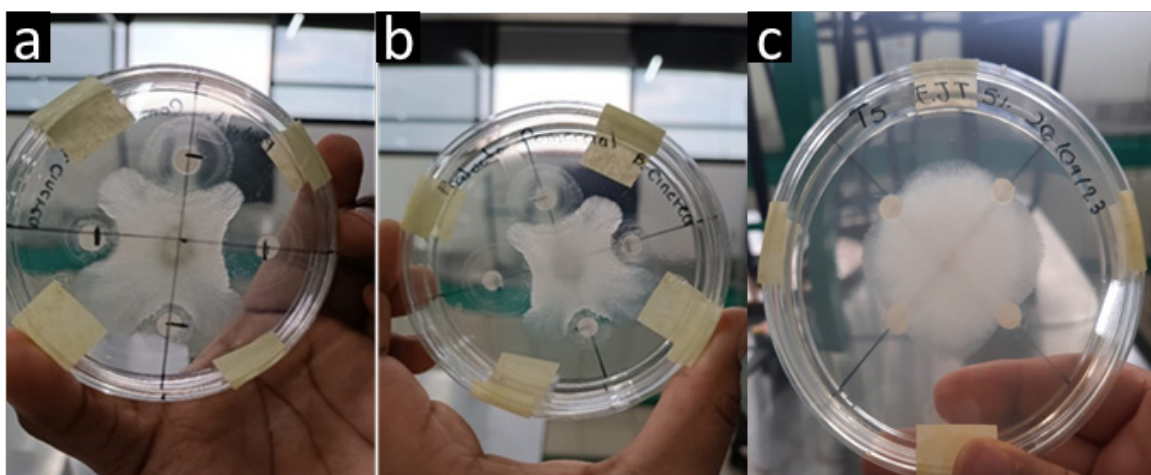


Figure 3. Zone of inhibition of the CP treatment (a and b), halo assay of TGE 5 % (c).
Figura 3. Halos de inhibición del tratamiento de PC (a y b), halo de crecimiento de EJT 5 % (c).

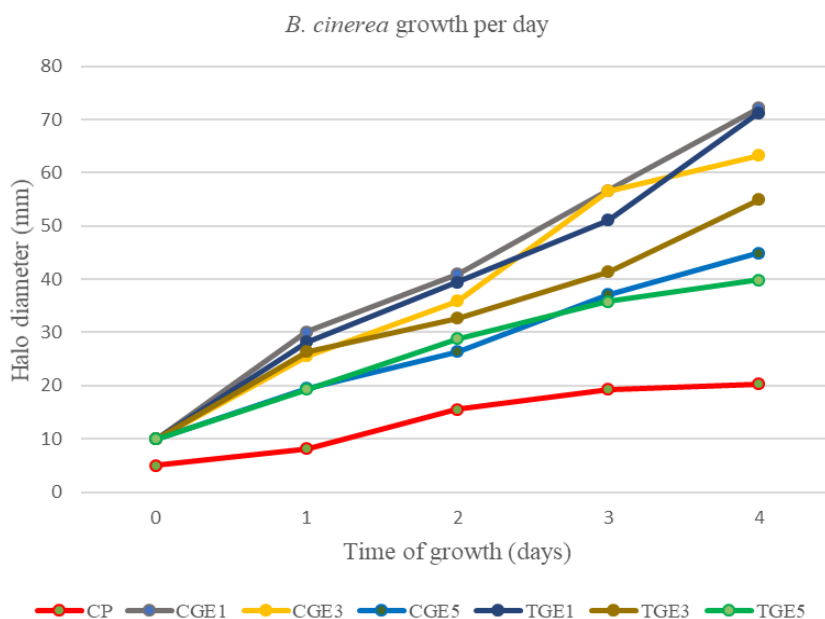


Figure 4. *In vitro* growth of *B. cinerea* per day, in the different treatments with ginger extract.
Figura 4. Crecimiento *in vitro* de *B. cinerea* por día, en los diferentes tratamientos con extracto de jengibre.

as well as their different applications (Hussein and Joo, 2018; Mahboubi, 2019; Vega-Olmos and Escobedo-Martínez, 2022). However, for this type of research their value lies in the properties of their essential oils or oleoresin that can be obtained by different methods of extraction of these components. It has also been pointed out that the quality and characteristics of the extracts vary depending on the extraction method and whether a fresh or dehydrated sample is used (Beristain-Bauza et al., 2019; Trejo-Corona, 2022). It has been reported that dried ginger extractions present higher properties in its oils, as it has been observed

imágenes de la evaluación *in vitro* con el producto comercial como testigo o control del experimento, en tales resultados se notó que los diámetros del halo de crecimiento fueron significativamente más pequeños y claramente notorios de la inhibición (alrededor de 20 mm después de cuatro días). Mientras que, en la Figura 3c fue la evaluación *in vitro* con el tratamiento EJT 5 %, donde se logró mantener el halo de crecimiento del hongo alrededor de 39 a 44 mm a los cuatro días.

En la Figura 4, se muestran las diferentes curvas sigmoideas que presentó el crecimiento *in vitro* de

that different drying methods transform compounds such as shogaols into zingeronas, thereby enhancing antioxidant properties through the concentration of phenolic compounds (Beristain-Bauza et al., 2019; Mao et al., 2019). According to that reported in literature, in this study we chose to work with dehydrated ginger to preserve this raw material for a longer period and facilitate its storage.

Trejo-Corona (2022) obtained ethanolic extracts of fresh and dried ginger; in his evaluation he mentions that the inhibition of mycelial growth of *B. cinerea in vitro* were greater than 50 % when using dried ginger extracts at concentrations of 1, 2 and 4 % v/v, where the 4 % concentration was the best for inhibiting mycelial growth with around 92 % inhibition.

Furthermore, it has been reported that ginger essential oils possess effective antimicrobial properties against phytopathogenic fungi, successfully inhibiting species such as *Alternaria panax* Whetzel (Ascomycota), *B. cinerea*, *Cylindrocarpon destructans* (Zinssm.) Scholten (Ascomycota), *Fusarium oxysporum*, *Sclerotinia sclerotiorum* and *Sclerotinia nivalis* I. Saito (Ascomycota), when used at concentrations of 0.3 % v/v. This supports the idea that ginger essential oil could be considered a valuable source of antimicrobial agents for controlling rot-causing fungi (Hussein & Joo, 2018).

Conclusions

The results obtained demonstrate that ginger extract (*Z. officinale*), at a concentration of 5%, has the ability to inhibit the *B. cinerea* halo assay. CGE 5% and TGE 5% treatments were found to be the most effective in controlling the mycelium growth of the phytopathogenic fungus compared to lower concentration treatments.

The findings of this research indicate that ginger extracts have fungicidal potential and can be used in the development of environmentally friendly products, thereby reducing the use of synthetic agrochemicals such as the one used in this study (Captan 50 WP). This contributes to the search for low-cost and environmentally sustainable agroecological alternatives in agriculture.

Moreover, this research confirms the use of ginger rhizome as an important raw material for obtaining extracts or essential oils with antifungal effects. It is important to highlight that the results obtained from the evaluation of extracts from both La Ceiba and Tlaxcalantongo, Puebla, at different concentrations were derived from plant materials that are considered waste or leftovers from rhizomes that do not meet the quality parameters associated with export or sale in

B. cinerea, de los diferentes tratamientos con el PC y los extractos de jengibre en sus diferentes concentraciones. Se nota también, que en el caso de ambos tratamientos a concentración del 1 %, se observaron los mayores diámetros de crecimiento del micelio. Por otro lado, en los casos de EJC 5 % y EJT 5 %, se destaca una mejor inhibición del halo de crecimiento, lo que indica una reducción significativa en el crecimiento del micelio, esto sugiere un mayor control sobre la expansión y colonización del hongo *in vitro*. Con respecto a los resultados obtenidos en el tratamiento de PC, donde los halos de inhibición fueron más evidentes, el control fue mayor debido a los diferentes compuestos de síntesis química.

En la literatura, se han reportado los principales compuestos químicos (carbohidratos, fibra cruda, proteína, minerales, lípidos o aceites esenciales, etc.) del rizoma de jengibre, así como sus diferentes aplicaciones (Hussein y Joo, 2018; Mahboubi, 2019; Vega-Olmos y Escobedo-Martínez, 2022). Sin embargo, para este tipo de investigaciones su valor radica en las propiedades de sus aceites esenciales o la oleoresina que se pueda obtener mediante diferentes métodos de extracción de dichos componentes. También se ha señalado que la calidad y características de los extractos varían en función del método de extracción y si se utiliza una muestra fresca o deshidratada (Beristain-Bauza et al., 2019; Trejo-Corona, 2022). Se ha informado que las extracciones de jengibre seco presentan propiedades superiores en sus aceites, ya que se ha observado que diversos métodos de secado transforman compuestos como los shogaols en zingeronas, así como se mejoran las propiedades antioxidantes por la concentración de compuestos fenólicos (Beristain-Bauza et al., 2019; Mao et al., 2019). De acuerdo con lo reportado en literatura, en este estudio se optó por trabajar con jengibre deshidratado como una forma de preservar esta materia prima por un periodo más prolongado y facilitar su almacenamiento.

Trejo-Corona (2022), obtuvo extractos etanólicos de jengibre fresco y seco; en su evaluación menciona que la inhibición del crecimiento micelial de *B. cinerea in vitro* fueron mayores al 50 % al utilizar extractos de jengibre seco en concentraciones de 1, 2 y 4 % v/v, donde la concentración al 4 % fue la mejor para inhibir el crecimiento del micelio con alrededor de 92 % de inhibición.

Asimismo, se ha reportado que los aceites esenciales de jengibre tienen propiedades antimicrobianas efectivas contra hongos fitopatógenos, logrando inhibir por completo a especies como: *Alternaria panax* Whetzel (Ascomycota), *B. cinerea*, *Cylindrocarpon destructans* (Zinssm.) Scholten (Ascomycota), *Fusarium oxysporum*,

major domestic markets. This generates a reevaluation of this crop. In this context, the research provides valuable contribution to ginger farmers, promoting the use of these natural extracts to reduce the indiscriminate application of synthetic agrochemicals and promote sustainable agricultural practices.

End of English version

References / Referencias

- Aguilar González, X., Ronquillo Cedillo, I., Ávila Nájera, D. M., Rodríguez Hernández, C., Pedraza Mandujano, J., y Martínez Jiménez, D. L. (2021). Riesgos a la salud por el uso de herbicidas. *Producción Agropecuaria y Desarrollo Sostenible*, 10 (1), 23-33. <https://doi.org/10.5377/payds.v10i1.13341>
- Agrios, G. N. (2005). *Plant pathology*. Academic Press. University of Florida. <http://doi.org/10.1016/C2009-0-02037-6>
- Ajayi Oyetunde, O. O., & Bradley, C. A. (2018). *Rhizoctonia solani*: taxonomy, population biology and management of rhizoctonia seedling disease of soybean. *Plant pathology*, 67(1), 3-17.
- Alvarado, A., Barrera, L., Hernández, A., y Velázquez, M. (2011). Actividad antifúngica del quitosano y aceites esenciales sobre *Rhizopus stolonifer* (Ehreb.: Fr.) Vuill., agente causal de la pudrición blanda del tomate. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 13(2), 127-134.
- Antunes, M. D. C., & Cavaco, A. M. (2010). The use of essential oils for postharvest decay control. *Flavour and Fragrance Journal*, 25(5), 351-366. <https://doi.org/10.1002/ffj.1986>
- Aslam, S., Tahir, A., Aslam, M. F., Alam, M. W., Shedayi, A. A., & Sadia, S. (2017). Recent advances in molecular techniques for the identification of phytopathogenic fungi—a mini review. *Journal of Plant Interactions*, 12(1), 493-504. <https://doi.org/10.1080/17429145.2017.1397205>
- Beristain Bauza, S., Hernández Carranza, P., Cid Pérez, T., Ávila Sosa, R., Ruiz López, I., & Ochoa Velasco, C. (2019). Antimicrobial activity of ginger (*Zingiber officinale*) and its application in food products. *Food Reviews International*, 35(5), 407-426. <https://doi.org/10.1080/87559129.2019.1573829>
- Bi, K., Liang, Y., Mengiste, T., & Sharon, A. (2023). Killing softly: A roadmap of *Botrytis cinerea* pathogenicity. *Trends in plant science*, 28(2), 211-222.
- Castro Martínez, O. R., Robledo y Monterrubio, M. S., y Arias Velázquez, H. F. (2022). El Centro de Investigación en Biología, Educación Ambiental y Agricultura Orgánica: reestructuración y resultados. En Castro-Martínez, O. R.; Rivera Ramírez, J. M. y Fontalvo Buelvas, J. C. (coord.). (pp. 21-38.) Universidad Autónoma Chapingo.
- DANE. (2014). Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas. Principales enfermedades causadas por hongos en hortalizas, durante la temporada de lluvia. *Insumos y factores asociados a la producción*
- Sclerotinia sclerotiorum* y *Sclerotinia nivalis* I. Saito (Ascomycota), cuando se utilizan en concentraciones de 0.3 % v/v. Lo anterior respalda la idea de que el aceite esencial de jengibre podría considerarse como una valiosa fuente de agentes antimicrobianos para controlar los hongos de la pudrición (Hussein & Joo, 2018).

Conclusiones

Los resultados obtenidos muestran que el extracto de jengibre *Z. officinale*, a una concentración del 5 %, posee la capacidad de inhibir el halo de crecimiento del hongo *B. cinerea*. Los tratamientos EJC 5 % y EJT 5 % mostraron ser los más efectivos para controlar el crecimiento del micelio del hongo fitopatógeno comparado con los tratamientos de menor concentración.

Los hallazgos de esta investigación indican que los extractos de jengibre tienen potencial fungicida y pueden ser utilizados en el desarrollo de productos de bajo impacto al ambiente, al disminuir así el uso de agroquímicos sintéticos como el utilizado en esta investigación (Captán 50 WP) y contribuir en la búsqueda de alternativas agroecológicas de bajo costo y de impacto en la agricultura sustentable.

Asimismo, la presente investigación corrobora el uso del rizoma de jengibre como una materia prima importante para obtener extractos o aceites esenciales capaces de tener efectos antifúngicos, sin embargo, es importante resaltar que en los resultados obtenidos de la evaluación de los extractos tanto de La Ceiba como de Tlaxcalantongo, Puebla, en sus diferentes concentraciones fueron obtenidos a partir de materiales vegetales que ya son de desecho o mermas de aquellos rizomas que no cumplen con las características o parámetros de calidad asociados para su exportación o venta en los principales mercados nacionales, de esta manera se genera un revalorización de este cultivo. En este sentido la investigación es un aporte de interés para los agricultores de este cultivo, así como el uso de estos extractos naturales para tratar de disminuir la aplicación desmedida de agroquímicos sintéticos y coadyuvar a una agricultura sustentable.

Fin de la versión en español

- agropecuaria. Recuperado de: https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/insumos_factores_de_produccion_nov_2014.pdf
- Elad, Y., Pertot, I., Cotes, A., Stewart, A. M., & Stewart, A. (Eds.). (2015). Plant Hosts of *Botrytis* spp. *The fungus, the pathogen and its management in agricultural systems*, 413–486. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-23371-0_20
- Félix, I. (2018). Uso de Extractos Vegetales en el sector agrícola. *Fagro*. Recuperado de: <https://blogdefagro.com/2018/02/28/extractos-vegetales>
- Fernández Ortuño, D., Pérez García, A., Torés, J. A., y de Vicente, A. (2017). Resistencia a múltiples fungicidas en *Botrytis cinerea* en fresa. *Agrícola Vergel*, 405, 327-330.
- Fernández-Ortuño, D., Vielba-Fernández, A., Pérez-García, A., Torés, J. A., & de Vicente, A. (2018). First Report of Fenpyrazamine Resistance in *Botrytis cinerea* from Strawberry Fields in Spain. *Plant Health Progress*, 19(1), 45-45. <https://doi.org/10.1094/PHP-12-17-0075-BR>
- Flores Villegas, M. Y., Gonzales Laredo, R. F., Pompa García, M., Ordaz Díaz, L. A., Prieto Ruíz, J. Á., y Dominguez Calleros, P. A. (2019). Uso de plaguicidas y nuevas alternativas de control en el sector forestal. *Foresta Veracruzana*, 21(1), 29-38.
- García Romero, I. A., (2019). Genómica de hongos fitopatógenos como herramienta para el desarrollo de estrategias de manejo. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 21(2), 3-5. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v21n2.84132>
- Greff, B., Sáhó, A., Lakatos, E., & Varga, L. (2023). Biocontrol activity of aromatic and medicinal plants and their bioactive components against soil-borne pathogens. *Plantprivs*, 12(4), 706. <https://doi.org/10.3390/plants12040706>
- Hussein, K. A., & Joo, J. H. (2018). Antifungal activity and chemical composition of ginger essential oil against ginseng pathogenic fungi. *Current research in environmental and applied mycology*, 8(2), 194-203. doi 10.5943/cream/8/2/4
- Ibarra Vrska, I. P. (2019). Regenerative agriculture and the problem of sustainability. Contributions for a discussion. *Textual*, 74, 51-85. doi: 10.5154/r.textual.2019.74.02
- Koike, S. T., y Bolda, M. (2016). El moho gris o pudrición de fresa. California Strawberry Commission.
- Mahboubi, M. (2019). *Zingiber officinale* Rosc. essential oil, a review on its composition and bioactivity. *Clinical Phytoscience*, 5(1), 1-12. <https://doi.org/10.1186/s40816-018-0097-4>
- Mao, Q. Q., Xu, X. Y., Cao, S. Y., Gan, R. Y., Corke, H., Beta, T., & Li, H. B. (2019). Bioactive compounds and bioactivities of ginger (*Zingiber officinale* Roscoe). *Foods*, 8(6), 185. <https://doi.org/10.3390/foods8060185>
- Moon, Y. S., Lee, H., Lee, H. S., & Lee, S. E. (2018). Inhibitory effects of three monoterpenes from ginger essential oil on growth and aflatoxin production of *Aspergillus flavus* and their gene regulation in aflatoxin biosynthesis. *Applied Biological Chemistry*, 61(2), 243–250. <https://doi.org/10.1007/s13765-018-0352-x>
- Nakajima, M., y Akutsu, K. (2014). Virulence factors of *Botrytis cinerea*. *Journal of General Plant Pathology*, 80, 15-23. <https://doi.org/10.1007/s10327-013-0492-0>
- Pérez López, E., Waldner, M., Hossain, M., Kusalik, A. J., Wei., Bonham-Smith, P. C., & Todd, C. D. (2018). Identification of *Plasmodiophora brassicae* effectors. A challenging goal. *Virulence*, 9(1), 1344-1353. doi: 10.1080/21505594.2018.1504560
- Priyashantha, A. K. H., Karunaratna, S. C., Lu, L., & Tibpromma, S. (2023). Fungal Endophytes: An Alternative Biocontrol Agent against Phytopathogenic Fungi. *Encyclopedia*, 3(2), 759-780. <https://doi.org/10.3390/encyclopedia3020055>
- Rai, S., Mukherjee, K., Mal, M., Wahile, A., Saha, B. P., & Mukherjee, P. K. (2006). Determination of 6-gingerol in ginger (*Zingiber officinale*) using high-performance thin-layer chromatography. *Journal of separation science*, 29(15), 2292-2295. <https://doi.org/10.1002/jssc.200600117>
- Rattanapitigorn, P., Arakawa, M., & Tsuru, M. (2006). Vanillin enhances the antifungal effect of plant essential oils against *Botrytis cinerea*. *International Journal of Aromatherapy*, 16, 193–198. <https://doi.org/10.1016/j.ijat.2006.09.003>
- Restrepo, J. E., Peñaranda, E., Jimenez, A., Galindo, J., Rivero, M., Jimenez, y Guerrero, M. (2012). Manejo fitosanitario del cultivo de hortalizas. Instituto Colombiano Agropecuario.
- Romanazzi, G., & Feliziani, E. (2014). *Botrytis cinerea* (Gray Mold). Postharvest Decay: Control Strategies (pp. 131-146). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-411552-1.00004-1>
- Salazar Magallón, J. A., Somoza Vargas, C. E., Pérez Armendáriz, B., Velásquez Soriano, M., Torres García, G., Huerta de la Peña, A., y Ortega Martínez, L. D. (2017). Uso y manejo de plaguicidas en diferentes sistemas de producción de fresa en México. *Producción Agropecuaria y Desarrollo Sostenible*, 6, 27-42
- Salgado Garciglia, R., Pérez López, H., García-Munguía, A., y Loeza Lara, P. (2019). Extractos vegetales: una fuente importante de compuestos naturales bioplaguicidas. *Alter, Enfoques Críticos*, 10(20), 17-27.
- SAGARPA. (2017). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/257075/potencialFresa.pdf>
- Sharma, N., & Gautam, A. K. (2019). Early Pathogenicity events in Plant Pathogenic Fungi: A Comprehensive Review. *Biological Forum – An International Journal*, 11(1), 24-34.
- SADER, 2023. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (24 de octubre de 2023) *Cultivando el Futuro: Agricultura Sostenible y Sustentable*. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/cultivando-el-futuro-agricultura-sostenible-y-sustentable?idiom=es>
- Taborda Andrade, L. A., Sánchez Orozco, M. S., Bonilla Correa, C. R., y Huertas Davey, C. (2015). Efecto fungistático de extractos y aceites esenciales de *Lippia origanoides* HBK y *Thymus vulgaris* L. como alternativas de manejo de *Botrytis cinerea* en fresa. *Acta Agronómica*, 64(1), 93-99. <https://doi.org/10.15446/acag.v64n1.35773>

- Terrones Salgado, J., Nieto Ángel, D., Nava Díaz, C., Téliz Ortiz, D., García Velasco, R., Vallejo Pérez, M. R., y Sánchez García, P. (2019). *Botrytis cinerea* causante del moho gris en frutos de zarzamora en México. *Revista mexicana de fitopatología*, 37(3), 365-382. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1906-1>
- Trejo Corona, C. N. (2022). *Uso de extracto de jengibre Zingiber officinale y quitosano para el control de Botrytis cinerea*. [Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Aguascalientes]. <http://bdigital.dgse.uaa.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/11317/2335/457388.pdf?sequence=1>
- Vargas González, G., Vicente de Paul Álvarez, R., Guigón López, C., Cano Ríos, P., y García Carrillo, M. (2019) Impacto ambiental por el uso de plaguicidas en tres áreas de producción de melón en la Comarca Lagunera, México. *Ciencia UAT*, 13 (2), 113-127 <https://doi.org/10.29059/cienciauat.v13i2.1141>
- Vega Olmos, J. Z., y Escobedo Martínez, C. (2022). Una revisión literaria sobre usos y farmacología del jengibre (*Zingiber officinale* Roscoe). *Jóvenes en la ciencia*, 16, 1-7.
- Williamson, B., Tudzynski, B., Tudzynski, P., & Van Kan, J. (2007). *Botrytis cinerea*: the cause of grey mould disease. *Molecular Plant Pathology*, 8(5), 561-580. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2007.00417.x>
- Zaker, M. (2016). Natural plant products as eco-friendly fungicides for plant diseases control. *The Agriculturists*, 14(1), 134-141. <https://doi:10.3329/agric.v14i1.29111>
- Zelaya Molina, L. X., Chávez Díaz, I. F., de los Santos Villalobos, S., Cruz Cárdenas, C. I., Ruíz Ramírez, S., y Rojas Anaya, E. (2022). Control biológico de plagas en la agricultura mexicana. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13(27), 69-79. <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i27.3251>