



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL LITORAL
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

Tesis

Para optar al grado académico de
Doctora en Ciencias Agrarias

**EVALUACIÓN DE BIOPRODUCTOS PROVENIENTES DE DESECHOS
AGROPECUARIOS Y ESPECIES VEGETALES ANTIFÚNGICAS SOBRE
PARÁMETROS PRODUCTIVOS Y SANITARIOS EN CULTIVOS DE FRUTILLAS**

Lic. Gisela M. Seimandi

Director: Dr. Marcos G. Derita

Co-directora: Dra. Silvia del C. Imhoff

Esperanza (Santa Fe), 2026

Agradecimientos

Al CONICET por la beca otorgada para realizar el doctorado y por el financiamiento brindado para el desarrollo del mismo.

A la Universidad Nacional del Litoral por permitirme realizar mis estudios de grado y postgrado.

A la Facultad de Ciencias Agrarias (FCA-UNL) y al Instituto de Ciencias Agropecuarias del Litoral (ICiAgro Litoral CONICET-UNL) por brindarme el espacio y los recursos necesarios para el desarrollo del doctorado.

A mi director Marcos por el acompañamiento y por sus enseñanzas durante todo el proceso.

A mi familia y amigos por el apoyo brindado, tanto en lo académico como en lo emocional.

A los docentes de la FCA por sus aportes académicos en las diferentes instancias y temáticas que involucraron a este doctorado.

A la Facultad de Química de la Universidad de La República (Montevideo, Uruguay) por recibirme en sus instalaciones para enriquecer esta investigación, y a las docentes Silvana Vero y Gabriela Garmendia por compartir sus conocimientos para fortalecer mi formación.

A la AUGM por la beca otorgada para mi estadía en Montevideo.

A los productores que me facilitaron los insumos para la formulación de los sustratos.

Publicaciones generadas durante la tesis

En revistas científicas

Seimandi GM, Garmendia G, Nicolier JG, Favaro MA, Fernandez LN, Ruiz VE, Vero S, Derita MG. **2026**. Dual benefits of compost tea bacteria: boosting 'San Andreas' strawberries productivity and fruit quality. *Horticulturae*, 12(2), 252.

Seimandi GM, Fernández LN, Ruiz VE, Favaro MA, Derita MG. **2025**. Peanut and Pecan Nut Shell Extracts Reduced Disease Incidence and Severity Caused by Grey Mold in Postharvest Strawberries. *Horticulturae*, 11(6) 690.

Simonutti M, Seimandi GM*, Richard G, Zabala JM, Derita MG. **2024**. Correlation between chemical fertilization practices, phytochemical response, and biological activities of Cannabis sativa L. *Combinatorial Chemistry & High Throughput Screening*, 27(19).

Seimandi G, Imhoff S, Derita M. **2024**. Bioactivity of *Raphanus* species against agricultural phytopathogens and its role in soil remediation: A Review. *Combinatorial Chemistry & High Throughput Screening*, 27(4), 516-544.

Fernández LN, Maumary RL, Seimandi GM, Pernuzzi C, Derita MG, Favaro MA. **2023**. First report of anthracnose caused by *Colletotrichum nymphaeae* on strawberry fruits in central Argentina. *Plant Disease*, 108(1).

Stegmayer MI, Seimandi GM, Álvarez NH, Moreno MJ., Reutemann AG, Favaro MA, Derita MG. **2023**. Evaluación del aceite esencial de *Pelargonium graveolens* para prevenir la podredumbre morena en durazno. *Investigación Joven-UNLP*, 10(2), 246-252

Álvarez NH, Stegmayer MI, Seimandi GM, Pensiero JF, Zabala JM, Favaro MA, Derita MG. **2023**. Natural products obtained from argentinean native plants are fungicidal against citrus postharvest diseases. *Horticulturae*, 9(5), 562.

Seimandi G, Álvarez N, Stegmayer MI, Fernández L, Ruiz V, Favaro MA, Derita M. **2021**. An update on phytochemicals and pharmacological activities of the genus *Persicaria* and *Polygonum*. *Molecules*, 26(19), 5956.

Di Liberto MG, Seimandi GM, Fernández LN, Ruiz VE, Svetaz LA, Derita MG. **2021**. Botanical control of citrus green mold and peach Brown rot on fruits assays using a *Persicaria acuminata* phytochemically characterized extract. *Plants*, 10(3), 425.

Stegmayer MI, Fernández LN, Álvarez NH, Seimandi GM, Reutemann AG, Derita MG. **2021**. In vitro antifungal screening of Argentine native or naturalized plants against the phytopathogen *Monilinia fructicola*. *Combinatorial Chemistry & High Throughput Screening*, 23(2), 1-9.

Libros

Gutiérrez HF, Getar MP, Seimandi GM. **2024**. Árboles nativos y naturalizados de la provincia de Santa Fe. ediciones UNL, Santa Fe, Argentina. Pp. 396. ISBN: 978-987-749-479-2.

Gutiérrez HF; Seimandi GM, Getar MP, Olivella L (colaboradoras). **2022**. Árboles urbanos de la ciudad de Santa Fe. Ediciones UNL, Santa Fe, Argentina. Pp. 368. ISBN: 978-987749318-4.

Capítulos de libros

Seimandi GM, Cabezudo I, Derita MG. **2025**. Phytocannabinoids as bioassay targets in anticancer chemotherapy. En: Emerging Trends in Phytotherapy of Cancer. Rai M, Bhattarai S (Eds.). Elsevier. En prensa.

Seimandi GM, Butassi E, Di Liberto M, Cordisco E, Blanc A, Sortino M, Svetaz L, Derita M. **2022**. Natural antifungal agents isolated from argentine plants. A Summary of studies developed in the period 2000-2020. En: Promising antimicrobial from natural products. Rai M, Kosalec I (Eds.). Springer, Cham. Pp. 281-320.

Álvarez NH, Fernández LN, Seimandi GM, Stegmayer MI, Ruiz VE, Derita MG. **2021**. Antifungal activity validation of wild plants used in Argentine ethnomedicine: A revision of *Polygonum*. En: Ethnopharmacology of Wild Plants. Rai M, Bhattarai S, Feitosa C (Eds.). CRC Press/Taylor & Francis Group, U.S.A. Pp. 110-127.

ÍNDICE

RESUMEN	2
INTRODUCCIÓN GENERAL.....	4
1. Producción de alimentos, uso de fertilizantes y revalorización de residuos agrícolas	5
2. Enfermedades fúngicas en cultivos y uso de fungicidas	6
3. El cultivo de frutilla	7
HIPÓTESIS Y OBJETIVOS DE LA TESIS	9
CAPÍTULO 1. Caracterización de un té de compost proveniente de residuos avícolas y aislamiento de bacterias de interés agronómico	11
1.1 Introducción	12
1.2 Materiales y métodos	13
1.2.1 Caracterización química y microbiológica del té de compost.....	13
1.2.2 Aislamiento e identificación molecular de bacterias presentes en el té de compost	14
1.3 Resultados	15
1.3.1 Análisis químico y microbiológico del té de compost	15
1.3.2 Identificación molecular de bacterias aisladas del té de compost	16
1.4 Discusión.....	17
1.5 Conclusión	21
CAPÍTULO 2. El té de compost y las bacterias como biofertilizante y promotoras de crecimiento vegetal en cultivos de frutilla	22
2.1 Introducción	23
2.2 Materiales y métodos	26
2.2.1 Lugar de trabajo y preparación de plantines	26
2.2.2 Análisis químico del suelo	27
2.2.3 Evaluación de parámetros vegetativos y productivos	27
2.2.4. Evaluación <i>in vitro</i> de mecanismos de acción de las bacterias	30
2.2.5. Análisis estadístico.....	32
2.3 Resultados	32
2.3.1 Análisis químico del suelo	32
2.3.2 Parámetros vegetativos y productivos.....	33
2.3.3. Evaluación <i>in vitro</i> de mecanismos de acción de las bacterias	38
2.4 Discusión.....	39
2.4.1 El té de compost como biofertilizante.....	40
2.4.2 <i>B. licheniformis</i> y <i>P. stutzeri</i> como promotores de crecimiento vegetal.....	42
2.5 Conclusión	47

CAPÍTULO 3. Cáscaras de maní y nuez pecán y especies vegetales como sustratos para el cultivo de frutilla.....	48
3.1 Introducción	49
3.2 Materiales y métodos	51
3.2.1 Lugar de trabajo y preparación de plantines	51
3.2.2 Análisis fisicoquímico de los sustratos	52
3.2.3 Evaluación de parámetros vegetativos y productivos	53
3.3 Resultados	54
3.3.1 Análisis fisicoquímico de los sustratos	54
3.3.2 Parámetros vegetativos y productivos.....	56
3.4 Discusión.....	62
3.4.1 Impacto de los sustratos en las propiedades fisicoquímicas del suelo	62
3.4.2 Impacto de los sustratos sobre parámetros productivos de frutilla	64
3.5 Conclusión	66
CAPÍTULO 4. Capacidad antifúngica y caracterización química de extractos bacterianos y vegetales sobre patógenos de frutilla	68
4.1 Introducción	69
4.2 Materiales y Métodos.....	71
4.2.1 Preparación de extractos fijos	71
4.2.2 Obtención de hongos patógenos de frutilla	72
4.2.3 Ensayos antifúngicos <i>in vitro</i>	73
4.2.4 Ensayos antifúngicos <i>ex vivo</i>	73
4.2.5 Caracterización de los extractos fijos por cromatografía en capa delgada (CCD).....	75
4.3 Resultados	76
4.3.1 Rendimientos de los extractos fijos.....	76
4.3.2 Actividad antifúngica <i>in vitro</i> de extractos fijos contra patógenos de frutilla	77
4.3.3 Actividad antifúngica <i>ex vivo</i> de extractos fijos contra patógenos de frutilla.....	78
4.3.4 Caracterización de los extractos fijos por cromatografía en capa delgada (CCD).....	80
4.4 Discusión.....	81
4.4.1 Actividad antifúngica de extractos fijos del metabolismo bacteriano.....	81
4.4.2 Actividad antifúngica de extractos fijos de residuos de plantas y cáscaras	82
4.5 Conclusión	85
DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN GENERAL	86
ANEXOS	91
Anexo 1: fichas de especies vegetales	92
Anexo 2: ensayo antifúngico <i>ex vivo</i> de extractos bacterianos contra <i>B. cinerea</i>	97

Anexo 3: Cromatografías en Capa Delgada (CCD) de los extractos	98
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	101

ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS

AcOEt, acetato de etilo

AIA, ácido indolacético

APD, Agar-Papa-Dextrosa

BL, *Bacillus licheniformis*

CCD, Cromatografía en Capa Delgada

CE, Conductividad Eléctrica

CIC, Capacidad de Intercambio Catiónico

DMSO, dimetilsulfóxido

EtOH, etanol

GyrA, subunidad A del ADN de la girasa

Hex, hexano

ICP-MS, *Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry*

LB, Luria-Bertani (caldo)

M, maní

MALDI-TOF, *Matrix-Assisted Laser Desorption/Ionization – Time-of-Flight*

MeOH, metanol

MF, McFarland (escala de turbidez)

MO, materia orgánica

N-NH₄, nitrógeno en forma de amonio

NP, nuez pecán

NPK, Nitrógeno-Fósforo-Potasio

PA, *Persicaria acuminata*

PCR, *Polymerase Chain Reaction*

pH, potencial de hidrógeno

PS, *Pseudomonas stutzeri*

RS, *Raphanus sativus*

rpoD, subunidad sigma la ARN polimerasa

SC, *Solidago chilensis*

SST, Sólidos Solubles Totales

TC, té de compost

USDA, United States Department of Agriculture

Unidades de medida

°C, grado Celsius

cmolc/kg, centimole por kilogramo

g/kg, gramo por kilogramo

ha, hectárea

kPa, kilopascal

mg/kg, miligramo por kilogramo

mg/L, miligramo por litro

mL, mililitro

mM, milimolar

nm, nanómetro

ppm, partes por millón

tn, tonelada

UFC/mL, unidades formadoras de colonias por mililitro

µg, microgramo

µL, microlitro

RESUMEN

El aumento de la población mundial y la consecuente necesidad de producir más alimentos son evidentes. Los agroquímicos son los productos más utilizados para aumentar los rendimientos y garantizar la sanidad de los cultivos. Sin embargo, su uso prolongado ha provocado el deterioro de los suelos y la aparición de patógenos resistentes, lo que hace necesaria la búsqueda de nuevas alternativas para reducir sus aplicaciones. Así, el objetivo de esta tesis fue evaluar el efecto de bioproductos provenientes de desechos agropecuarios y especies vegetales antifúngicas sobre parámetros productivos y sanitarios en cultivos de frutilla. Para esto se seleccionaron tres desechos de la actividad agropecuaria (un té de compost, TC, a base de residuos de cama de cría de pollo y cáscaras de maní y nuez pecán) y tres especies vegetales bioactivas (*Persicaria acuminata*, *Solidago chilensis* y *Raphanus sativus*). Además, se aislaron dos bacterias del TC con potencial agronómico: *Bacillus licheniformis* y *Pseudomonas stutzeri*. Se realizaron ensayos en plantas de frutilla para evaluar su capacidad fertilizante y ensayos *in vitro* y *ex vivo* para evaluar la capacidad antifúngica contra patógenos de frutilla (*Botrytis cinerea* y *Colletotrichum acutatum*). *B. licheniformis* y los sustratos con cáscaras de maní mostraron un efecto positivo en las características fisicoquímicas de los suelos y el desarrollo foliar de las plantas. Además, estos tratamientos aumentaron los rendimientos en términos de número y tamaño de los frutos, y mejoraron significativamente muchas de las propiedades organolépticas de los frutos evaluadas, como el índice de color, el contenido de SST, la acidez, el contenido de antocianos, de ácido ascórbico, de compuestos fenólicos y la actividad antioxidante. A su vez, el extracto metanólico de cáscaras de maní y el extracto hexánico de *P. acuminata* mostraron una potente actividad antifúngica tanto *in vitro* como *ex vivo* contra ambos patógenos testeados. El extracto hexánico de *S. chilensis* y el extracto metanólico de cáscaras de nuez pecán mostraron una actividad antifúngica moderada-alta contra *C. acutatum*, mientras que el extracto de *B. licheniformis* solo fue efectivo contra *B. cinerea*. Se concluye que las cáscaras de maní y *B. licheniformis* podrían considerarse como potenciales insumos de base biológica para mejorar las propiedades de los suelos, la productividad y la sanidad de los cultivos, con el objetivo de reducir el uso de fertilizantes y fungicidas sintéticos, y garantizar la salud ambiental y humana.

Palabras clave: Productos biológicos; Desechos agropecuarios; Antifúngicos; Biofertilizantes; Promotores de crecimiento.

ABSTRACT

The global population increase and the consequent need to produce more food are evident. Agrochemicals are the most widely used inputs to enhance crop yields and ensure plant health. However, their prolonged use has led to soil degradation and the emergence of resistant pathogens, being necessary the development of alternative strategies to reduce their application. Accordingly, the objective of this thesis was to evaluate the effects of bioproducts derived from agricultural waste and antifungal plant species on productive and sanitary parameters in strawberry crops. Three agricultural waste sources were selected (a compost tea, CT, formulated from poultry litter and peanut and pecan nut shells), along with three bioactive plant species (*Persicaria acuminata*, *Solidago chilensis*, and *Raphanus sativus*). Additionally, two agronomically promising bacterial strains were isolated from the CT: *Bacillus licheniformis* and *Pseudomonas stutzeri*. Strawberry plants were subjected to fertilization trials, and both *in vitro* and *ex vivo* assays were conducted to assess antifungal activity against strawberry pathogens (*Botrytis cinerea* and *Colletotrichum acutatum*). *B. licheniformis* and substrates containing peanut shells exhibited positive effects on the physicochemical properties of the soil and foliar development of the plants. Furthermore, these treatments increased fruit yield in terms of number and size, and significantly improved several organoleptic properties of the strawberries, including colour index, soluble solids content (SSC), acidity, anthocyanin concentration, ascorbic acid content, phenolic compound levels, and antioxidant activity. Moreover, the methanolic extract of peanut shells and the hexanic extract of *P. acuminata* demonstrated potent antifungal activity both *in vitro* and *ex vivo* against the tested pathogens. The hexanic extract of *S. chilensis* and the methanolic extract of pecan nut shells showed moderate to high antifungal activity against *C. acutatum*, while the extract of *B. licheniformis* was only effective against *B. cinerea*. It is concluded that peanut shells and *B. licheniformis* may be considered as potential biologically based inputs to improve soil properties, crop productivity, and plant health, aiming to reduce the use of synthetic fertilizers and fungicides and to promote environmental and human health.

Keywords: Biological products; Agricultural waste; Antifungal agents; Biofertilizers; Growth promoters.

INTRODUCCIÓN GENERAL

1. Producción de alimentos, uso de fertilizantes y revalorización de residuos agrícolas

El aumento de la población mundial y la consecuente necesidad de producir más alimentos han contribuido a la disminución de la disponibilidad de tierras cultivables, y a la pérdida de productividad de suelos agrícolas en términos de disminución de materia orgánica, erosión, contaminación y pérdida de la biodiversidad (Kirschenmann, 2010). Particularmente, el interés por consumir alimentos naturales ha cobrado importancia en los últimos años debido, principalmente, a su capacidad de prevenir ciertas patologías. En este sentido, se ha comprobado que las frutas y verduras ayudan a reducir el riesgo de desarrollar diferentes patologías como desnutrición, enfermedades crónicas no transmisibles y mejoran la función cognitiva (Rodríguez *et al.*, 2021; Ho *et al.*, 2020; Spencer, 2010). La causa principal de estos beneficios es la presencia de un alto contenido de agua (70-90%) y una amplia variedad de compuestos bioactivos (ácidos, minerales, fibras, compuestos fenólicos, vitaminas, entre otros) que le brindan diferentes propiedades biológicas (Ho *et al.*, 2020).

Los agroquímicos son los productos más utilizados en las prácticas agrícolas para asegurar un buen rendimiento y sanidad de los cultivos, en el menor tiempo posible (Qaswar *et al.*, 2020). En particular, los fertilizantes sintéticos proporcionan nutrientes a las plantas de forma inmediata, pero no mejoran la salud de la tierra ni reemplazan la materia orgánica de la misma. Más bien, se producen daños en los suelos y contaminación en las aguas superficiales y subterráneas debido, entre otros, a la rápida mineralización de la materia orgánica, y la consecuente disminución de las reservas de carbono y la capacidad de intercambio catiónico (Agegnehu *et al.*, 2017; Hernández *et al.*, 2016). Este escenario plantea la necesidad de buscar alternativas de fertilización que permitan alcanzar el mayor rendimiento y calidad posible y, al mismo tiempo, que logren disminuir los efectos negativos en los suelos provocados por la intensificación de las prácticas agrícolas.

Cada año se producen millones de toneladas de residuos agrícolas que incluyen restos generados de la producción y el procesamiento de frutas y verduras (cáscaras, bagazo, orujos, pulpas, semillas, etc.), de la cría de animales para la producción de carne y lácteos, y de los desperdicios de alimentos generados en los hogares y mostradores minoristas (Yadav *et al.*, 2024). Debido al costo del procesamiento, el tratamiento y deposición final de estos residuos es una tarea difícil, lo que se traduce en serios problemas ambientales, económicos y sociales. Esto no solo se observa en países en vías de desarrollo (pérdidas elevadas por la falta de tecnologías de tratado y conservación), sino que también ocurre en países desarrollados por el consumo masivo de bienes y servicios (Esparza *et al.*, 2020). En particular, se estima que se desperdicia un tercio de los alimentos producidos para el consumo humano a nivel mundial (Capanoglu *et al.*, 2022). Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), el volumen de desechos de origen agrícola convertidos en energía podría desplazar alrededor de 50 mil millones de toneladas de petróleo y ofrecer electricidad a unas 1,6 mil millones de personas. A su vez, estos desechos contienen microorganismos, nutrientes y otros compuestos con infinitas potencialidades para ser reutilizados en la industria farmacéutica, agrícola y energética (Bhuyan *et al.*, 2020). Por lo tanto, la revalorización de estos residuos podría funcionar como

una alternativa sustentable para diferentes aplicaciones, debido a su alto volumen de biomasa y las numerosas moléculas con propiedades bioactivas (Vodnar *et al.*, 2017).

2. Enfermedades fúngicas en cultivos y uso de fungicidas

Durante el desarrollo del cultivo y luego de la cosecha, las frutas y hortalizas son susceptibles a contraer infecciones que pueden causar graves pérdidas económicas, contribuyendo al deterioro de la calidad, reducción de nutrientes y reducción del valor de mercado (Guan *et al.*, 2023). Este aspecto se ve especialmente acentuado durante la postcosecha, la cual involucra diferentes etapas tales como la manipulación, el almacenamiento, el procesamiento, el empaque, el transporte y la comercialización. Se estima que las pérdidas postcosecha representan alrededor del 40% de los productos frescos (lo que equivale a 1.300 millones de toneladas de producción), siendo los microorganismos fúngicos los causantes de aproximadamente el 85% de las enfermedades postcosecha de la fruta (Guan *et al.*, 2023; Matrose *et al.*, 2021; Savary *et al.*, 2012).

Para que una infección ocurra debe existir una cantidad mínima de esporas o de micelio, y deben darse las condiciones ambientales adecuadas (Wyatt *et al.*, 2013). Es sumamente necesario indagar cada uno de estos aspectos en los patógenos de interés, ya que dicha información deberá ser usada para establecer planes de acción para erradicarlos. En este sentido, diferentes revisiones han destacado los siguientes parámetros como determinantes para el desarrollo de las enfermedades fúngicas (Rodríguez *et al.*, 2021; Murray *et al.*, 2019; Barkai-Golan, 2001): temperaturas óptimas para el crecimiento del hongo (generalmente oscila entre los 20-25 grados); humedad relativa (por ej., altos niveles de humedad podrían inducir la deshidratación y pérdida de peso de los frutos, lo que favorece el ataque de diferentes patógenos); prácticas culturales durante la precosecha, cosecha y postcosecha (la forma de recolección descuidada puede generar heridas o malformaciones en los frutos que, sumado a la falta de higiene, puede ser una puerta de entrada para muchos patógenos); atmósferas generadas en los sitios de almacenamiento (la composición de gases interfiere directamente en el desarrollo de la germinación); pH (los valores de pH generalmente bajos en frutas las hacen más susceptibles al ataque de patógenos); y la composición química de los tejidos, etapa de maduración y producción de etileno (la presencia de ciertos compuestos pueden acelerar o desacelerar el desarrollo de ciertos microorganismos, mientras que frutos más maduros se encuentran más susceptibles al ataque de patógenos).

Los fungicidas sintéticos como los azoles, equinocandinas, polienos, alilaminas y morfolina, entre otros, son los principales productos utilizados para el control de hongos patógenos, tanto de forma preventiva como curativa (Islam *et al.*, 2024). Sin embargo, los hongos patógenos han desarrollado capacidades genéticas, como aceleraciones en los transportadores de eflujo de compuesto activo o sobreexpresiones de genes particulares, para bloquear los sitios diana de los fungicidas convencionales y generar resistencia a los mismos (Lee *et al.*, 2023; Hu & Chen, 2021). Además, los fungicidas tienen un periodo de degradación de entre 45 y 120 días, lo que permite que los hongos patógenos tengan el suficiente tiempo para desarrollar resistencia (Islam *et al.*, 2024). Este aspecto, sumado a la presión

ejercida por los mercados y consumidores respecto a los residuos que persisten en los alimentos y sus posibles riesgos para la salud humana y ambiental, está limitando el uso y la eficiencia de los fungicidas sintéticos (Hashim *et al.*, 2019). Por tal motivo, el mercado de productos “verdes” a base de insumos orgánicos sustentables desde el punto de vista ambiental y de la salud humana, ha ganado una gran popularidad en los últimos años, lo que vuelve imperioso su estudio.

3. El cultivo de frutilla

La frutilla es una planta de crecimiento plagiótrofo perteneciente a la familia Rosaceae. Presenta hojas trifoliadas, aserradas y largamente pecioladas; el rizoma crece al ras del suelo y a partir de él se generan estolones que dan lugar a nuevas plantas, idénticas a la madre (Figura 1); las flores son de color blanco, mientras que el fruto corresponde a un agregado de aquenios (poliaquenio) que están insertos en un receptáculo y forman la parte comestible. Como alimento, la frutilla es una fruta con muchas propiedades beneficiosas para la salud. Tiene altos contenidos de vitamina C, minerales (potasio, fósforo, magnesio, manganeso) y compuestos fenólicos (principalmente flavonoides, taninos hidrolizables y ácidos fenólicos), que le confieren muy buenas propiedades antioxidantes (Giampieri *et al.*, 2012).

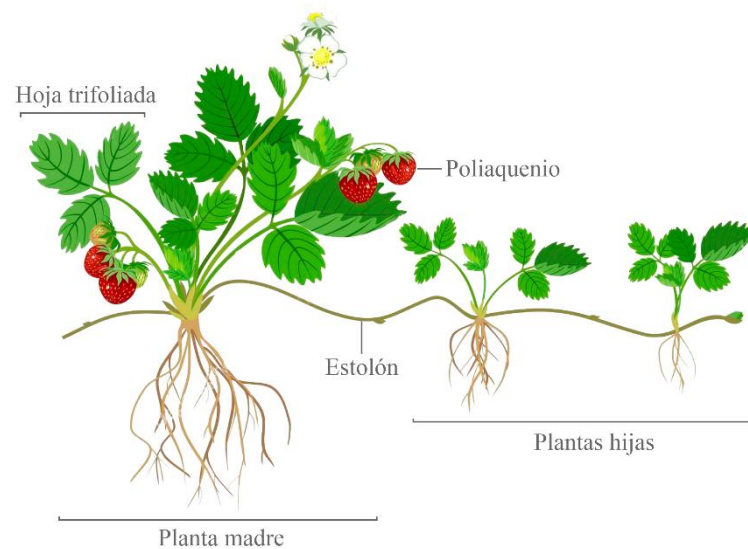


Figura 1. Ilustración de la morfología de la planta de frutilla.

La frutilla es el principal cultivo del grupo conocido como “frutas finas” o “berries”, al que también pertenecen el arándano, la frambuesa y la mora. Los cultivares comerciales de frutilla en Argentina (*Fragaria x ananassa* Duch.) son derivados de dos especies: *Fragaria chiloensis* (L.) (frutilla silvestre, nativa de Chubut, Neuquén y Río Negro) y *Fragaria virginiana* Duch. (originaria de Canadá y Estados Unidos) (Guttridge, 2019).

A nivel mundial, China y Estados Unidos son los mayores productores de frutilla, mientras que en Sudamérica, Brasil y Colombia lideran la producción (Tabla 1) (FAO, 2022). En cuanto a las exportaciones, España (278335 tn), México (201604 tn) y Estados Unidos (146990 tn) lideran el

mercado (FAO, 2022). A nivel local, y como se observa en la Tabla 1, Argentina produce aproximadamente entre 45 y 50 mil toneladas al año en 1500-1700 ha, lo que corresponde a 34 tn/ha; el 50-70% está destinado al mercado de fresco, mientras que el porcentaje restante va dirigido al mercado industrial para la elaboración de mermeladas, jugos, congelados, entre otros (Ministerio de Economía Argentina, 2023). Tucumán, Santa Fe y Buenos Aires son los principales productores de frutilla en Argentina; en menor medida se destacan Corrientes y Misiones (Figura 2). En particular, Coronda (Santa Fe) y Lules (Tucumán) son las responsables del precio de la frutilla a nivel nacional, debido a los altos volúmenes de producción y a los momentos en los que ingresan al mercado (con picos en septiembre-noviembre) (Ministerio de Economía Argentina, 2024). Por otra parte, las provincias de Río Negro, Neuquén y Mendoza son los principales proveedores de plantines (Molina, 2020). Debido a la existencia de diferentes variedades, la oferta nacional de frutilla está disponible prácticamente todo el año: de junio a diciembre las principales proveedoras son Santa Fe, Tucumán (Pedemonte), Corrientes y Misiones; de septiembre a mayo la producción se concentra en Buenos Aires, Tucumán (Tafí del Valle), y la Patagonia (Molina, 2020). Por último, Argentina no es un país netamente exportador, ya que la mayor parte de la producción se comercializa en fresco internamente; sin embargo, Tucumán y Santa Fe cuentan con un mercado exportador de fruta congelada, siendo Estados Unidos el principal destino (Ministerio de Economía Argentina, 2023; Caminiti, 2015).

Tabla 1. Principales países productores de frutilla a nivel mundial y en Sudamérica. Datos obtenidos de la plataforma FAOSTAT para el año 2022.

Región	País	Producción (tn)	Área cosechada (ha)
Mundial	China	3.354.803	126.777
	Estados Unidos	1.261.890	21.287
	Turquía	728.112	22.272
	Egipto	637.842	15.836
	México	568.271	12.761
	España	325.880	7.270
	Rusia	254.800	38.529
Sudamérica	Brasil	183.922	4.786
	Colombia	113.949	2.912
	Perú	45.812	2.602
	Argentina	45.569	1.517
	Venezuela	43.363	2.362

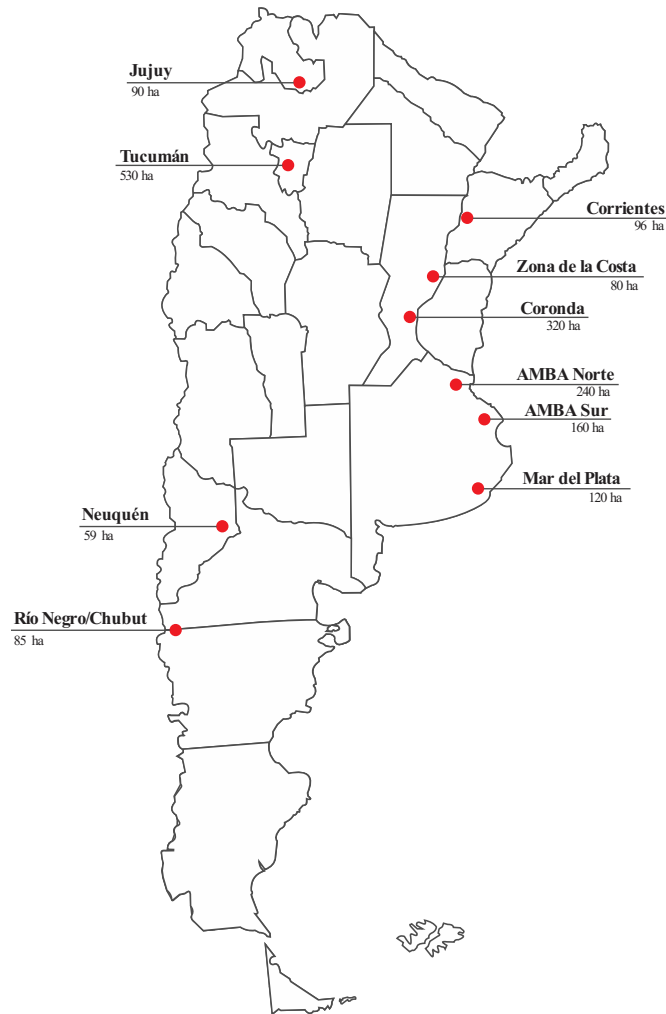


Figura 2. Superficie (ha) de producción de frutillas en Argentina. Fuente: Ministerio de Economía Argentina, 2023.

HIPÓTESIS Y OBJETIVOS DE LA TESIS

Hipótesis

Los bioproductos provenientes de la actividad agropecuaria y las especies vegetales antifúngicas pueden mejorar los parámetros productivos y sanitarios en cultivos de frutilla.

Objetivo general

Evaluar la capacidad fertilizante y antifúngica de distintos subproductos de la industria agropecuaria regional (de origen animal y vegetal), de especies vegetales antifúngicas y de bacterias de interés agronómico, sobre parámetros productivos y sanitarios en cultivos de frutilla.

Objetivos específicos

1. Analizar los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de un té de compost (TC) de residuos de cama de cría de pollo.

2. Aislar e identificar especies bacterianas del TC con potencial para su aplicación en cultivos agronómicos.
3. Evaluar la capacidad fertilizante del TC y de las especies bacterianas aisladas del TC como promotoras de crecimiento vegetal sobre parámetros productivos en cultivos de frutilla.
4. Evaluar la capacidad fertilizante de diferentes sustratos obtenidos a partir de residuos de la producción de alimentos (cáscaras de maní y nuez pecán) y especies vegetales (*Persicaria acuminata* y *Solidago chilensis*) sobre parámetros productivos en cultivos de frutilla.
5. Evaluar la capacidad antifúngica *in vitro* y *ex vivo* de extractos fijos obtenidos del metabolismo bacteriano, cáscaras de maní y nuez pecán, y especies vegetales (*P. acuminata*, *S. chilensis* y *Raphanus sativus*) sobre hongos patógenos de frutilla.
6. Caracterizar cromatográficamente los extractos obtenidos del metabolismo bacteriano, y de los extractos fijos de las cáscaras y las especies vegetales bioactivas.

ESTRUCTURA DE LA TESIS

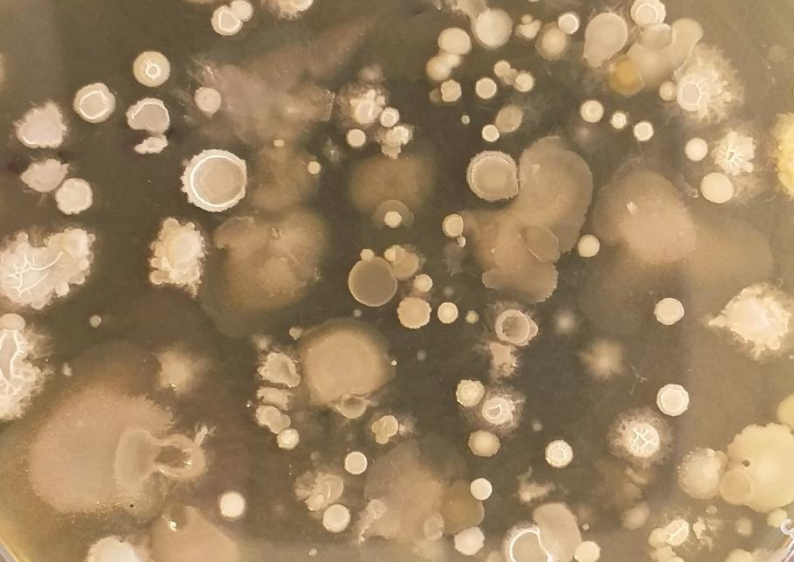
Para responder a los objetivos mencionados anteriormente, el manuscrito se estructuró de acuerdo a los siguientes capítulos:

En el Capítulo 1 (objetivos específicos 1 y 2) se analizaron las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del TC, y se concretaron los aislamientos e identificaciones moleculares de las bacterias extraídas del TC con potencial aplicación agronómica.

En el Capítulo 2 (objetivo específico 3) se evaluó la capacidad biofertilizante del TC y de las bacterias aisladas del TC como promotoras de crecimiento vegetal en cultivos de frutilla. Para esto se realizaron ensayos en macetas a las cuales se les aplicaron los tratamientos en suelo a lo largo del ciclo del cultivo. Durante los ensayos se evaluaron parámetros químicos del suelo, parámetros vegetativos y parámetros productivos del cultivo.

En el Capítulo 3 (objetivo específico 4) se evaluó la capacidad biofertilizante de diferentes sustratos obtenidos a partir de los residuos de la producción de alimentos (cáscaras de maní y nuez pecán) y de especies vegetales bioactivas en cultivos de frutilla. Para esto se realizaron ensayos en macetas donde se evaluaron parámetros fisicoquímicos del suelo, parámetros vegetativos, y parámetros productivos del cultivo.

Finalmente, en el Capítulo 4 (objetivos específicos 5 y 6) se evaluó la capacidad antifúngica *in vitro* y *ex vivo* de los extractos de metabolismo bacteriano, cáscaras de maní y nuez pecán, y especies vegetales bioactivas (*P. acuminata*, *S. chilensis* y *R. sativus*) contra dos hongos patógenos de frutilla: *Botrytis cinerea* y *Colletotrichum acutatum*. Adicionalmente, se realizaron cromatografías en capa delgada (CCD) para visualizar la presencia de diversos grupos funcionales en los extractos.



CAPÍTULO 1

**Caracterización de un té de
compost proveniente de residuos
avícolas y aislamiento de
bacterias de interés agronómico**

1.1 Introducción

La necesidad de buscar nuevas alternativas para reducir el uso de fertilizantes y antifúngicos de origen sintético es evidente. En la actualidad, los sistemas de producción para crear bienes y servicios implican la generación y eliminación continua de grandes cantidades de residuos (Lackner & Besharati, 2025). Este escenario plantea la necesidad de cambiar de un modelo de producción lineal, donde los recursos se convierten en residuos, por un modelo circular donde los residuos y subproductos se integren nuevamente al sistema como activos valiosos (Figura 3) (Urrea *et al.*, 2019; Murray *et al.*, 2017). Así, en los últimos años se ha prestado especial atención a la generación de nuevas tecnologías de transformación de residuos de origen animal y vegetal para potenciales usos en el sector agrario.

El compostaje, una tecnología ampliamente usada para el tratamiento de residuos, es un proceso aeróbico en el cual los microorganismos degradan y transforman materiales orgánicos descompuestos relativamente estables en subproductos orgánicos e inorgánicos (Toledo *et al.*, 2018; Paulin & O'Malley, 2008). Los compost pueden ser sólidos o líquidos. Un té de compost es un producto líquido orgánico derivado de la extracción con agua de un compost (relación 1:5 o 1:10) (Zaccardelli *et al.*, 2018). Si bien existen muchos materiales de base para la generación de un compost, los residuos de la producción animal han ganado un terreno importante en las últimas décadas. En particular, los residuos generados en la actividad avícola se consideran un insumo prometedor en el desarrollo de estas nuevas tecnologías, ya que el manejo y almacenamiento de estos subproductos genera una importante preocupación ambiental y para la salud humana (Abah *et al.*, 2019). En Argentina, el 65% de la actividad avícola se concentra en Entre Ríos y Buenos Aires; numéricamente, se estima que 100.000 aves ponedoras pueden producir más de 12 toneladas diarias de deyecciones (alrededor de 4300 tn/año) con alto contenido de compuestos orgánicos e inorgánicos (principalmente proteínas y aminoácidos) y una población microbiana abundante (Riera *et al.*, 2014). La emisión de bioarsoles (microorganismos, toxinas, etc.), de gases olorosos (como amoníaco, aminas, amidas y sulfuros) y de gases de efecto invernadero (como CO₂, metano y óxidos nitrosos), son algunos de los efectos que surgen del manejo inadecuado de este tipo de residuos (Bolan *et al.*, 2010).

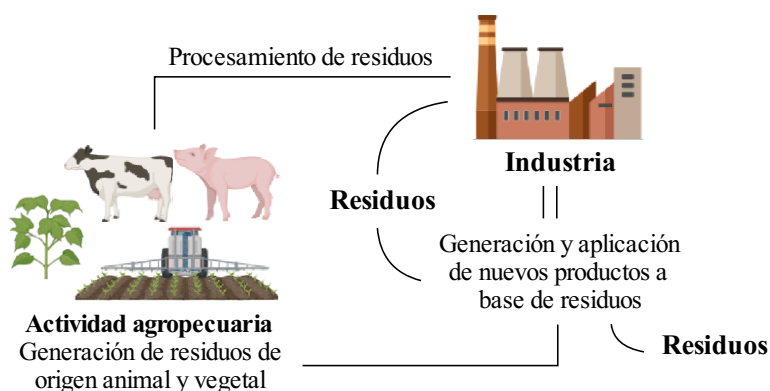


Figura 3. Circulación y reutilización de subproductos de la industria para la generación de nuevos productos.

Además del aporte de nutrientes, los compost se caracterizan por presentar una alta carga de microorganismos (principalmente hongos, bacterias y actinomicetos), los cuales juegan un rol fundamental en la transformación y en la captura de nutrientes que pueden ser aprovechados por las plantas (Ho *et al.*, 2022; Gorliczay *et al.*, 2021). Las bacterias representan el 80-90% de la carga microbiológica, las cuales utilizan diversas enzimas para descomponer la materia orgánica por oxidación (Ho *et al.*, 2022). Algunas de estas bacterias pueden ser patógenas (como *E. coli* y *Salmonella* sp.), por lo que es de suma importancia garantizar la eliminación de las mismas en las diferentes etapas del proceso de compostaje para lograr un producto final seguro (Kim *et al.*, 2012; Singh *et al.*, 2010). A pesar de la presencia de bacterias patógenas, los compost aportan una gran diversidad de organismos potenciales para el desarrollo de productos biotecnológicos, debido a su capacidad para la síntesis de compuestos con propiedades biológicas (Mfon, 2024). En concordancia con lo anterior, para lograr una tecnología segura basada en el uso de microorganismos es necesario identificar correctamente las cepas utilizadas, tanto con técnicas morfológicas como moleculares (Szilagyi-Zecchin *et al.*, 2016), lo que definirá el potencial biotecnológico de cada microorganismo.

Por lo antes mencionado, el **objetivo del Capítulo 1** es analizar los parámetros químicos y microbiológicos de un té de compost (TC) de residuos de cama de cría de pollo, y aislar e identificar especies bacterianas del TC con potencial para su aplicación en cultivos agronómicos.

1.2 Materiales y métodos

1.2.1 Caracterización química y microbiológica del té de compost

El té de compost (TC) fue provisto por la empresa EnBio (Enmiendas Bioorgánicas de la localidad de Rafaela, <http://www.enbio.com.ar/>). El compost es un producto líquido generado por la empresa a partir del guano fresco producido en gallineros y galpones de cría de pollos mediante un proceso de compostaje. Debido al potencial uso del TC como compost para diferentes cultivos, se realizaron análisis químicos y microbiológicos para detectar la presencia de bacterias nocivas para la salud, principalmente *E. coli* y *Salmonella* sp.

Para el análisis químico se midieron los siguientes parámetros: % materia seca (secado en estufa a 70°C); mg/L de sólidos totales (evaporación y secado en estufa a 105°C); mg/L de nitrógeno total (método Kjeldahl); mg/L de N-NH₄ (método Kjeldahl); pH (potenciométrico, lectura directa); conductividad eléctrica en dS/m (conductimétrico, lectura directa); mg/L de fósforo total (colorimetría, método del ácido ascórbico); mg/L de sodio total (fotometría de llama); mg/L de potasio total (fotometría de llama); y la relación C:N.

El objetivo del análisis microbiológico fue detectar la presencia de grupos de bacterias que podrían ser nocivas para la salud humana, lo cual es un requisito de SENASA para la comercialización de este tipo de productos. Para esto, se realizó una dilución del TC y se sembraron 200 µL de cada dilución en

placas de Petri con medios de cultivo específicos para *E. coli* y coliformes (medio CHROMagar™ ECC) y *Salmonella* sp. (medio CHROMagar™ Salmonella). Las placas se incubaron por 48 h a 37°C. Pasadas las 48 h se contabilizaron las colonias de acuerdo a su coloración: en el medio CHROMagar™ ECC, la coloración azul indica presencia de *E. coli* y la coloración violeta indica presencia de otros coliformes; en el medio CHROMagar™ Salmonella, la coloración azul indica *E. coli* y la coloración malva indica *Salmonella*.

1.2.2 Aislamiento e identificación molecular de bacterias presentes en el té de compost

Se aislaron bacterias del TC para testearlas individualmente como potenciales microorganismos promotores del crecimiento vegetal. Para esto, se tomaron 200 µL de la dilución del TC, se sembraron en un medio específico para bacterias (caldo Luria Bertani, LB) y se incubaron por 48 h a 37°C. Luego se seleccionaron seis colonias (B1, B2, B3, B4, B5 y B6) de acuerdo a sus diferentes formas, tamaños y coloraciones, y se repicaron en nuevas placas con LB para obtener un cultivo puro de cada colonia. Una vez puras, las colonias se sembraron en tubos Eppendorf con medio LB líquido y se enviaron a la Universidad Nacional de Rosario para una primera identificación mediante tecnología MALDI-TOF MS (Bruker Daltonics, Bremen, Alemania). Por este método, se identificaron cinco *Bacillus* y una *Pseudomonas*.

Para la identificación molecular, se seleccionaron dos *Bacillus* y la *Pseudomonas*. En primer lugar, se realizó la extracción de ADN con el kit de extracción de ADN “Quick-DNATM Fungal/Bacterial Miniprep Kit” de Tanirel Biotecnología. Para las PCRs, se utilizaron tres genes diferentes: un gen universal (16s) y dos específicos para los géneros identificados por MALDI-TOF (*GyrA* y *rpoD*) (Tabla 2). Los volúmenes y los ciclos para cada reacción se especifican en la Tabla 3.

Tabla 2. Genes y *primers* utilizados para la identificación molecular de las bacterias. Se especifica la secuencia 5'-3' de cada *primer* y su referencia bibliográfica.

Gen (bacteria)	Primer	Secuencia 5'-3'	Ref.
16s (todas)	27F 1492R	AGAGTTTGATCMTGGCTCAG TACGGYTACCTTGTTACGACTT	Lane <i>et al.</i> , (1995)
GyrA (<i>Bacillus</i>)	F 7237F R 8261F	CAGTCAGGAAATGCGTACGTCCTT CAAGGTAATGCTCCAGGCATTGCT	Roberts <i>et al.</i> , (1994)
rpoD (<i>Pseudomonas</i>)	PsEG30F PsEG790R	ATYGAAATCGCCAARCG CGGTTGATKTCCTTGA	Mulet <i>et al.</i> , (2009)

Tabla 3. Condiciones de reacción y amplificación de los *primers* utilizados para la identificación molecular de las bacterias.

Reactivos	Volumen/ciclo
<i>primer F</i>	0,5 µL
<i>primer R</i>	0,5 µL
taq (5µ/µL)	0,1 µL
buffer 10X	2,5 µL
dNTP 10 mM	0,7 µL
H ₂ O milliQ	19,7 µL
ADN/H ₂ O milliQ	1 µL
Ciclo termociclador 16s	94°C 5 min, 94°C 1 min, 55°C 0:30 seg, 72°C 1:30 min, 72°C 7 min; 30 ciclos
Ciclo termociclador GyrA	94°C 5 min, 94°C 0:30 seg, 58°C 0:45 seg, 72°C 1:30 min, 72°C 10 min; 30 ciclos
Ciclo termociclador rpoD	94°C 5 min, 94°C 1 min, 52,3°C 0:30 seg, 72°C 1:30 min, 72°C 5 min; 35 ciclos

Los productos de PCR se analizaron en un gel de agarosa al 0,8% teniendo en cuenta los siguientes volúmenes (para c/u): 1,5 µL LB, 1,5 µL de gel red y 3 µL de solución de la PCR; también se sembró un control con agua y uno con el marcador NZYDNA Lader III 100 pb. La amplificación se realizó durante 25-30 min. Las muestras positivas se enviaron a secuenciar a Macrogen y, posteriormente, se analizaron con la base de datos Genbank utilizando la herramienta BLAST (<https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi> consultado en diciembre del año 2024).

1.3 Resultados

1.3.1 Análisis químico y microbiológico del té de compost

El análisis químico del TC se resume en la Tabla 4. El TC mostró un importante contenido de sólidos totales (que incluyen materia orgánica e inorgánica), un alto contenido de N, P, K y Na total, y ausencia de nitrógeno en forma de amonio (N-NH₄). El pH registró un valor cercano al neutro (7,3). La CE del TC puro fue algo elevada (3,5 dS/m) respecto a los valores óptimos para el cultivo de frutilla (<2 dS/m) (Tabla 4).

El análisis microbiológico no detectó la presencia de *E. coli* (Figura 4a) ni *Salmonella* sp. (Figura 4b); solo se contabilizaron unas pocas colonias de otros coliformes no identificados (aproximadamente 215 UFC/mL) (Figura 4a).

Tabla 4. Análisis químico del té de compost. Se detalla el contenido de nutrientes totales, sodio, N-NH₄, materia seca, sólidos totales, relación C:N, pH y conductividad eléctrica (CE).

Determinación	Valor
Materia seca (%)	0,63 ± 0,03
Sólidos totales (mg/L)	6150 ± 61
C:N	13,2 ± 0,2
pH	7,3 ± 0,2
CE (dS/m)	3,5 ± 0,1
N total (mg/L)	75,6 ± 0,4
N-NH ₄ (mg/L)	0 ± 0
P total (mg/L)	61,1 ± 0,9
Na total (mg/L)	395 ± 12,1
K total (mg/L)	837 ± 21,7

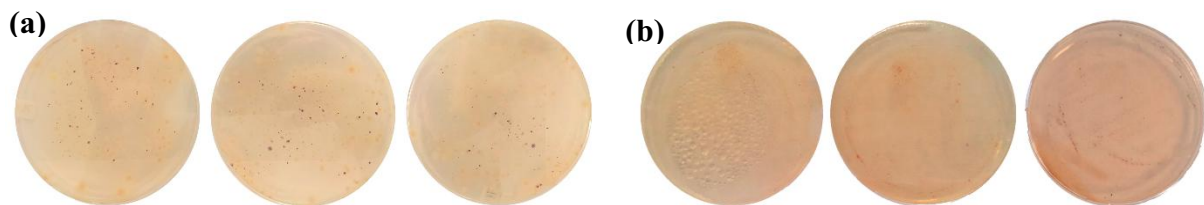


Figura 4. Detección de (a) *E. coli* y (b) *Salmonella* sp. en el té de compost. Ref.: la coloración azul indica presencia de *E. coli* para ambos medios; la coloración violeta en (a) indica presencia de otros coliformes; y la coloración malva en (b) indica presencia de *Salmonella*.

1.3.2 Identificación molecular de bacterias aisladas del té de compost

En primer lugar, se aislaron 6 colonias bacterianas puras del TC, las cuales fueron identificadas por el método MALDI-TOF como *Bacillus cereus* (B4, B5 y B6), *Bacillus* sp. (B1 y B3) y *Pseudomonas mendocina* (B2) (Figura 5).

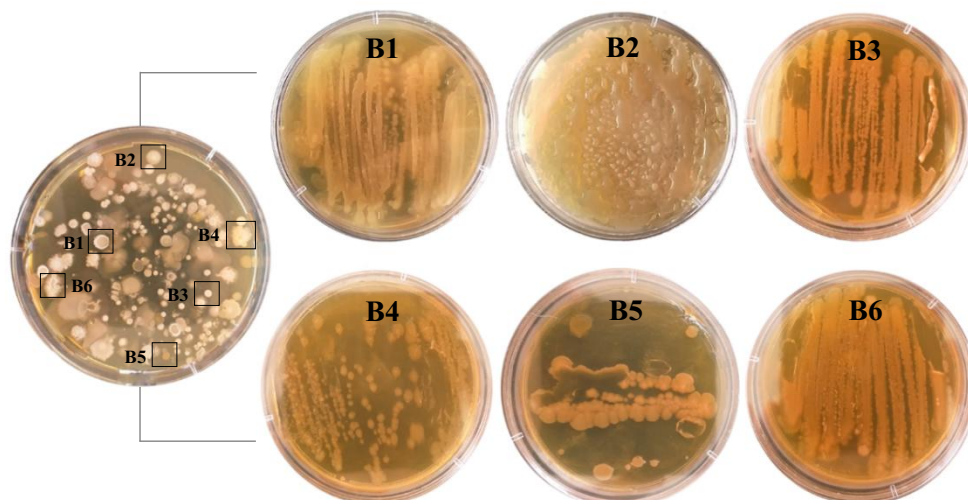


Figura 5. Aislamiento de bacterias presentes en el TC. Ref.: (B1 y B3) *Bacillus* sp.; (B2) *P. mendocina*; y (B4, B5 y B6) *Bacillus cereus*.

Posteriormente, se seleccionaron tres bacterias (B1, B2 y B3) para la identificación molecular. Se logró una correcta extracción de ADN y resultados positivos de las PCR. Ambos géneros bacterianos identificados previamente por MALDI-TOF (*Bacillus* y *Pseudomonas*) fueron analizados molecularmente con el gen genérico 16s, y con los genes específicos GyrA (para los dos *Bacillus*, B1 y B3) y rpoD (para la *Pseudomonas*, B2). Las secuencias de nucleótidos 16s, GyrA y rpoD fueron comparadas con la base de datos de dominio público NCBI (Centro Nacional de Información Biotecnológica; www.ncbi.nih.gov).

Las secuencias obtenidas con el gen 16s confirmaron los géneros identificados previamente por MALDI-TOF (*Bacillus* y *Pseudomonas*), pero no se logró confirmar a nivel de especie. Sin embargo, se hallaron coincidencias a nivel de especie con las secuencias de nucleótidos específicas para cada género: la secuencia GyrA confirmó que ambos *Bacillus* (B1 y B3) corresponden a la especie *Bacillus licheniformis*, mientras que la secuencia rpoD confirmó la *Pseudomonas* (B2) como *Pseudomonas stutzeri* (Tabla 5).

Tabla 5. Parámetros de identificación molecular de las bacterias aisladas del TC.

Gen	Sp. identificada por MALDI-TOF	Análisis BLAST		
		% Identidad (Id.)	Valor-E	Secuencia con mayor Id. en GenBank (Acceso)
GyrA	B1 <i>Bacillus</i> sp.	100,00	0,00	<i>Bacillus licheniformis</i> culture SZMC:27712 DNA gyrase subunit alpha(gyrA) gene, partial cds (OP620082)
	B3 <i>Bacillus</i> sp.	99,79	0,00	
rpoD	B2 <i>Pseudomonas mendocina</i>	99,42	0,00	<i>Pseudomonas stutzeri</i> partial rpoD gene for DNA-directed RNA polymerase subunit D, strain A236/84 (HE573707)

1.4 Discusión

El interés por la utilización de restos orgánicos en la fertilización de los suelos agrícolas ha crecido en las últimas décadas, principalmente por su papel en el aporte de nutrientes y por su influencia en la calidad de los suelos (Ho *et al.*, 2022). El tipo de materia prima utilizada y las condiciones de procesamiento del compost condicionan el aporte de nutrientes y microorganismos, como así también las propiedades químicas y físicas de los suelos, por lo que, los compost pueden servir como insumo agrícola para lograr la reducción del uso de fertilizantes sintéticos (Adugna, 2016). A diferencia de los compost sólidos (de liberación lenta de nutrientes), los té de compost ofrecen una alta disponibilidad de nutrientes y una liberación rápida, y pueden aplicarse tanto de forma aérea (principalmente para el control de enfermedades), como por riego o solución nutritiva en suelos e hidroponía (Yin *et al.*, 2025). Así, en este capítulo se analizaron las variables químicas y microbiológicas de un té de compost (TC)

de residuos de cama de cría de pollo, y se aislaron bacterias con potencial interés agronómico, con el objetivo de evaluar su posible aplicación en cultivos como biofertilizantes y promotores de crecimiento vegetal. Los resultados obtenidos demostraron que el TC aporta un importante contenido de macronutrientes, y no se detectó la presencia de bacterias nocivas para la salud como *E. coli* y *Salmonella* sp. Además, se lograron aislar dos bacterias con potencial agronómico, a saber, *B. licheniformis* y *P. stutzeri*.

El análisis químico del TC arrojó un pH óptimo (7,3), el cual coincide con los valores encontrados por otros autores que evaluaron las propiedades fisicoquímicas de tés de compost a base de cama de cría de pollo obtenidos por diferentes métodos de compostaje (Zohora *et al.*, 2022; Shaheen *et al.*, 2018; Pant *et al.*, 2012). A su vez, el TC evaluado mostró un contenido de NPK (nitrógeno, fósforo y potasio) superior al registrado por Pant *et al.*, (2012), pero inferior a los reportados por otros autores para tés de compost a base de residuos avícolas (Zohora *et al.*, 2022; Shaheen *et al.*, 2018). El proceso de compostaje consta de varias etapas que varían de acuerdo a los objetivos del producto (principalmente el control de la temperatura y los periodos de aireación o no aireación), lo que puede influir directamente en el contenido final de los nutrientes y en la diversidad de microorganismos descomponedores de minerales (Pilla *et al.*, 2023; Ho *et al.*, 2022). Por otro lado, el análisis químico del TC registró ausencia de nitrógeno en forma de amonio (N-NH_4). La transformación del nitrógeno durante el compostaje depende de factores como el pH, temperatura, aireación y la actividad microbiana, e incluye diferentes etapas como la mineralización de N orgánico a NH_4 , seguida de la nitrificación de NH_4 a NO_3^- (Hao & Benke, 2008). Esto nos indica que la forma NH_4 predomina principalmente en las primeras etapas del proceso de compostaje, por lo que su ausencia en el producto final estaría revelando que el compostaje realizado para el producto analizado fue positivo (Shuai & Xudong, 2017; Hao & Benke, 2008). Además, otros autores sugirieron que la disminución de NH_4 podría explicarse por la presencia de nitrobacterias (quienes convirtieron el nitrógeno existente en nitratos o nitritos) o por la disminución del NH_3 disponible en las mezclas del compost (Awasthi *et al.*, 2018; Khan *et al.*, 2014).

La conductividad eléctrica mostró un comportamiento similar a lo dispuesto anteriormente para el contenido de NPK total. Así, en el presente trabajo se registró una CE superior a la reportada para un vermicompost líquido a base de residuos de pollo (Pant *et al.*, 2012) (3,5 y 0,7-1 dS/m, respectivamente), pero inferior a la de un té de compost termófilo y un té de compost obtenido mediante un proceso sin aireación (6,1 y 8,22 dS/m) (Shaheen *et al.*, 2018; Pant *et al.*, 2012). Los residuos de pollo tienen un alto contenido de sal (que coincide con el valor elevado de Na total registrado en este trabajo, de 395 mg/L), lo que podría explicar que los tés de compost a base de residuos de pollo presenten una CE elevada (Zhang *et al.*, 2020a; Ma *et al.*, 2010). En este sentido, Wang *et al.*, (2025) observaron que, a mayor concentración de residuos avícolas en las mezclas de compost, la CE aumentaba y la diversidad microbiológica disminuía. Esta tendencia también fue observada por otros autores, quienes demostraron que los compost a base de residuos de pollo tienden a presentar niveles más elevados de sodio y CE (Domene *et al.*, 2025; Cayci *et al.*, 2017).

La relación C:N es un factor fundamental durante el proceso de compostaje (principalmente en las primeras etapas) ya que no solo interfieren como nutrientes esenciales para el crecimiento microbiano, sino que también es un indicador de la maduración del compost final (Chung *et al.*, 2021). La relación C:N tiende a disminuir hacia el final del proceso, ya que el carbono se pierde como CO₂ por respiración (debido a la intensa actividad microbiana), mientras que el nitrógeno tiende a permanecer en formas orgánicas e inorgánicas más estables (Xiao *et al.*, 2024; Ravindran & Mnkeni, 2016). En este sentido, diversos autores coinciden en que una relación C:N entre 25:1 y 30:1 al inicio del proceso de compostaje es óptimo para favorecer la abundancia de bacterias fijadoras de nitrógeno y la reducción de organismos patógenos, y evitar grandes pérdidas de carbono y nitrógeno, mientras que una relación C:N entre 10:1 y 20:1 al final del proceso indica que el compost logró una correcta maduración (Xie *et al.*, 2022; Zhang *et al.*, 2020b; Macias-Corral *et al.*, 2019; Azim *et al.*, 2018). En el presente trabajo se registró una relación C:N de 13:1, por lo que podría indicarse que, según esta variable, el compost analizado habría alcanzado una maduración óptima.

En cuanto al análisis microbiológico, el TC a base de residuos de cama de cría de pollo no detectó presencia de *E. coli* ni *Salmonella* sp. Debido a su alto contenido de nutrientes, los compost a base de residuos avícolas están expuestos a la contaminación por patógenos humanos como *Salmonella*, *E. coli*, *Listeria*, *Campylobacter*, *Mycobacterium* y *Staphylococcus* por lo que, si no son tratados correctamente, pequeñas poblaciones de estos patógenos puedan multiplicarse y desencadenar problemas ambientales y en la salud (Urrea *et al.*, 2019; Ravindran & Mnkeni, 2016; Chen & Jiang, 2014; Shepherd *et al.*, 2010). *Salmonella* sp. y *E. coli* son patógenos predominantes en camas de cría de pollos, con poblaciones que pueden alcanzar las 4 y 9,7.10¹ UFC/g, respectivamente, y con una prevalencia de hasta un 100% (Chen & Jiang, 2014; Chinivasagam *et al.*, 2010). Sin embargo, las concentraciones de las poblaciones bacterianas en la materia prima de partida (cama de cría de pollo) pueden variar de acuerdo al tipo de actividad productiva (gallinas ponedoras o pollos de engorde), al sistema de producción (ej., si es intensivo o al aire libre), y al tipo de enmienda que se utiliza junto con los residuos avícolas (ej. biocarbón) (Chung *et al.*, 2021; Omeira *et al.*, 2006). El tratamiento térmico es la técnica más comúnmente utilizada para eliminar patógenos potenciales, aunque en algunas ocasiones no suele ser suficiente para eliminarlos completamente, lo que hace necesaria la combinación de estos procesos con otros métodos químicos y biológicos (Kim *et al.*, 2012; Wilkinson *et al.*, 2011; Singh *et al.*, 2010). En este sentido, la ausencia de *E. coli* y *Salmonella* en el compost analizado en esta tesis estaría indicando que el proceso de compostaje fue correcto en términos de eliminación de patógenos nocivos. Estos resultados concuerdan con otros trabajos donde se evaluaron las concentraciones de ambas bacterias en diferentes condiciones y etapas de procesamiento del compost a base de residuos de cama de pollo: se ha observado que la concentración de bacterias patógenas (incluidas *E. coli* y *Salmonella*) se reducía significativamente en las últimas etapas del compostaje (Chung *et al.*, 2021; Shepherd *et al.*, 2010). Este aspecto también fue observado por Crippen *et al.*, (2021), quienes concluyeron que las rotaciones y el tiempo de compostaje favorecen la reducción gradual de estos patógenos. Por último, se demostró

que la edad y las condiciones de almacenamiento de los residuos de cama de cría de pollo intervienen en la prevalencia de, entre otros, *E. coli* y *Salmonella* (Dunn *et al.*, 2022).

Además de nutrientes, los residuos de cama de cría de pollo tienen una alta diversidad de microorganismos que pueden alcanzar hasta 10^{10} UFC/g, y las bacterias (principalmente las grampositivas como bacilos, lactobacilos, eubacterias, entre otros) representan más del 80% de dicha diversidad (Ho *et al.*, 2022; Bolan *et al.*, 2010). En la presente tesis se aislaron seis colonias bacterianas al azar, de las cuales cinco pertenecen al género *Bacillus* y una al género *Pseudomonas*. Este resultado coincide con Gorliczay *et al.* (2021), quienes evaluaron la diversidad de microorganismos de un té de compost que contenía estiércol de pollo y de gallina, y concluyeron que los géneros *Bacillus*, *Pseudomonas* y *Lysinbacillus* fueron dominantes. La alta dominancia de estos géneros en compost sólidos de residuos avícolas también ha sido reportada por otros autores (Zhan *et al.*, 2023; Zhang *et al.*, 2018; Charbonneau *et al.*, 2012). Según los resultados de MALDI-TOF, la presencia de colonias del género *Bacillus* fue mayor. En este sentido, Zhan *et al.*, (2023) observaron que el género *Pseudomonas* dominó en las primeras etapas del compostaje, y disminuyó en la segunda fase, mientras que los *Bacillus* mantuvieron la abundancia de sus poblaciones durante todo el proceso. Se ha reportado que los *Bacillus* tienen capacidad de formar esporas latentes en condiciones ambientales adversas (como las altas temperaturas) y que, además, presentan buena simbiosis con otros microorganismos presentes durante el compostaje (Zhan *et al.*, 2023; Zhang *et al.*, 2021). Este aspecto podría explicar, en parte, la mayor abundancia de *Bacillus* en un producto de compostaje finalizado.

En particular, *B. licheniformis* es una bacteria Gram (+) formadora de endosporas de la familia Bacillaceae (filo Firmicutes) que ha ganado un creciente interés biotecnológico debido a su amplio espectro en la síntesis de compuestos orgánicos (Muras *et al.*, 2021). Según la clasificación basada en la secuencia del ARNr/ADN 16s, esta bacteria es uno de los miembros más comunes del grupo *B. subtilis* (He *et al.*, 2023). Una de las características que más se destaca de *B. licheniformis* es su capacidad de desarrollarse y sobrevivir en un amplio rango de temperaturas, que puede alcanzar hasta los 100°C para algunas de sus cepas (con un óptimo entre aproximadamente 40-60°C), por lo que se considera una bacteria termotolerante (He *et al.*, 2023; Cotta *et al.*, 2021). En este sentido, se ha reportado la presencia de *B. licheniformis* en diferentes tipos de ambientes que incluyen aguas termales, sedimentos geotérmicos, tejidos de plantas, depósitos petrolíferos, suelos de cultivo, etc. (He *et al.*, 2023). En concordancia con nuestros resultados, diferentes trabajos reportaron el aislamiento de *B. licheniformis* de compost a base de residuos avícolas (Onajobi *et al.*, 2023; Zouari *et al.*, 2020; Vigneshwaran *et al.*, 2010), y de residuos avícolas en combinación con muestras de paja (Zainudin *et al.*, 2022; Stanojević *et al.*, 2016).

P. stutzeri es una bacteria Gram (-) heterotrófica de nitrificación-desnitrificación aeróbica, no fluorescente perteneciente a las Proteobacterias (Chen *et al.*, 2020; Bennasar *et al.*, 1996). Si bien la temperatura óptima para el desarrollo de esta especie es de 35-37°C, se han reportado temperaturas de crecimiento a los 4°C y alrededor de los 45°C (Lalucat *et al.*, 2006). Debido a su capacidad de

nitrificación-desnitrificación, *P. stutzeri* se ha reportado como un excelente microorganismo para la eliminación de N-NH₄, con tasas de eliminación de concentraciones de 1500 mg/L en 120 h (Chen *et al.*, 2020; Zhang *et al.*, 2011). Estos autores revelaron que las condiciones óptimas de C:N y pH para la eliminación de N-NH₄ fueron de 10:1 y 7, respectivamente. Estos resultados coinciden con los valores registrados en el análisis químico y microbiológico del TC de esta tesis, ya que los valores de C:N y pH fueron similares (13:1 y 7,3, respectivamente), y no se cuantificó N-NH₄ en el producto final. Otro aspecto importante es que, en términos filogenéticos, *P. stutzeri* es una especie compleja ya que sus cepas comprenden un amplio espectro de características fenotípicas y genotípicas (Cladera *et al.*, 2004; Bannasar *et al.*, 1996). Debido a esta diversidad, *P. stutzeri* ha sido aislada de hábitats muy diversos y extremos que incluyen, entre otros, muestras clínicas, suelos, mar, aguas residuales, sedimentos profundos, residuos sólidos urbanos (Bera & Tank, 2021; Dutta *et al.*, 2016; Mulet *et al.*, 2008; Cladera *et al.*, 2004), y estiércol de vacunos y cerdos (Li *et al.*, 2024; Chen *et al.*, 2020; Falodun & Musa, 2020; Zhang *et al.*, 2011). Sin embargo, no se encontraron trabajos donde hayan aislado *P. stutzeri* de residuos avícolas, por lo que esta tesis sería el primer reporte de aislamiento de dicha bacteria en un compost a base de residuos de cama de cría de pollo.

1.5 Conclusión

En el presente capítulo se caracterizaron los parámetros químicos y microbiológicos de un té de compost (TC) proveniente de residuos de cama de cría de pollo, y se aislaron bacterias con potencial interés en aplicaciones agronómicas. El TC presentó un importante aporte de los macronutrientes NPK (con ausencia de nitrógeno en forma de amonio, N-NH₄), un pH óptimo y una relación C:N acorde para el correcto desarrollo de la comunidad microbiológica. Si bien la CE y el contenido de sodio total fueron algo elevado, estos parámetros estuvieron acordes a otros trabajos donde se evaluaron las propiedades fisicoquímicas de compost de residuos avícolas. Además, el análisis microbiológico confirmó la ausencia de bacterias patógenas para la salud humana, a saber, *E. coli* y *Salmonella* sp. Por otro lado, se aislaron seis bacterias pertenecientes al género *Bacillus* (predominante) y *Pseudomonas*. Durante la identificación molecular se obtuvieron amplificaciones con tres genes diferentes (16s, GyrA y rpoD) para las tres especies seleccionadas de los aislamientos. Las comparaciones de las secuencias obtenidas con la base de datos GenBank confirmaron dos especies bacterianas: *B. licheniformis* y *P. stutzeri*. Los resultados obtenidos en este capítulo confirman que el TC es seguro para ser utilizado como enmienda orgánica en cultivos agronómicos debido a su contenido de nutrientes y a la ausencia de microorganismos patógenos. Adicionalmente, las bacterias aisladas e identificadas podrían ser potenciales microorganismos para promover el crecimiento de cultivos de interés agronómico.



CAPÍTULO 2

**El té de compost y las bacterias
como biofertilizante y
promotoras de crecimiento
vegetal en cultivos de frutilla**

2.1 Introducción

Los suelos son sistemas multifuncionales extremadamente complejos y altamente dinámicos, donde los componentes interactúan en múltiples procesos químicos, físicos y biológicos (Urre *et al.*, 2019). Debido a esta complejidad, la manipulación errónea de alguna de estas componentes puede afectar la aptitud y la salud de los mismos, alterando su capacidad para sostener la productividad biológica, la calidad ambiental y la productividad (Doran & Zeiss, 2000). En las últimas décadas, la necesidad de producir más alimentos ha contribuido a la disminución de la disponibilidad de tierras cultivables y a la pérdida de productividad de suelos agrícolas en términos de disminución de materia orgánica, erosión, contaminación y pérdida de la biodiversidad (Kirschenmann, 2010). El principal motivo de esta pérdida radica en el uso reiterado de fertilizantes sintéticos para garantizar el rendimiento y la calidad de los alimentos. Estos fertilizantes proporcionan nutrientes a las plantas de forma inmediata, pero no mejoran la salud de la tierra ni reemplazan la materia orgánica de la misma. Más bien, se producen daños en los suelos y contaminación en las aguas superficiales y subterráneas debido a la rápida mineralización de la materia orgánica (y la consecuente disminución de las reservas de carbono y la capacidad de intercambio catiónico), y a la acumulación excesiva de nutrientes (Agegnehu *et al.*, 2017; Hernández *et al.*, 2016). Este escenario plantea la necesidad de buscar alternativas a la fertilización convencional que permitan alcanzar el mayor rendimiento y calidad posible, sin alterar la salud de los suelos.

El reciclaje de residuos orgánicos y la utilización de microorganismos promotores de crecimiento vegetal son considerados una alternativa para lograr una producción de alimentos sostenible (Ho *et al.*, 2022). Alrededor del mundo, se producen grandes cantidades de residuos orgánicos que incluyen desechos agrícolas, forestales, municipales y residuos del procesamiento de alimento y cría de animales. El costo económico y ambiental en torno a la eliminación de estos residuos es muy alto, lo que ha incentivado a investigar las formas de mantener estos subproductos en su máximo valor y utilidad en todo momento (Ekins *et al.*, 2019). En particular, la reutilización de subproductos en los suelos podría contribuir a compensar y restaurar la disminución de la materia orgánica al contribuir como fuente de carbono y nutrientes (Sánchez-Monedero *et al.*, 2019).

Como se mencionó en el apartado 1.1 del Capítulo 1, el compostaje es una forma de transformar residuos en productos con valor agregado. El resultado final de este proceso es la liberación de productos y subproductos como H_2O , CO_2 , NH_3 , SO_4^{2-} , sustancias orgánicas complejas representadas por grupos como $COOH$ aromático, OH alifático y OH fenólico, las cuales actúan como precursores de sustancias húmicas, minerales y estimulan la presencia de microorganismos beneficiosos (Ho *et al.*, 2022; De Corato, 2020). Estas sustancias son beneficiosas para las actividades agronómicas, ya que mejoran la retención de agua, la porosidad, la estructura y el pH del suelo, promueven la estabilización del carbono mediante la formación de complejos organominerales, aumentan el contenido de nutrientes, y regulan la presencia de enfermedades (Urre *et al.*, 2019; Guo *et al.*, 2019; Almendro-Candel *et al.*, 2018; Plaza *et al.*, 2016), incluso en suelos con moderada o alta salinidad (Lakhdar *et al.*, 2009; Nasef

et al., 2009). Al igual que los compost sólidos, los té de compost contienen microorganismos y restos útiles capaces de proteger y estimular el crecimiento de las plantas (Zaccardelli *et al.*, 2018) (Figura 6). Algunos trabajos han evaluado los efectos de té de compost provenientes de diversas fuentes (residuos agrícolas, estiércol vacuno y de pollo, entre otros), sobre la calidad y fertilidad de diferentes cultivos como el rábano, tomate, frutilla, melón, lechuga, azúcar, cebolla, sorgo, albahaca y brócoli (Abubaker *et al.*, 2024; Pilla *et al.*, 2023; Ros *et al.*, 2020; Eudoxie & Martin, 2019; Pane *et al.*, 2014; El-Gizawy *et al.*, 2014; Hargreaves *et al.*, 2009). Los resultados demostraron que los té de compost aplicados tanto en el suelo como como en la parte aérea de la planta mejoraron el rendimiento, las propiedades bioquímicas y la calidad de los cultivos al aumentar la biomasa vegetal, el crecimiento de las plantas, el contenido de macro y micronutrientes, la población microbiana benéfica, la capacidad de absorción de NPK, y ciertos parámetros organolépticos como los sólidos solubles totales, la firmeza, y el contenido de azúcares, antocianinas y vitamina C.

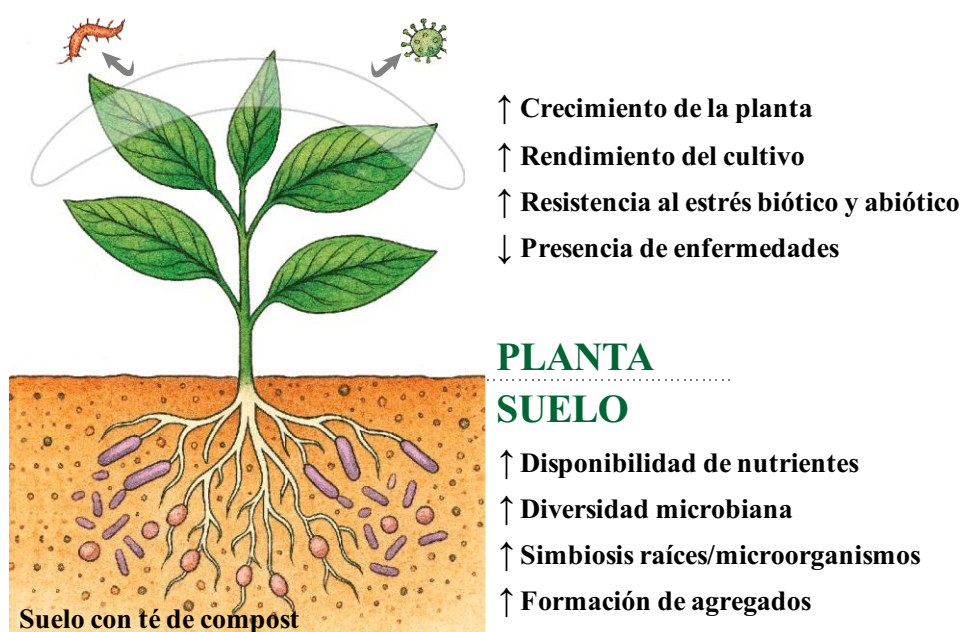


Figura 6. Mecanismos de acción de los té de compost. Imagen modificada de Yin *et al.*, (2025)

Los té de compost son ricos en microorganismos como bacterias y hongos (Gorliczay *et al.*, 2021). Estos desempeñan importantes funciones en el suelo como la descomposición de la materia orgánica, la fijación de nitrógeno, la producción de hormonas de crecimiento vegetal y, además, pueden aumentar la diversidad y abundancia microbiana y suprimir los patógenos del suelo (Yin *et al.*, 2025). En particular, muchas bacterias se consideran promotoras del crecimiento vegetal (PGPB, por sus siglas en inglés *Plant Growth Promoting Bacteria*), lo que ha generado un gran interés en el sector agronómico para la formulación de inoculantes biológicos. Por definición, las PGPB son microorganismos que tienen la capacidad de transformar los nutrientes del suelo (a través de procesos de movilización y solubilización) para que estén disponibles para las plantas (Ahmed *et al.*, 2019). Las PGPB han

adoptado diferentes mecanismos de acción que favorecen tanto al desarrollo como a la salud de los diferentes cultivos; estos mecanismos pueden ser directos o indirectos (Mohanty *et al.*, 2021; Morales-Cedeño *et al.*, 2021; Ahmed *et al.*, 2019) (Figura 7). En particular, los géneros *Bacillus* y *Pseudomonas* se consideran géneros dominantes en la mayoría de los téis de compost (Yin *et al.*, 2025; Campana *et al.*, 2025). A su vez, diferentes trabajos de revisión han destacado el desarrollo de muchas de las características mencionadas en la Figura 7 por parte de ambos géneros bacterianos (Adeleke & Babalola, 2022; Ahmed *et al.*, 2019; Kenneth *et al.*, 2019; Santoyo *et al.*, 2012):

- Tienen la capacidad de inducir la Resistencia Sistémica Inducida (RSI) de las plantas, actuando en la defensa de las mismas contra otros microorganismos y el entorno.
- Pueden sintetizar hormonas involucradas en el crecimiento vegetal como ácido indolacético (AIA), ácido abscísico (ABA) y giberelinas.
- Sintetizan una amplia variedad de antibióticos que actúan contra patógenos vegetales.
- Tienen la capacidad de fijar nitrógeno y solubilizar fosfatos.
- El género *Bacillus* se ha destacado por la producción de citoquininas (hormona involucrada en el crecimiento vegetal) y lipopéptidos (que funcionan como antagonistas contra patógenos).
- El género *Pseudomonas* se ha destacado por la producción de sideróforos, los cuales tienen la capacidad de quelar el hierro del suelo y reducir su disponibilidad para otros microorganismos.

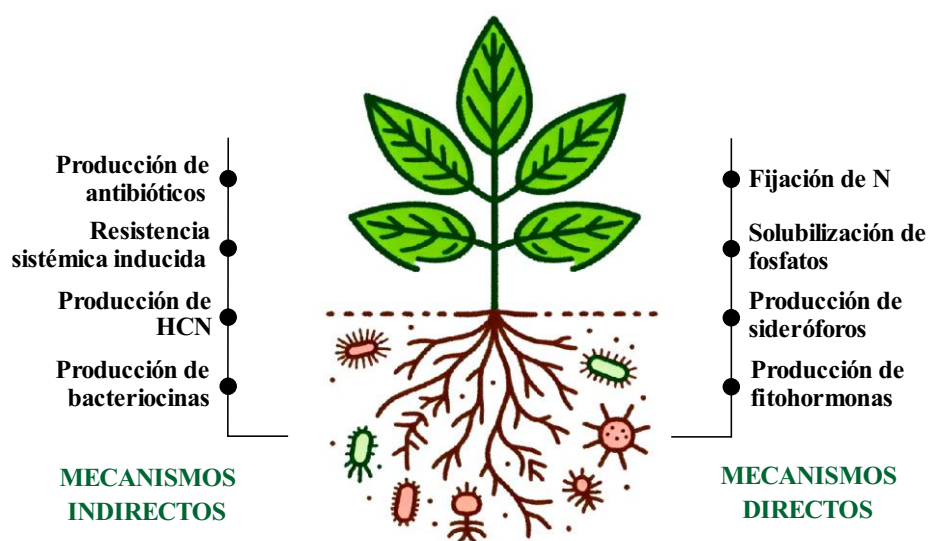


Figura 7. Mecanismos de acción directos e indirectos de las bacterias promotoras de crecimiento.

Por lo antes mencionado, el **objetivo del Capítulo 2** fue evaluar un té de compost (TC) de residuos de cama de cría de pollos y dos bacterias aisladas del TC (*B. licheniformis* y *P. stutzeri*), como biofertilizante y promotoras de crecimiento vegetal sobre parámetros productivos de cultivos de frutilla.

2.2 Materiales y métodos

2.2.1 Lugar de trabajo y preparación de plantines

El ensayo se desarrolló bajo un macrotúnel ubicado en el Campus FAVE de la ciudad de Esperanza, provincia de Santa Fe, durante 7 meses (junio a diciembre) (Figura 8). El uso de macrotúneles en los cultivos de frutilla es una tecnología que la localidad de Coronda (zona productora por excelencia en la región centro/sur de la provincia de Santa Fe) viene implementando hace algunos años y de la cual es pionera. Esta reciente tecnología tiene varias ventajas tanto estructuralmente como productivamente, ya que se puede armar y desarmar durante la etapa de cultivo, brinda protección climática, ha demostrado aumentar el volumen de producción primicia respecto al sistema tradicional de microtúnel, y ha reducido los problemas de deformación de frutos (Pernuzzi *et al.*, 2017). Se utilizaron plantines cv 'San Andreas', los cuales fueron suministrados por la empresa Patagonia Agrícola S.A. de la ciudad de Coronda, provincia de Santa Fe. Las características de vigor y sanidad de los mismos fueron similares al momento de su implantación. Los plantines se implantaron en macetas de 3 L, y se utilizó un suelo de tipo franco-arenoso, el cual se colectó en cercanías de un predio destinado a este cultivo de la ciudad de Coronda (31°54'27.0"S 60°54'04.6"W) a una profundidad de entre 0 y 15 cm. Posteriormente, se eliminaron los restos vegetales y se esterilizó en estufa por 2 horas a 180°C. Se estableció un diseño completamente aleatorizado con 4 repeticiones teniendo en cuenta los siguientes tratamientos:

- **(Con)** control sin aplicaciones;
- **(FerC)** aplicación de un fertilizante comercial con NPK a dosis comercial;
- **(D1Té)** dosis 1 de TC (30 mL Té/10 L agua desmineralizada) aplicada por fertirriego;
- **(D2Té)** dosis 2 de TC (60 mL Té/10 L agua desmineralizada) aplicada por fertirriego;
- **(BL)** solución de *B. licheniformis* 0,5 MF ($1,5 \cdot 10^8$ células/mL) aplicada por fertirriego; y
- **(PS)** solución de *P. stutzeri* 0,5 MF ($1,5 \cdot 10^8$ células/mL) aplicada por fertirriego.

Cada mes se aplicaron 100 mL/maceta de cada tratamiento, a excepción del fertilizante comercial (NPK), el cual se aplicó sólo una vez al inicio del ensayo. Durante todo el ciclo, las plantas se regaron con agua desmineralizada para evitar el ingreso de cualquier nutriente o microorganismo externo a los respectivos tratamientos.



Figura 8. Desarrollo del ensayo en plantas de frutilla bajo macrotúnel. Campus FAVE (Esperanza, SF).

2.2.2 Análisis químico del suelo

Para cada tratamiento, se realizó una evaluación inicial (antes de la implantación de los plantines) y final (al culminar el ciclo del cultivo) de los parámetros químicos del suelo, con el fin de determinar los aportes nutricionales de los tratamientos propuestos, el consumo de los mismos por parte de las plantas y el remanente en el suelo. En la Tabla 6 se resumen las técnicas y las unidades utilizadas para cada parámetro.

Tabla 6. Parámetros, técnicas y unidades utilizadas para el análisis químico del suelo inicial y final del cultivo.

Parámetro	Técnica	Unidad
Materia orgánica (MO)	Método Walkey & Black	g/kg
Nitrógeno total (N total)	Método Kjeldahl	g/kg
Fósforo disponible (P disp.)	Método Bray & Kurtz N°1	mg/kg
Fósforo total (P total)	Extracción con ácido nítrico, absorción atómica	mg/kg
pH	Relación suelo:agua (1:2,5)	
Conductividad eléctrica (CE)	Pasta de saturación	dS/m
Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	Extracción con NH ₄ Ac y destilación	cmolc/kg
Calcio y magnesio intercambiables (Ca ²⁺ , Mg ²⁺)	Extracción con NH ₄ Ac, titulación con EDTA	mg/kg
Sodio y potasio intercambiables (Na ⁺ , K ⁺)	Extracción con NH ₄ Ac, fotometría de llama	mg/kg
Ca, Mg, Na, K, Zn, Mn, Fe, Cu total	Método de extracción con ácido nítrico. ICP masas	mg/kg

2.2.3 Evaluación de parámetros vegetativos y productivos

2.2.3.1 Desarrollo foliar

Una vez al mes, se registró el número de hojas y el área foliar (cm²) de cada planta. Para el área foliar se tomó el largo y el ancho de la hoja. El área foliar se multiplicó por un factor de conversión para corregir la sobreestimación causada por la geometría irregular de las hojas que, para la frutilla, fue de 0,75. En tres estadios del cultivo (julio, octubre y diciembre) se colectaron dos hojas por planta (ocho por tratamiento) para medir el contenido de macro y micronutrientes foliares. Para el nitrógeno y el fósforo total se utilizaron el método Kjeldahl y el método del ácido ascórbico, respectivamente, mientras que para Na, K, Ca, Mg, Cu, Zn, Mn y Fe total se utilizó una extracción con ácido nítrico y posterior ICP-MS. El contenido de cada nutriente se expresó en partes por millón (ppm).

2.2.3.2 Rendimiento del cultivo

Los frutos se colectaron alcanzada su madurez; se registró el peso (g) y el largo y ancho (cm) de cada uno. Para analizar la productividad respecto al tamaño de la fruta, cada frutilla fue clasificada en cuatro grupos según el peso: frutas descartadas (peso < 7 g); frutas chicas (7-15 g); frutas medianas (15-25 g); frutas grandes (> 25 g).

2.2.3.3 Color y firmeza

El color se midió con un colorímetro digital en dos puntos de la zona ecuatorial del fruto; se registraron los valores de L^* , a^* y b^* , que corresponden al sistema de color CIELab (definido por la *Commission Internationale de l'Eclairage*): L^* indica brillo, y puede tomar valores de 0 (blanco) a 100 (negro); a^* indica la zona de variación entre el rojo ($a > 0$) y verde ($a < 0$) en el espectro; y b^* indica la zona de variación entre amarillo ($a > 0$) y azul ($a < 0$) en el espectro. Posteriormente, se calculó el Índice de Color (IC) mediante la siguiente fórmula (ecuación 1):

$$IC = (a^* \times 1000)/(L^* \times b^*) \quad (1)$$

IC puede tomar valores negativos o positivos (Vignoni *et al.*, 2006):

- IC < 40 a -20: relaciona los colores que van desde el azul-violeta al verde profundo.
- IC -20 a -2: relaciona los colores que van desde el verde profundo al verde amarillento.
- IC -2 a 2: representa el amarillo verdoso.
- IC 2 a 20: relaciona los colores que van desde el amarillo pálido al naranja intenso.
- IC = 20 a > 40: relaciona los colores que van desde el naranja intenso al rojo profundo.

La firmeza se registró con un durómetro digital de punta plana en dos puntos de la zona ecuatorial del fruto. Los resultados se expresaron en °Shore, el cual puede adoptar valores desde 0 a 100 (100 °Shore representa la dureza máxima).

2.2.3.4 Sólidos solubles totales (SST) y acidez

Se seleccionaron al azar seis frutos por tratamiento, los cuales se maceraron en un mortero para obtener el jugo. El contenido de SST se realizó mediante lectura directa con un refractómetro digital. Para esto, se colocó una gota de jugo en el prisma del refractómetro y se registró la correspondiente lectura. Se realizaron dos lecturas por cada unidad experimental. Los valores se expresaron en °Brix (°Bx). Los grados Brix son relativos al contenido de sólidos disueltos (principalmente sacarosa) en un líquido; por ejemplo, 1°Bx significa que hay 1 g de sólidos disueltos cada 100 g de solución.

La acidez se midió mediante una titulación ácido-base. Se añadieron dos gotas de fenolftaleína al jugo como indicador y luego se realizó la valoración con NaOH 0,1 N. Cuando la muestra alcanzaba un color rosa persistente durante la agitación, se daba por terminada la titulación y se registraba la cantidad

de NaOH 0,1 N consumido. El contenido de ácidos totales fue determinado como equivalente del ácido cítrico (eq. ácido cítrico/mL) mediante la siguiente fórmula (ecuación 2):

$$\text{Acidez (eq. ácido cítrico/mL)} = \text{mL NaOH consumidos} * N * (\text{PM Ac/Neq Ac}) \quad (2)$$

Donde: (N) es la normalidad del NaOH (= 0,09544); (PM Ac) es el peso molecular del ácido cítrico (= 192 g/mol); y (Neq Ac) es el número de equivalente del ácido cítrico (= 3).

2.2.3.5 Cuantificación de antocianos, ácido ascórbico, compuestos fenólicos y actividad antioxidante

Se prepararon 12 extractos etanólicos para cada tratamiento. Para esto, se utilizaron tubos de hemólisis a los cuales se añadieron 700-750 mg de fruta y 2 mL de EtOH (Figura 9a). Los tubos se incubaron en oscuridad a 20°C por 24 h. Luego se centrifugaron por 15 min a 4 rpm, se trasvasaron a nuevos tubos para descartar el pellet y se cuantificaron las siguientes variables:

Contenido de antocianos: se registró por medición directa del extracto en espectrofotómetro a 540 nm (Figura 9b). El contenido total de antocianos se calculó con la fórmula propuesta por Abdel-Aal & Hucl, (1999) (ecuación 3) y los resultados se expresaron en mg de cianidina-3-glucósido por gramo de muestra (mg C3G/g):

$$\text{Antocianos (mg C3G7g)} = (A/\epsilon) \times (V/1000) \times \text{PM} \times (1/\text{peso de la muestra}) \times 10^3 \quad (3)$$

Donde: (A) es la Abs. de la muestra; (ϵ) es la Abs. molar de la cianidina-3-glucósido (= 25.965 cm⁻¹ M⁻¹); (V) es el volumen total del extracto de antocianinas; y (PM) es el peso molecular de la cianidina-3-glucósido (= 449 g/mol).

Contenido de ácido ascórbico: se determinó según el método de Klein & Perry, (1982). Para esto se partió de 200 µL de extracto, y se añadieron 250 µL de buffer acetato de sodio (400 mM, pH4), 80 µL de 2,6-dicloroindofenol y 1470 µL de H₂O destilada. Luego se midió la absorbancia a 515 nm en espectrofotómetro (Figura 9c). El contenido de ácido ascórbico se calculó sobre la base de la curva de calibración de ácido L-ascórbico auténtico ($y = \frac{1}{4} 3,0062x + 0,007$; $R^2 = 0,9999$), y los resultados se expresaron en mg de ácido ascórbico por gramo de muestra (mg AA/g).

Contenido de compuestos fenólicos (CF): el contenido de CF se midió según Singleton *et al.*, (1999), el cual fundamenta que los compuestos fenólicos reducen el reactivo de Folin-Ciocalteu (reactivo fosfotúngstico y fosfomolibdico) para formar un compuesto azulado que absorbe a 765 nm. Para cada tubo se tomó una alícuota de 250 µL, y se añadieron 1250 µL de H₂O destilada y 100 µL del reactivo Folin-Ciocalteu. Los tubos se dejaron reposar por 2 min y se añadieron 200 µL de Na₂CO₃ al 7,5%. Luego, se llevaron a baño maría a 50°C por 5 min y se realizó la lectura en espectrofotómetro a 765 nm (Figura 9d). El contenido de CF se calculó mediante la curva de calibración del ácido gálico ($y =$

0,1012x; $R^2 = 0,9994$) y los resultados se expresaron en mg de ácido gálico por gramo de muestra (mg AG/g).

Actividad antioxidante: se determinó usando el catión radical 2,2'-azino-bis (3-etilbenzotizolin-6-sulfonato) ($ABTS^{\cdot+}$) (Miller *et al.*, 1993). Este compuesto es de color azul/verdoso y presenta máximos de absorbancia a 734 nm que, al ser reducido por una especie radical o por una molécula antioxidante, sufre decoloración (Figura 9e). El grado de decoloración es proporcional a la capacidad antioxidante de la muestra. La solución madre de $ABTS^{\cdot+}$ se diluyó en EtOH hasta obtener valores de absorbancia de $0,7 \pm 0,02$ a 734 nm en espectrofotómetro (Abs referente). Para la reacción se utilizaron 250 μ L de alícuota y 250 μ L de $ABTS^{\cdot+} \pm 0,7$ Abs. Por último, se realizó la lectura en espectrofotómetro a 734 nm de cada extracto, y se calculó la actividad antioxidante como el porcentaje de decoloración del radical $ABTS^{\cdot+}$ con la siguiente fórmula (ecuación 4):

$$\text{Actividad antioxidante (\%)} = ((A_0 - A_M)/A_0) \times 100 \quad (4)$$

Donde: (A_0) es la Abs del referente ($\approx 0,7$); y (A_M) es la Abs en presencia de la muestra.

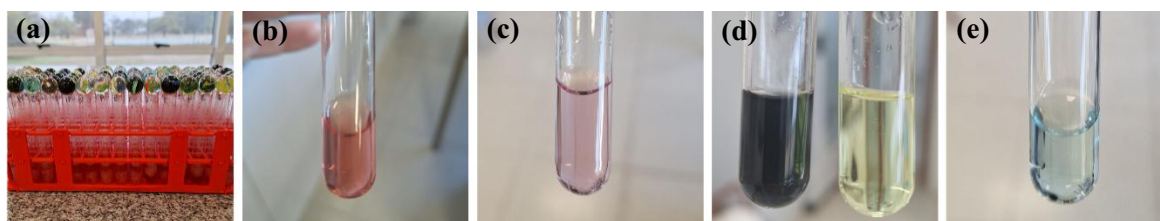


Figura 9. Determinaciones bioquímicas de los frutos. Reacciones: (a) extractos; (b) antocianos; (c) ácido ascórbico; (d) compuestos fenólicos (izq. muestra, der. blanco); y (e) actividad antioxidante.

2.2.4. Evaluación *in vitro* de mecanismos de acción de las bacterias

2.2.4.1 Solubilización de fosfatos

Se utilizó un medio de cultivo específico para detectar la solubilización de fosfatos por las bacterias. El medio se compuso de agar, $MgCl_2$, $MgSO_4$, $NaCl$, KCl , $(NH_4)_2SO_4$, $MnSO_4$, $FeSO_4$ y $Ca_3(PO_4)$ como única fuente de fósforo, y se ajustó a un pH de 7,2 (Qian *et al.*, 2010). El medio se vertió en placas de Petri de 90x15 mm y se sembraron 10 μ L de cada bacteria por triplicado. Las placas se incubaron a 37°C por 48 h. La formación de un halo transparente alrededor de la bacteria indica un resultado positivo en la solubilización de fosfatos.

2.2.4.2 Producción de fitasas

Para evaluar la capacidad de las bacterias de producir fitasas se siguió la metodología descrita por Kerovuo *et al.*, (1998). Se utilizó un medio de cultivo compuesto de agar 1,8%, glucosa, fitato, $CaCl_2$, NH_4NO_3 , KCl , $MgSO_4$, $MnSO_4$ y $FeSO_4$, ajustado a un pH de 5,5. El medio se vertió en placas de Petri de 90x15 mm y se sembraron 10 μ L de cada bacteria por triplicado. Las placas se incubaron a 37°C por

48 h. La formación de una región translúcida alrededor de la bacteria indica un resultado positivo en la producción de fitasas.

2.2.4.3 Producción de sideróforos

Para evaluar la producción de sideróforos, se utilizó un medio base (Grimm Allen) y un medio con cromo azurol sulfonato (CAS) (Baakza *et al.*, 2004; Schwyn & Neilands, 1987). En primer lugar, se sembró por duplicado una solución bacteriana en el centro de placas de Petri con el medio base. El inóculo se dejó secar y se añadió el medio CAS hasta cubrir el diámetro de la placa. Las placas se incubaron a 37°C por 48 h. La coloración naranja del medio de cultivo indica un resultado positivo en la producción de sideróforos.

2.2.4.4 Producción de ácido indolacético (AIA)

La cuantificación de AIA se realizó de acuerdo a la metodología descrita por Karimi *et al.* (2012). Las bacterias se sembraron por cuadruplicado en erlenmeyers que contenían 25 mL de un medio de cultivo líquido compuesto por peptona, extracto de levadura, NaCl y triptofano. Dos erlenmeyers de cada bacteria se incubaron a 37°C, mientras que los dos restantes se incubaron a temperatura ambiente (alrededor de 25°C) por 15 días. La concentración de AIA se midió en cuatro momentos: a los 3, 9, 6 y 15 días. Para esto se tomó una alícuota del medio de cultivo y se centrifugó para descartar el pellet bacteriano. Para la reacción, se tomó 1 mL del sobrenadante, 50 µL de ácido fosfórico 10 mM y 2 mL de reactivo AIA (compuesto por 1 mL de FeCl₃ 0,5 M + 50 mL de HClO₄ 35%). Finalmente, las muestras se midieron en un espectrofotómetro a 530 nm. El nivel de AIA se estimó mediante la curva de calibración realizada con AIA estándar ($y = 52,805x + 0,8007$; $R^2 = 0,9995$) y se expresó en microgramos por mililitro (µg/mL).

2.2.4.5 Producción de biofilm

La capacidad de las bacterias para formar biofilm se evaluó según Vero *et al.*, (2013). Se utilizaron placas de 96 pocillos; cada pocillo contenía 180 µL de medio LB líquido, y fueron inoculados con 20 µL de la respectiva suspensión bacteriana a una concentración de 0,5 MF. Adicionalmente, se estableció un blanco sin inocular. Las placas se incubaron a 37°C por 48 h. Luego, los pocillos se vaciaron, se enjuagaron con agua destilada y se dejaron secar a temperatura ambiente. La capa adherente de la biopelícula se tiñó con una solución de cristal violeta al 1% p/v durante 20 min. Pasado este tiempo, los pocillos se enjuagaron con agua destilada, se dejaron secar a temperatura ambiente y se eluyó el colorante de cada pocillo con 200 µL de EtOH. La capacidad de las cepas de producir biopelícula fue clasificada de acuerdo a la densidad óptica obtenida a 620 nm en espectrofotómetro, y se consideró positiva en aquellos pocillos en los que la absorbancia era mayor que la media del blanco más tres desviaciones estándar (Ruzicka *et al.*, 2007).

2.2.5. Análisis estadístico

A excepción del análisis químico de suelo inicial y final, y de la cuantificación de nutrientes en hoja (donde se obtuvo un valor para cada momento y tratamiento), para cada parámetro descripto se realizó un ANOVA unidireccional. Posteriormente, se utilizó el test de Dunnett para establecer comparaciones de medias entre los tratamientos FerC, D1Té, D2Té, BL y PS respecto al control sin aplicaciones (Con). Cuando el estadístico de Dunnett fue menor a 0,05 ($p < 0,05$), se consideró como diferencia estadísticamente significativa. Los análisis se realizarán con el programa Rstudio.

2.3 Resultados

2.3.1 Análisis químico del suelo

El análisis químico del suelo inicial y final se resume en la Tabla 7. El aporte de MO fue bajo hacia el final del ciclo, mostrando valores similares en todos los tratamientos. La CIC, el pH y la CE no se vieron afectados por el aporte del TC y las bacterias, con valores entre 4,4 y 5,1 cmolc/kg para CIC, 6,1-7,6 de pH, y 0,41 a 0,46 dS/m de CE. Respecto a los cationes intercambiables, el Mg^{2+} , Na^+ y K^+ aumentaron hacia el final del ciclo, principalmente en las plantas tratadas con el TC y las bacterias (Tabla 7), mientras que el contenido de Ca^{2+} intercambiable solo se destacó en el tratamiento D1Té (582 mg/kg).

En cuanto al contenido de nutrientes, el N y P total aumentó en todos los tratamientos al final del ciclo, mientras que el P disponible disminuyó levemente respecto al análisis inicial (a excepción del tratamiento FerC). En términos generales, los tratamientos BL y PS mostraron los valores más altos de los nutrientes totales hacia el final del ciclo, a excepción del Ca y el Zn total, los cuales se destacaron en los tratamientos FerC y D1Té (Tabla 7).

Tabla 7. Parámetros químicos del suelo al inicio y al final del ciclo de cultivo.

	Inicial	Final					
		Con	FerC	D1Té	D2Té	BL	PS
MO (g/kg)	0,6	1,0	1,1	1,0	1,2	1,0	1,1
N total (g/kg)	0,3	0,7	1,3	1,1	1,2	1,0	0,8
P disp. (mg/kg)	53,7	47,4	53,9	46,3	50,7	51,1	51,4
P total (mg/kg)	157,5	242,5	204,9	245,9	240,9	179,9	220,5
pH	6,1	7,3	6,1	7,2	7,6	6,9	6,8
CE (dS/m)	0,7	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5
Ca^{2+} (mg/kg)	400,8	258,0	433,4	582,0	282,0	270,0	279,0
Mg^{2+} (mg/kg)	133,8	122,0	117,2	134,0	146,0	158,0	147,0
Na^+ (mg/kg)	46,0	46,0	32,2	92,0	69,0	69,0	92,0
K^+ (mg/kg)	391,0	97,7	89,9	125,1	105,6	113,4	101,7
CIC (cmolc/kg)	6,1	4,4	4,9	4,7	4,6	5,0	5,1

Continua...

	Inicial	Con	FerC	D1Té	D2Té	BL	PS
Ca total (mg/kg)	439,4	256,0	476,9	743,0	286,0	265,0	276,0
Mg total (mg/kg)	801,3	602,0	634,3	559,0	596,0	664,0	616,0
Na total (mg/kg)	1062,0	909,0	1132,1	804,0	634,0	1268,0	1171,0
K total (mg/kg)	1149,0	938,0	854,0	882,0	944,0	974,0	961,0
Cu total (mg/kg)	26,9	3,8	4,8	6,3	6,9	19,4	6,9
Fe total (mg/kg)	5066,0	4000,0	3205,0	3593,0	3809,0	4058,0	3913,0
Mn total (mg/kg)	205,6	152,0	128,0	139,0	155,0	180,0	153,0
Zn total (mg/kg)	16,3	10,0	29,0	26,9	14,4	21,3	16,9

2.3.2 Parámetros vegetativos y productivos

2.3.2.1 Desarrollo foliar

Los tratamientos BL y PS mostraron el mejor desarrollo foliar durante todo el ciclo de cultivo, tanto en número de folíolos como en área foliar (Figura 10). En cuanto al número de folíolos, PS, BL y D1Té mostraron diferencias significativas respecto al control (Figura 10a), mientras que el área foliar fue significativamente mayor en ambos tratamientos con bacterias (Figura 10b). En el tratamiento D1Té se contabilizaron muchos folíolos pequeños, lo que coincide con los bajos valores de área foliar. Por otra parte, los tratamientos D2Té y FerC mostraron el menor desarrollo foliar tanto en número de folíolos como en área foliar, incluso respecto al control sin aplicaciones.

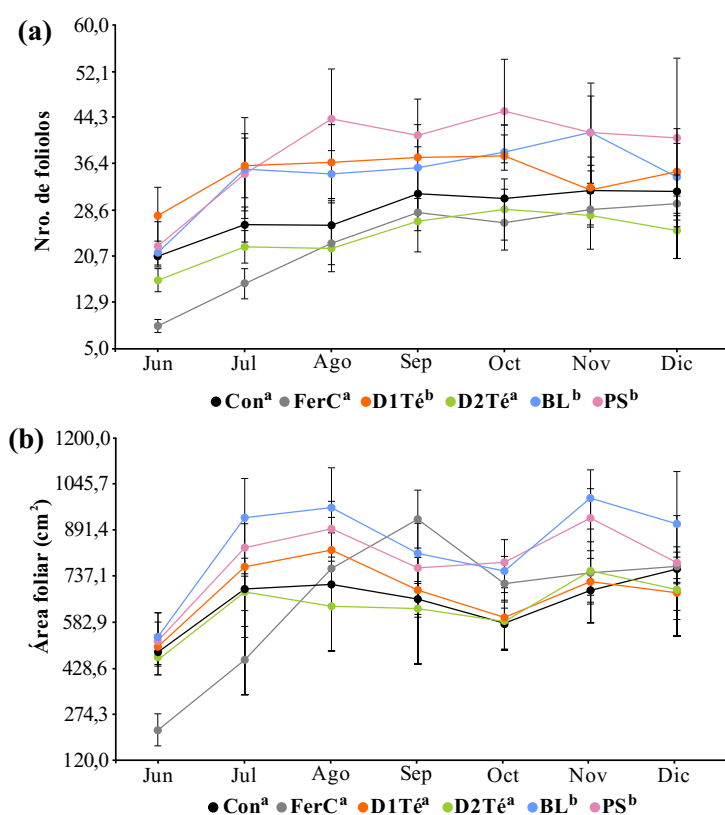
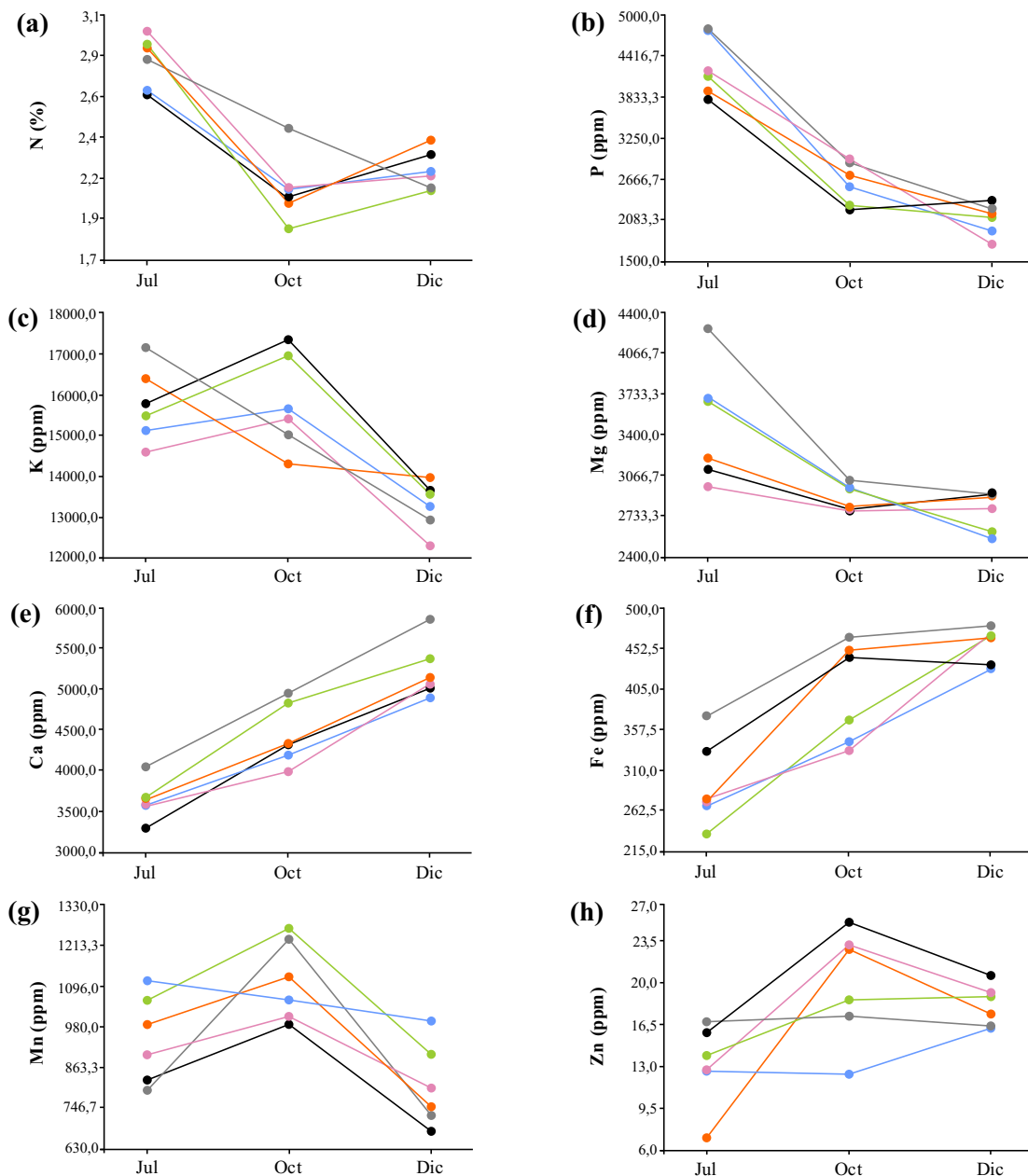


Figura 10. Promedio del (a) número de folíolos y del (b) área foliar para cada mes del ciclo de cultivo. Letras diferentes en los tratamientos indican diferencias estadísticamente significativas respecto al control (Con) (test de Dunnett $p < 0,05$).

Los análisis de nutrientes totales en hoja mostraron, en términos generales, un comportamiento similar en todos los tratamientos (Figura 11). La concentración de N disminuyó a mitad de ciclo y aumentó nuevamente hacia el final para todos los tratamientos, a excepción de FerC (Figura 11a). El contenido de fósforo mostró un comportamiento similar en todos los tratamientos (Figura 11b). Por otro lado, la concentración de Mg y Cu totales disminuyó hacia el final del ciclo para todos los tratamientos (al igual que el Na total), mientras que la concentración de Ca y Fe total se incrementó (Figuras 11d, 11i, 11e, 11f y 11j). Para estos nutrientes, los valores fueron mayores en los tratamientos FerC, D1Té y D2Té. El tratamiento PS se destacó en el contenido de Mg y Fe (Figuras 11d y 11f). Respecto a la concentración de K, Mn y Zn total, en general se observó un importante incremento a mitad de ciclo, seguida de una disminución hacia el final (Figuras 11c, 11g y 11h), siendo el tratamiento D2Té el que más se destacó.



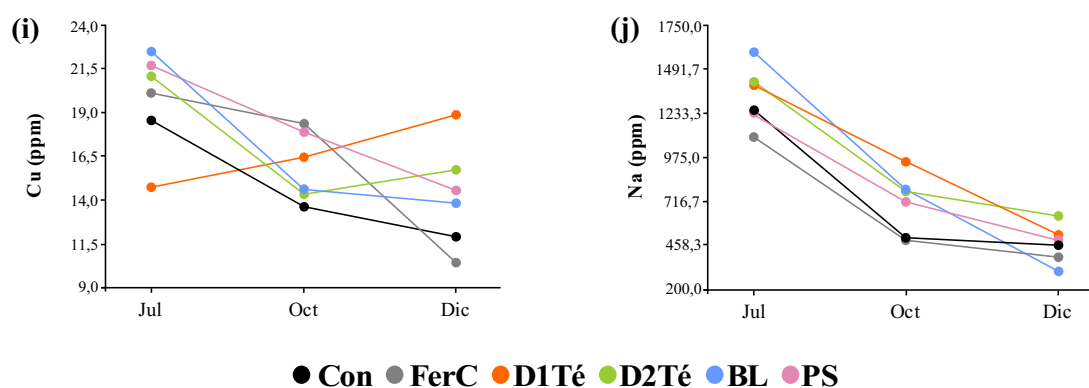


Figura 11. Contenido de (a) nitrógeno total-N, (b) fósforo total-P, (c) potasio total-K, (d) magnesio total-Mg, (e) calcio total-Ca, (f) hierro total-Fe, (g) manganeso total-Mn, (h) zinc total-Zn, (i) cobre total-Cu, y (j) sodio total-Na para tres estadios del cultivo: inicio (Jul), medio (Oct) y final (Dic).

2.3.2.2 Rendimiento del cultivo

Los tratamientos FerC y D2Té registraron el mayor rendimiento en términos de cantidad de frutos y peso acumulado de fruta (Tabla 8). Sin embargo, respecto al tamaño individual de la fruta (peso de c/fruto), los tratamientos BL, PS y FerC mostraron los frutos más grandes (promedio $16,5 \pm 1,4$, $15,7 \pm 1,6$ y $15 \pm 1,3$ g/fruto, respectivamente), y fueron estadísticamente significativo respecto al control (Figura 12). Adicionalmente, los tratamientos BL y PS mostraron los menores porcentajes de frutos de descarte (< 7g), seguido por el tratamiento D2Té (6,5, 6,7 y 12,2% respectivamente) (Tabla 8). Asimismo, los tratamientos BL y PS presentaron, en promedio, los frutos más largos y anchos, aunque no se observaron diferencias estadísticamente significativas respecto al control (Figura 12).

Tabla 8. Rendimiento del cultivo en términos de número total de frutos, gramos de fruta acumulados durante todo el ciclo (de las 4 macetas de cada tratamiento), y categorización de frutos según su peso individual.

Tratamiento	Nro. total de frutos	Gramos (g) de fruta acumulados	Categorización de frutos según su peso individual (%)			
			< 7 g	7-12 g	12-25 g	> 25 g
Con	42	548,4	14,3	75,8	7,5	2,4
FerC	49	735,2	18,4	59,2	12,2	10,2
BL	38	561,4	6,5	77,4	12,9	3,2
PM	45	579,0	6,7	81,2	9,9	2,2
D1Té	41	521,5	12,2	82,5	5,3	0,0
D2Té	47	618,6	17,0	70,3	10,6	2,1

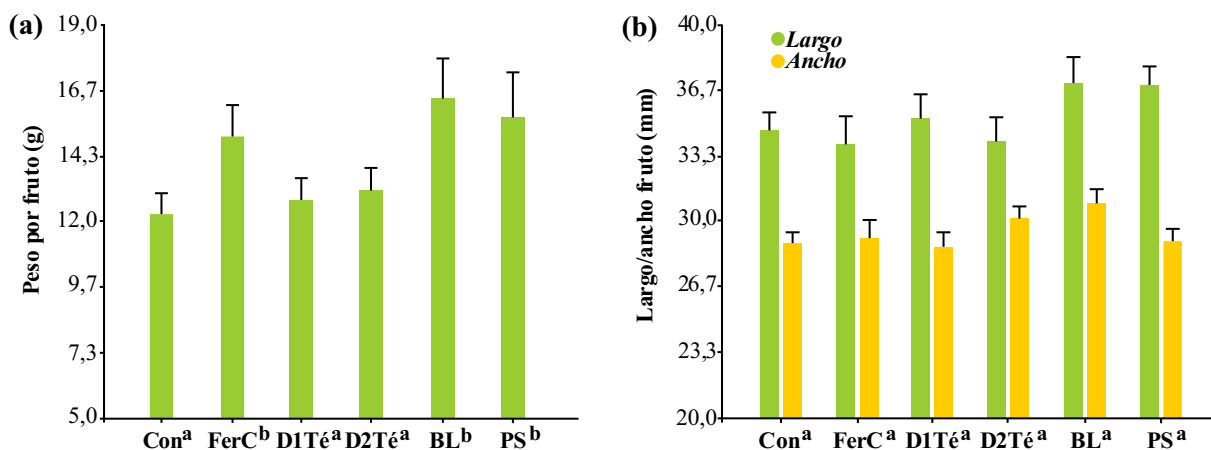


Figura 12. (a) peso y (b) largo/ancho por fruto individual cosechado para cada tratamiento. Letras diferentes en los tratamientos indican diferencias estadísticamente significativas respecto al control (Con) (test de Dunnett $p < 0,05$).

2.3.2.3 Color y firmeza de los frutos

El análisis de colorimetría mostró que los frutos cosechados de los tratamientos con TC, bacterias y el fertilizante comercial desarrollaron un mayor índice de color, y fue estadísticamente significativo para los tratamientos FerC y BL respecto al control (Con) ($65,8 \pm 1,62$, $65,7 \pm 3,5$ y $53,9 \pm 3,1$, respectivamente) (Figura 13a). Respecto a la firmeza de los frutos, todos los tratamientos mostraron una dureza similar (entre 44 y 46 °Shore) y no se observaron diferencias significativas respecto al control (Figura 13b).

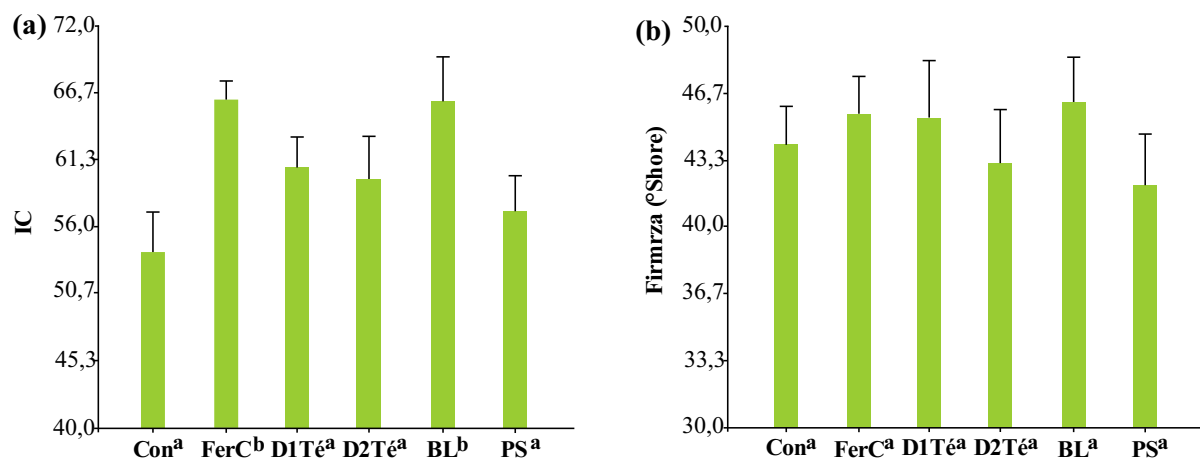


Figura 13. (a) Análisis colorimétrico (índice de color, IC) y de firmeza (en °Shore) de los frutos cosechados para cada tratamiento. Letras diferentes en los tratamientos indican diferencias estadísticamente significativas respecto al control (Con) (test de Dunnett $p < 0,05$).

2.3.2.4 Sólidos solubles totales (SST) y acidez de los frutos

El contenido de SST fue similar para todos los tratamientos y no se observaron diferencias estadísticamente significativas respecto al control (Tabla 9). En cuando a la acidez, si bien los

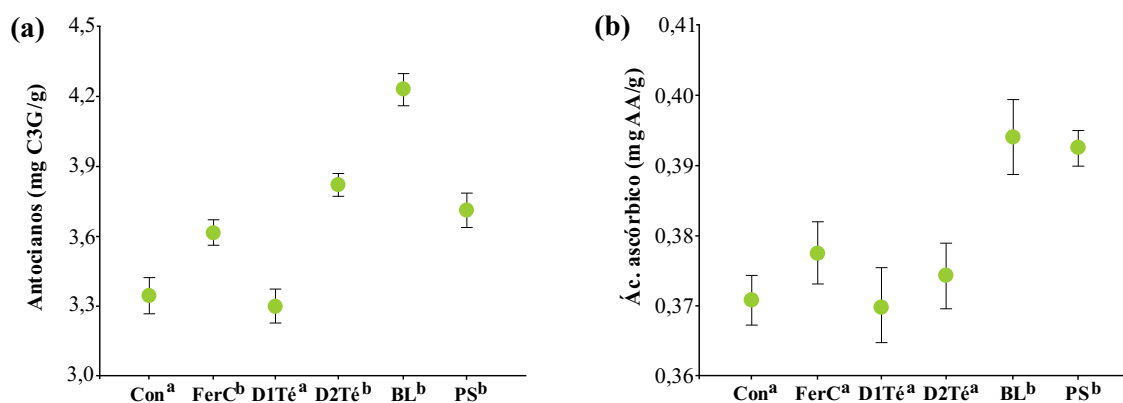
tratamientos PS y D2Té presentaron los valores más altos (13,73 y 13,32 eq. ácido cítrico anhidro/L), estos no fueron estadísticamente significativos (Tabla 9). En concordancia con estos resultados, los ratios indican que los frutos de los tratamientos FerC, BL, PS y D2Té fueron levemente más ácidos, mientras que los frutos de los tratamientos Con y D1Té fueron más dulces; sin embargo, tampoco se observaron diferencias significativas respecto al control.

Tabla 9. Contenido de sólidos solubles totales (SST), acidez y ratio de frutos cosechados para cada tratamiento (media \pm error estándar). Letras diferentes en los tratamientos indican diferencias estadísticamente significativas respecto al control (Con) (test de Dunnett $p < 0,05$).

Tratamiento	SST (°Brix)	Acidez (eq. ác. cítrico anhidro/L)	Ratio
Con	6,82 \pm 0,75 ^a	9,96 \pm 1,14 ^a	0,72 \pm 0,10 ^a
FerC	6,17 \pm 0,35 ^a	11,80 \pm 0,90 ^a	0,54 \pm 0,04 ^a
BL	5,63 \pm 0,42 ^a	10,50 \pm 0,69 ^a	0,55 \pm 0,06 ^a
PS	6,17 \pm 0,23 ^a	13,73 \pm 1,91 ^a	0,55 \pm 0,11 ^a
D1Té	6,90 \pm 0,75 ^a	9,17 \pm 0,55 ^a	0,76 \pm 0,10 ^a
D2Té	6,82 \pm 0,65 ^a	13,32 \pm 1,86 ^a	0,56 \pm 0,07 ^a

2.3.2.5 Cuantificación de antocianos, ácido ascórbico, compuestos fenólicos y actividad antioxidante de los frutos

A excepción del tratamiento D1Té, todos los tratamientos mostraron un contenido de antocianos significativamente mayor respecto al control (Con), siendo el tratamiento BL el más destacado (Figura 14a). En cuanto al contenido de ácido ascórbico, los tratamientos BL y PS manifestaron valores significativamente mayores respecto al control ($0,395 \pm 0,01$, $0,392 \pm 0,0002$ y $0,372 \pm 0,0001$ mg AA/g, respectivamente) (Figura 14b). El contenido de compuestos fenólicos sobresalió significativamente en los tratamientos FerC y BL ($8,4 \pm 0,5$ y $8,4 \pm 0,4$ mg AG/g, respectivamente) (Figura 14c). Finalmente, la actividad antioxidante fue superior en BL, PS y D2Té, aunque solo se observaron diferencias estadísticamente significativas entre BL y el control ($68,3 \pm 3,4$ y $54,7 \pm 3,4\%$, respectivamente) (Figura 14d).



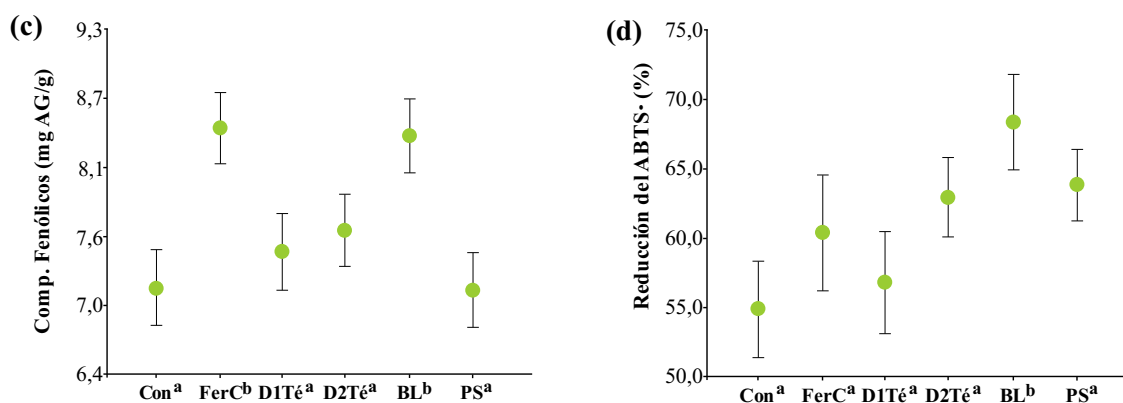


Figura 14. Propiedades bioquímicas de los frutos cosechados para cada tratamiento: (a) contenido de antocianos (mg cianidina-3-glucósido/g), (b) contenido de ácido ascórbico (mg ácido ascórbico/g), (c) contenido de compuestos fenólicos (mg de ácido gálico/g), y (d) actividad antioxidante (% actividad decolorante del radical ABTS·/g). Letras diferentes en los tratamientos indican diferencias estadísticamente significativas respecto al control (Con) (test de Dunnett $p < 0,05$).

2.3.3. Evaluación *in vitro* de mecanismos de acción de las bacterias

Los resultados se resumen en la Tabla 10. El análisis *in vitro* de solubilización de fosfatos fue negativo, ya que no se observó la formación de un halo transparente alrededor de la bacteria inoculada. Sin embargo, ambas bacterias mostraron una respuesta positiva en el ensayo de producción de fitasas, mediante la formación de un halo transparente alrededor de las colonias (Figura 15a). Respecto al ensayo de producción de sideróforos, se observó una clara coloración naranja en el medio de cultivo de *P. stutzeri*, lo que indica un resultado positivo (Figura 15b); el cultivo de *B. licheniformis* también mostró una coloración naranja en el medio de cultivo, pero, en comparación con *P. stutzeri*, fue menos marcada (Figura 15b).

Tabla 10. Mecanismos de acción *in vitro* de *B. licheniformis* y *P. stutzeri*.

Mecanismo	<i>B. licheniformis</i>	<i>P. stutzeri</i>
Solubilización de fosfatos	-	-
Producción de fitasas	+	+
Producción de sideróforos	+ (leve)	+
Producción de AIA	+	+
Producción de biofilm	+ (leve)	+ (leve)

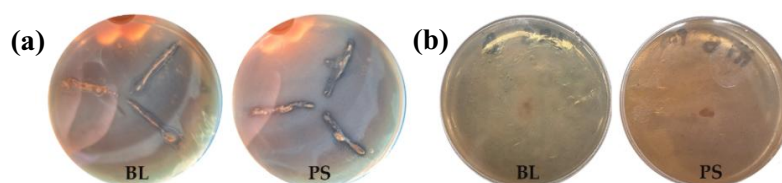


Figura 15. Evaluación *in vitro* de (a) producción de fitasas y (b) producción de sideróforos para *B. licheniformis* (BL) y *P. stutzeri* (PS).

Respecto a la producción de AIA, ambas bacterias mostraron resultados positivos tanto a 37°C (Figura 16a) como a temperatura ambiente (25°C) (Figura 16b) (Tabla 10). En particular, *P. stutzeri* mostró una mayor producción de AIA respecto a *B. licheniformis* en ambas temperaturas, alcanzando los 10,36 y 9,3 µg AIA/mL a los 25°C y 37°C, respectivamente. *B. licheniformis* produjo AIA de forma exponencial a los 25°C, pero a los 37°C disminuyó su producción a los 15 días del cultivo (Figura 16a).

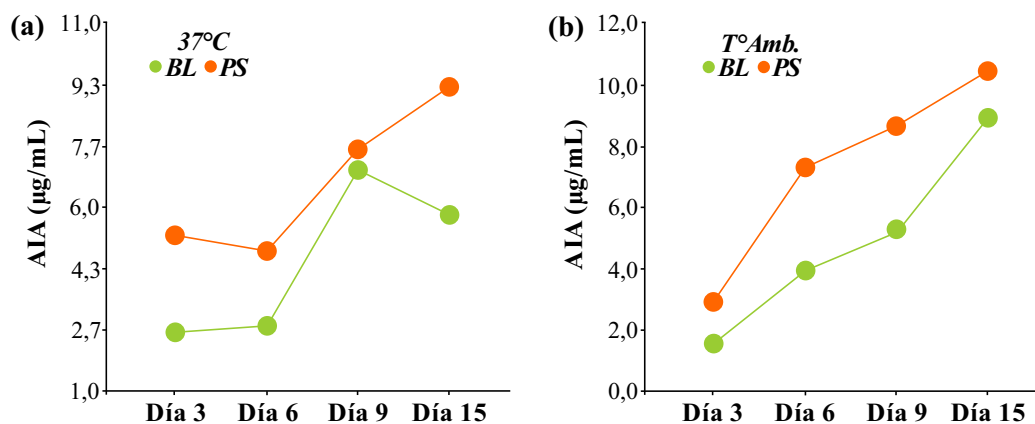


Figura 16. Producción de ácido indolacético (AIA) por *B. licheniformis* y *P. mendocina* a (a) 37°C y (b) 25°C.

Finalmente, el ensayo *in vitro* en placas de 96 pocillos mostró un resultado positivo en la formación de biofilm para ambas bacterias (Tabla 10). Si bien se registraron absorbancias bajas, las mismas fueron mayores que la media del blanco más tres desviaciones estándar, por lo que la formación de biofilms para ambas bacterias se consideró positiva (Tabla 11). Además, tanto *B. licheniformis* como *P. mendocina* mostraron diferencias estadísticamente significativas respecto al blanco.

Tabla 11. Producción de biofilm de *B. licheniformis* y *P. mendocina* (promedio ± desviación estándar). Letras diferentes en los tratamientos indican diferencias estadísticamente significativas respecto al Blanco (test de Dunnett $p < 0,05$).

Tratamiento	Abs 620 nm
Blanco	0,05 ± 0,007 ^a
BL	0,22 ± 0,01 ^b
PM	0,20 ± 0,01 ^b

2.4 Discusión

El aumento de la producción de alimentos, tanto en cantidad como en calidad, es el principal desafío que atraviesa el sector agrícola. Si bien los productos sintéticos se han utilizado ampliamente para lograr este objetivo, existe evidencia de que el uso reiterado de los mismos está provocando la degradación de los suelos, la aparición de nuevas enfermedades en los cultivos y la contaminación de aguas subterráneas. Por tal motivo, la investigación científica en el sector agrícola ha comenzado a trabajar

en la formulación de productos alternativos de base biológica que cumplan con los requerimientos tanto del mercado alimentario como ambiental. El uso de compost y bacterias promotoras de crecimiento ha ganado gran terreno en este aspecto, debido a los beneficios que les brindan tanto al suelo/planta como al medio ambiente. En este capítulo se observó que la aplicación de bacterias en los suelos podría beneficiar el desarrollo y la productividad de las plantas de frutilla.

2.4.1 El té de compost como biofertilizante

Como se mencionó en la sección 2.1, la aplicación de un té de compost en los suelos puede mejorar la calidad y el rendimiento de los cultivos. En el presente trabajo se evaluó la capacidad fertilizante de un té de compost (TC) de residuos de cama de cría de pollo. Hasta el momento, no se encontraron trabajos científicos que evalúen la adición de un té de compost de residuos avícolas en suelos de cultivos de frutilla, por lo que estos resultados serían el primer reporte. Aquí se observó que la adición del TC en suelos de cultivo de frutilla mejoró, respecto al control sin aplicaciones (Con), la concentración de nitrógeno y de los cationes intercambiables (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ y K^+). A su vez, el pH y la CE se mantuvieron dentro de los parámetros óptimos para frutilla (Hirzel & Morales, 2017). Respecto a la productividad del cultivo, el tratamiento D2Té produjo un importante número de frutos (de tamaño mediano-pequeño) y mejoró algunas propiedades organolépticas como el color y el contenido de antocianos, aunque solamente esta última fue estadísticamente significativa respecto al control.

Otros trabajos que evaluaron un té de compost de residuos de cría de pollo observaron que en cultivos de nabo (Pant *et al.*, 2012) y algodón en suelos calcáreos (Luo *et al.*, 2022) se mejoró el contenido de nitrógeno y fósforo total, redujo el pH, favoreció el desarrollo foliar y el contenido de nutrientes foliares (principalmente N, P, K, Ca y Mg), y aumentaron el rendimiento del cultivo. Si bien no se encontraron antecedentes de aplicación de un té de compost de residuos de cría de pollo en cultivos de frutilla, otros autores observaron que la aplicación de este material en forma de compost sólido mejoró la concentración de nitrógeno en los suelos de cultivos de frutilla sin alterar el pH y la CE (Song *et al.*, 2020; Zhang *et al.*, 2020b), lo que indica que el compost podría promover la mineralización del nitrógeno en el suelo (Hargreaves *et al.*, 2009). La abundancia y diversidad microbiana generadas en los procesos de compostaje contribuyen a la liberación de sustancias que promueven diferentes mecanismos de acción como la solubilización y/o mineralización de moléculas no lábiles contenedoras de nutrientes, lo que contribuiría a una mayor concentración de nutrientes disponibles en el suelo y, en consecuencia, a una mejor absorción de estos por parte de las plantas (Campana *et al.*, 2025). Esto, a su vez, puede visualizarse en las concentraciones de los nutrientes en las hojas de frutilla, las cuales fueron mayores respecto al control.

Si bien el análisis químico del TC mostró una CE y un contenido de Na total levemente altos (3,5 dS/m y 395 mg/L, respectivamente) (sección 1.3, Capítulo 1), los valores de CE en los análisis inicial y final se mantuvieron entre los óptimos para el cultivo, lo que podría atribuirse a que el TC fue aplicado mediante una dilución con agua. Shaheen *et al.*, (2018) observaron que la dilución de un té de residuos

avícolas redujo la CE y mejoró el crecimiento y rendimiento de las plantas de frijol, mientras que la aplicación del compost sin diluir causó el efecto contrario. Esto indica la importancia de caracterizar un compost previo a su aplicación, lo que influye directamente en la necesidad de dilución y la frecuencia de aplicación de un producto (Eudoxie & Martin, 2019), principalmente en compost de residuos avícolas que presentan alto contenido de sales (Zhang *et al.*, 2020b; Ma *et al.*, 2010). De otro modo, el exceso en las aplicaciones de estos compost podría provocar la acidificación y salinización de los suelos, lo que afectaría su estructura, disponibilidad de nutrientes y rendimientos de los cultivos (Urrea *et al.*, 2019).

El fósforo es un nutriente limitante en los cultivos debido, entre otros, a su unión química con las superficies coloidales del suelo y a su fijación con otros elementos como el aluminio, el hierro y el calcio (Ahmad *et al.*, 2022). Por esto, uno de los principales objetivos de la aplicación de fertilizantes es aumentar la disponibilidad de este nutriente. Así, Azeez *et al.* (2014) y Waldrip *et al.* (2011) observaron que la aplicación en suelo de un té de compost de residuos avícolas mejoró la disponibilidad de fósforo y redujo su fijación. Sin embargo, estos resultados no se observaron en nuestro trabajo ya que, si bien el aporte de fósforo total fue similar en todos los tratamientos, los tratamientos D1Té y D2Té mostraron los menores porcentajes de fósforo disponible hacia el final del ciclo (menores al 21% respecto al P total). Adicionalmente, tampoco se observaron diferencias notables en las concentraciones de fósforo en las hojas respecto al control sin aplicaciones. Esto podría explicarse por el alto contenido de calcio (total e intercambiable) registrado en los tratamientos D1Té y D2Té ya que diversos autores han confirmado que este nutriente al reaccionar con el calcio forma el mineral fosfato de calcio, forma no disponible para las plantas (Adnan *et al.*, 2025; Ahmad *et al.*, 2022; Hopkins & Ellsworth, 2005).

En cuanto a los parámetros productivos y de calidad de frutos, no se encontraron trabajos donde hayan evaluado los efectos de un té de compost de residuos de pollo en frutilla; solo se observaron unos pocos reportes donde aplicaron compost sólidos de pollo en suelos de este cultivo (Saygi, 2021; Song *et al.*, 2020; Mohamed & Gabr, 2002). En esta tesis se observó que el tratamiento con la dosis más alta de TC (D2Té) mostró, al igual que las plantas tratadas con fertilizante comercial, la mayor cantidad de frutos tanto en número como en gramos acumulados; sin embargo, un gran porcentaje de estos presentaron pesos menores a 7 gramos (17% para D2Té). Sumado a esto, no se observaron mejorías en el desarrollo foliar ni en la calidad de las frutillas (a excepción del contenido de antocianos). Los contenidos de SST y la acidez mantuvieron valores similares a los reportados por los autores mencionados anteriormente, mientras que el índice de color y la firmeza fueron levemente superiores al control, aunque no significativo, lo que coincide con Saygi, (2021). Contrariamente a lo reportado por Mohamed & Gabr (2002), el contenido de ácido ascórbico superó al del control sin aplicaciones. Como lo explican Campana *et al.* (2025) y Eudoxie & Martin (2019) en sus trabajos de revisión, la forma de aplicación de un té de compost (en suelo o foliar) y la concentración del mismo influyen directamente en la calidad de los cultivos. Diversos autores citados en estas revisiones sugieren que las aplicaciones foliares del té de compost suelen ser más efectivas, ya que promueven la adhesión de

microorganismos y nutrientes a la superficie foliar, aprovechan las aperturas estomáticas para una adsorción más rápida y reducen el espacio disponible para que hongos y bacterias patógenas compitan por el espacio. A su vez, altas concentraciones de té de compost pueden provocar la reducción de las aperturas estomáticas y la efectividad del producto (González-Hernández *et al.*, 2023). Por otro lado, la concentración de nutrientes obtenida por la dilución del TC pudo no haber sido suficiente para satisfacer todas las necesidades del cultivo al aplicarlo en suelo, pero pudo haber sido efectiva si se aplicaba de forma foliar. Esto se manifiesta en otros trabajos donde observaron mayores rendimientos en cultivos como cacao (Kasim *et al.*, 2021), banana (Shaheen *et al.*, 2018) y pepino (Sallam *et al.*, 2021; Jandaghi *et al.*, 2020) al aplicar dosis más altas de té de compost de residuos de pollo. Por lo tanto, y como se mencionó anteriormente, es necesario evaluar el método de aplicación y la elección de la concentración para evitar usos insuficientes o excesivos de un té de compost.

2.4.2 *B. licheniformis* y *P. stutzeri* como promotores de crecimiento vegetal

Los compost contienen una gran diversidad de microorganismos que descomponen la materia orgánica durante la fermentación, y promueven la liberación y conversión de nutrientes en formas fácilmente absorbibles por las plantas (Wang *et al.*, 2023; Mehdizadeh *et al.*, 2013). Si el producto final fue correctamente logrado, los microorganismos presentes son en su mayoría beneficiosos. En este trabajo se aislaron dos bacterias (*B. licheniformis* y *P. stutzeri*) que se aplicaron en suelos de cultivos de frutilla. Si bien ambas bacterias mejoraron los parámetros químicos del suelo, fomentaron el desarrollo foliar de las plantas e incrementaron los rendimientos y la calidad de los frutos, *B. licheniformis* mostró un desempeño estadísticamente mejor respecto al control (Con) para la mayoría de los parámetros analizados. Existen algunos reportes donde se evalúa el efecto de diferentes *Bacillus* como *B. velezensis*, *B. subtilis*, *B. safensis* y *B. megaterium* (ej. Cao *et al.*, 2024; Wang *et al.*, 2024; Huasasquiche *et al.*, 2024a; Elikara *et al.*, 2024; Nam *et al.*, 2023; Liu *et al.*, 2022; Li *et al.*, 2022; Badar *et al.*, 2022; Mei *et al.*, 2021; Morais *et al.*, 2019; Esitken *et al.*, 2010) y *Pseudomonas* como *P. fluorescens*, *P. putida* y *P. monteilli* (ej. Wang *et al.*, 2024; Huasasquiche *et al.*, 2024b; Sangiorgio *et al.*, 2023; Nam *et al.*, 2023; Badar *et al.*, 2022) sobre parámetros productivos de frutilla. Sin embargo, y a excepción de la investigación realizada por Seema *et al.* (2018), hasta el momento no se encontraron trabajos que evalúen la influencia de la aplicación en suelo de *B. licheniformis* y *P. stutzeri* sobre parámetros productivos y de calidad en frutilla, por lo que estos serían los primeros reportes.

2.4.2.1 Impacto de las bacterias en las propiedades químicas del suelo

La aplicación de bacterias en el suelo mejoró la CIC y aumentó el contenido de cationes intercambiables Ca^{2+} , Na^+ , Mg^{2+} y K^+ (a pesar de la baja concentración de MO) y de la mayoría de los nutrientes totales respecto al control y los demás tratamientos. Además, no afectaron el pH ni la CE del suelo respecto al análisis inicial, más bien las mejoraron. Esto es posible gracias al amplio espectro de

mecanismos de acción que realizan las bacterias en los suelos (Adeleke & Babalola, 2022; Kenneth *et al.*, 2019), que facilitan la disponibilidad de nutrientes para las plantas sin alterar la dinámica funcional del suelo. Arunrat *et al.* (2024) observaron una correlación positiva entre la comunidad microbiana (especialmente *Bacillus*) y diferentes propiedades del suelo incluido el pH, CE, P disponible, CIC y contenido de cationes intercambiables. A su vez, se ha reportado que la optimización de la CIC y el contenido de cationes intercambiables luego de aplicar las bacterias implica una mayor disponibilidad y absorción de estos nutrientes por parte de las plantas (Yang *et al.*, 2024), lo que podría explicar la presencia de altos contenidos de estos nutrientes en las hojas (principalmente Mg y Ca). Además, las infinitas formas que presentan las bacterias para interactuar con los minerales del suelo (disolución, refinamiento, reducción, producción de sideróforos, capacidad de quelación, entre otros), influyen directamente en su disponibilidad y facilidad de absorción por las plantas (Mueller, 2015).

En cuanto al nitrógeno (N), su contenido en suelo aumentó levemente respecto al control. Sin embargo, se registró un alto contenido de N en hoja, lo que podría implicar que hubo una correcta transformación de los compuestos nitrogenados a formas disponibles para la absorción por las plantas tratadas con bacterias. En este sentido, existe evidencia de que tanto *B. licheniformis* (Tariq *et al.*, 2025; Ni *et al.*, 2024; Yousuf *et al.*, 2017) y *P. stutzeri* (Thepbandit & Athinuwat, 2024; Geries & Elsadany, 2021; Ke *et al.*, 2019; Desnoues *et al.*, 2003) son bacterias fijadoras de nitrógeno-N₂ con capacidad de convertir fertilizantes nitrogenados en formas disponibles para la absorción por las plantas.

Uno de los principales mecanismos de acción que se destacan en las bacterias es su capacidad para solubilizar fosfatos. El fósforo (P) es un nutriente esencial en las plantas ya que está involucrado en la síntesis de ADN, en la formación de membranas celulares, en la respiración y en la fotosíntesis. Sin embargo, y como se mencionó anteriormente, el P no se encuentra fácilmente disponible para las plantas, por lo que es necesaria la actividad química y biológica para aumentar su disponibilidad. Si bien el contenido de P total fue menor en los suelos tratados con bacterias respecto a los demás tratamientos (Con, FerC, D1Té y D2Té), el contenido de P disponible en el suelo y de P total en las hojas fue mayor en los tratados con *B. licheniformis* y *P. stutzeri*. Existe evidencia de que muchas bacterias (particularmente de los géneros tratados en esta tesis) tienen la capacidad de solubilizar fosfatos mediante la producción de ácidos orgánicos y enzimas fosfatasas (como las fitasas), aumentando así la disponibilidad de este nutriente esencial para las plantas (Pang *et al.*, 2024; Berza *et al.*, 2022; Kour *et al.*, 2021; Corrales-Ramirez *et al.*, 2014; Naz & Bano, 2010). A pesar de esta evidencia, el ensayo *in vitro* de solubilización de fosfatos fue negativo para ambas bacterias testeadas. Sin embargo, Timofeeva *et al.* (2022) explican en su revisión que existen informes contradictorios acerca del efecto que produce la temperatura en la solubilización de fosfato, ya que algunos indican un rango óptimo de 20-25°C, mientras que otros indican temperaturas de hasta 45°C. Este aspecto podría explicar el resultado negativo obtenido en las condiciones de prueba *in vitro* aplicadas en esta tesis, y sugiere la necesidad de repetir las mediciones en otros rangos de temperaturas, ya que tanto *B. licheniformis* (Tariq *et al.*, 2025; Ni *et al.*, 2024; Rawat *et al.*, 2022; Mahdi *et al.*, 2020; Thomas *et al.*,

2018) como *P. stutzeri* (Wasule *et al.*, 2023; Jiang *et al.*, 2022; Pandey *et al.*, 2013; Naz & Bano, 2010) son consideradas solubilizadoras de fosfatos según la bibliografía. Si bien la solubilización de fosfatos fue negativa para las bacterias analizadas aquí, se encontraron resultados positivos en la producción de las enzimas fitasas tanto para *B. licheniformis* como *P. stutzeri*. Como se mencionó anteriormente, las fitasas son una subclase de fosfatasa que hidrolizan el ácido fítico (o fitato) y liberan P, Zn, Cu, Ca, Fe y Al en forma inorgánica, mejorando así la absorción de minerales por las plantas (Rizwanuddin *et al.*, 2023). Diferentes trabajos han reportado la capacidad de algunas bacterias, incluidas las del género *Bacillus* y *Pseudomonas*, de secretar esta enzima en diferentes hábitats (Mussa *et al.*, 2023; Li *et al.*, 2023; Rizwanuddin *et al.*, 2023). La capacidad de *B. licheniformis* y *P. stutzeri* de producir fitasas podría explicar, en parte, la mayor concentración de P, Cu y Zn en el suelo y hojas de estos tratamientos, debido a la reducción del efecto quelante del P con los minerales mencionados, dejando estos nutrientes disponibles para ser absorbidos.

La producción de sideróforos es otro de los mecanismos ampliamente evaluados en bacterias que involucra la disponibilidad de Fe en las plantas. Si bien la producción de sideróforos fue positiva para *P. stutzeri*, ya reportada por diversos autores (Sun *et al.*, 2022; Mahajan *et al.*, 2021; Essén *et al.*, 2007; Lalucat *et al.*, 2006), las concentraciones de Fe total en suelo fueron similares al control, mientras que en hoja los tratamientos con bacterias registraron los valores más bajos de este nutriente. Los sideróforos son compuestos orgánicos de bajo peso molecular que pueden quelar el hierro Fe³⁺, por lo que desempeñan un importante papel en la facilitación de la absorción de Fe por las plantas, y en la competencia espacial contra patógenos (Bordé-Pavlicz *et al.*, 2024; Mahdi *et al.*, 2020). A pesar de la actividad positiva *in vitro* de *P. stutzeri* en la producción de sideróforos, la misma pudo haber sido débil para lograr facilitar grandes contenidos de Fe a las hojas (comparado con los demás tratamientos); o bien, el Fe pudo acumularse en los frutos. Esto propone la necesidad de realizar análisis nutricionales en los frutos para los próximos ensayos. La producción de sideróforos de *B. licheniformis* fue prácticamente nula, al contrario de lo que han reportado otros autores (Bordé-Pavlicz *et al.*, 2024; Medison *et al.*, 2023; Mahdi *et al.*, 2020; Temirov *et al.*, 2003). Sin embargo, Bordé-Pavlicz *et al.* (2024), quienes evaluaron la producción de sideróforos de varias cepas de *B. licheniformis*, concluyeron que algunas cepas mostraron resultados negativos y otras positivos. Si bien esto podría explicar la no detección de sideróforos, hacen falta más ensayos para confirmarlo.

Finalmente, es necesario mencionar otro mecanismo de acción bacteriano que interviene en la disponibilidad de nutrientes y en la comunicación con la rizósfera: la producción de biofilm. Los biofilms son una asociación compleja de células bacterianas rodeadas por sustancias poliméricas extracelulares que se adhieren a superficies. Estas asociaciones mejoran la comunicación entre el suelo y las plantas, las protegen de las condiciones ambientales adversas y facilitan la absorción de nutrientes a través de las raíces (Fan *et al.*, 2024; Ajijah *et al.*, 2023; Loera-Muro & Caamal-Chan, 2023). Esto nos indica que el resultado positivo en la formación de biofilm de las bacterias analizadas en este trabajo podría haber contribuido, junto con los mecanismos mencionados anteriormente, a mejorar el contenido

de nutrientes en los suelos y a facilitar su absorción por las plantas de frutilla. Diversos trabajos también reportaron resultados positivos en la producción de biofilm tanto para *B. licheniformis* (Tariq *et al.*, 2025; Ni *et al.*, 2024; Medison *et al.*, 2023; Mahdi *et al.*, 2020) como para *P. stutzeri* (Sun *et al.*, 2022; Ma *et al.*, 2016).

2.4.2.2 Impacto de la aplicación de bacterias en suelo sobre parámetros productivos de frutilla

Las plantas tratadas con bacterias mostraron un mejor desarrollo foliar (número de foliolos y área foliar) y frutos de mayor peso y tamaño. Como se mencionó anteriormente, si bien no se encontraron trabajos donde se evalúe el efecto de la aplicación de *B. licheniformis* (a excepción de Seema *et al.*, 2018, quienes obtuvieron resultados similares a este trabajo) y *P. stutzeri* en cultivos de frutilla, ambas bacterias han demostrado un destacado desempeño en otros cultivos. Así, la aplicación en suelo de *B. licheniformis* mejoró el volumen del sistema radicular, la germinación, la altura de la planta, el desarrollo foliar y el rendimiento en cultivos de tomate (Nunes *et al.*, 2023; Muthuraja & Muthukumar, 2022; García *et al.*, 2004), pimiento (García *et al.*, 2004), maíz (Medison *et al.*, 2023; Akhtar *et al.*, 2020), maní (Goswami *et al.*, 2014; Prashanth & Mathivanan, 2010) papa (Bordé-Pavlicz *et al.*, 2024) y quinoa (Mahadi *et al.*, 2020). Incluso se ha reportado que *B. licheniformis* mostró interesantes resultados cuando se aplicó a suelos salinos (James *et al.*, 2023; Muthuraja & Muthukumar, 2022; Mahadi *et al.*, 2020) y en condiciones de sequía (Akhtar *et al.*, 2020). Lo mismo se reportó para *P. stutzeri* en cebolla (Geries & Elsadany, 2021), maíz (Jiang *et al.*, 2022; Ke *et al.*, 2019; Naz & Bano, 2010), lechuga (Elbagory *et al.*, 2021), soja (Lami *et al.*, 2020) y garbanzo (Mahajan *et al.*, 2020). Al igual que *B. licheniformis*, *P. stutzeri* también mostró buena respuesta en condiciones de estrés salino (Lami *et al.*, 2020; Mahajan *et al.*, 2020; Naz & Bano, 2010) y estrés por cadmio (Elbagory *et al.*, 2021).

Por otro lado, se ha confirmado que la biomasa microbiana del suelo puede conducir al desarrollo de hormonas que funcionan como reguladores del crecimiento vegetal independientemente de la disponibilidad de nutrientes, lo que se traduce en un mejor crecimiento y rendimiento de las plantas (Mehdizadeh *et al.*, 2013). Los géneros *Bacillus* y *Pseudomonas* se consideran géneros predominantes en capacidad de producir hormonas de crecimiento vegetal como ácido indolacético (AIA), giberelinas y ácido abscísico (Hashem *et al.*, 2019). En particular, el AIA se considera una auxina importante para diversos procesos fisiológicos de la planta que involucra, entre otros, la regulación del crecimiento vegetal (Adeleke & Babalola, 2022). En este trabajo, tanto *B. licheniformis* como *P. stutzeri* produjeron AIA de forma exponencial, lo que podría explicar el mejor desarrollo foliar y frutal de estos tratamientos. Diversos trabajos han reportado la producción de AIA de estas bacterias, aunque las concentraciones registradas varían de uno a otro. Para *B. licheniformis* se han cuantificado valores de entre 2,5 y 35 µg/mL (Tariq *et al.*, 2025; Pappalettere *et al.*, 2024; Bordé-Pavlicz *et al.*, 2024; Nunes *et al.*, 2023; Goswami *et al.*, 2014), que coincide con los registros de este trabajo, y valores de hasta 200 µg/mL (Mahdi *et al.*, 2020; Kwon *et al.*, 2021) de acuerdo a las cepas; para *P. stutzeri*, se han

registrado valores de AIA mayores a 20 $\mu\text{g}/\text{mL}$ (Jiang *et al.*, 2022; Pandey *et al.*, 2013) y de 9,38 $\mu\text{g}/\text{mL}$ (Gerjes & Elsadany, 2021; Lami *et al.*, 2020), estos últimos coincidentes con este trabajo.

Respecto a las propiedades organolépticas del fruto, la mayoría de los parámetros medidos (índice de color, contenido de antocianinas, de ácido ascórbico, de compuestos fenólicos y actividad antioxidante) mejoraron significativamente en las plantas tratadas con bacterias, principalmente *B. licheniformis* (BL). La firmeza, contenido de SST y acidez no mostraron cambios significativos en las plantas tratadas con microorganismos. Existe una gran variedad en los resultados obtenidos de estos parámetros al aplicar otros *Bacillus* y *Pseudomonas*. En cuanto a la firmeza de los frutos, diversos trabajos no observaron diferencias significativas luego de aplicar estas bacterias en las plantas (Huasasquiche *et al.*, 2024b; Nam *et al.*, 2023). A su vez, el contenido de SST de este trabajo fue menor que el obtenido en otras investigaciones para *Bacillus* (Elikara *et al.*, 2024; Huasasquiche *et al.*, 2024a; Anuradha *et al.*, 2022; Badar *et al.*, 2022; Morais *et al.*, 2019; Seema *et al.*, 2018) y *Pseudomonas* (Huasasquiche *et al.*, 2024b; Badar *et al.*, 2022), mientras que el contenido de ácido ascórbico registró valores similares a otros reportes (Anuradha *et al.*, 2022; Badar *et al.*, 2022; Seema *et al.*, 2018); sin embargo, respecto al contenido de antocianinas, compuestos fenólicos y capacidad antioxidante, en el presente trabajo se cuantificaron valores por encima del reportado por los autores mencionados anteriormente para ambos géneros de bacterias.

Por otra parte, diversos autores concuerdan en que durante la maduración de los frutos ocurren diferentes procesos bioquímicos y fisiológicos que inducen los cambios de color debido, entre otros, a la acumulación de antocianinas, de azúcares y los cambios en la acidez (Zeliou *et al.*, 2018; Cocco *et al.*, 2015). Si bien no se observaron diferencias significativas en el contenido de SST y acidez entre los tratamientos BL y el control, BL mostró un contenido elevado de antocianinas que se reflejó en el mayor índice de color registrado para este tratamiento. *P. stutzeri* mostró un alto contenido de antocianinas (aunque menor que BL), pero el índice de color estuvo por debajo de los demás tratamientos. Por otro lado, BL se destacó firmemente en el contenido de ácido ascórbico, compuestos fenólicos y actividad antioxidante. Se reportó evidencia científica de la correlación positiva entre estas tres variables en diferentes frutos (Carranza-Téllez *et al.*, 2024). A su vez, existe evidencia de que frutas ricas en antocianinas y más oscuras tienen mayor capacidad antioxidante que las frutas de color amarillo o verde y más claras (Cömert *et al.*, 2020; Villanueva-Tiburcio *et al.*, 2010), lo que concuerda con la respuesta positiva en el índice de color y contenido de antocianos de BL. Esto también se repitió para *P. stutzeri*, excepto por el contenido de compuestos fenólicos, que arrojó valores bajos respecto a los demás tratamientos. Si bien los compuestos fenólicos tienen una capacidad muy alta de donar electrones (y aumentar la capacidad antioxidante), muchas veces la composición específica de los mismos y su distribución en las diferentes partes del fruto puede afectar significativamente la actividad antioxidante, tanto de forma positiva como negativa (Das *et al.*, 2023).

2.5 Conclusión

De acuerdo con los resultados obtenidos en este capítulo, las bacterias aisladas del té de compost (principalmente *B. licheniformis*) podrían considerarse como potenciales microorganismos para aumentar la productividad, rendimiento y calidad del cultivo de frutilla, ya que no solo mejoraron los parámetros del suelo y el desarrollo foliar de las plantas, sino que también mejoraron el rendimiento y la mayoría de los parámetros de calidad medidos (índice de color, contenidos de antocianinas, de ácido ascórbico, de compuestos fenólicos y actividad antioxidante). A su vez, tanto *B. licheniformis* como *P. stutzeri* mostraron resultados positivos en torno a los mecanismos de acción involucrados especialmente en el movimiento de nutrientes en el suelo (producción de fitasas, de sideróforos y de biofilm) y en el desarrollo de la planta (producción de AIA). Bajo las condiciones de aplicación del té de compost en este trabajo, y a pesar de que mejoró algunos parámetros del suelo, las plantas tratadas con el TC no mostraron resultados prometedores en la productividad del cultivo.

Si bien los resultados obtenidos en este capítulo marcan un punto de partida alentador, será necesario profundizar con estudios complementarios (ej. ensayos de planta en camellones y análisis de nutrientes en frutos) que permitan confirmar los efectos y explorar nuevas alternativas de aplicación para las diferentes condiciones agronómicas. Esto permitirá contribuir al desarrollo de estrategias para la formulación de productos biológicos más eficientes y sustentables.



CAPÍTULO 3

**Cáscaras de maní y nuez pecán
y especies vegetales bioactivas
como sustratos para el cultivo
de frutilla**

3.1 Introducción

Como se mencionó en el Capítulo 2, el incremento de la actividad agropecuaria está provocando la degradación física y química de los suelos, lo que se traduce en la pérdida en la productividad de los mismos (Kirschenmann, 2010). A su vez, el aumento de la productividad agrícola (incluyendo tanto la producción de alimentos como el mantenimiento de campos y accesos) se acompaña de la generación de enormes cantidades de desechos que, si no son gestionados correctamente, pueden propiciar las condiciones necesarias para la generación de gases de efecto invernadero, suponiendo una amenaza al medio ambiente y la calidad de vida (Ajayi & Lateef, 2023; Koul *et al.*, 2022). Sumado a lo expuesto en el Capítulo 1 sobre residuos de origen animal, diversos trabajos han demostrado que los residuos de origen vegetal pueden fomentar el crecimiento de microorganismos rizosféricos y mejorar las propiedades físicas de los suelos como la textura, estabilidad de agregados, infiltración, conductividad hidráulica y retención de agua (Wu *et al.*, 2020; Almendro-Candel *et al.*, 2018; Özdemir *et al.*, 2015). Si bien el perfil de nutrientes varía de acuerdo al tipo de residuo y especie vegetal, en general contienen entre un 0,3-3% de nitrógeno, 0,6-0,7% de fósforo y 0,7-3,5% de potasio (Babu *et al.*, 2022). Los residuos agrícolas se pueden clasificar en dos grupos (Bhuyann *et al.*, 2020): residuos *in situ*, que corresponden a residuos generados durante el cultivo en el campo, y residuos *ex situ*, los cuales se generan durante la cosecha y postcosecha de las unidades (bagazo, cáscaras, etc.). De acuerdo a los residuos seleccionados para evaluar en este capítulo, en el primer grupo se encuentran los restos de especies vegetales (*Solidago chilensis* y *Persicaria acuminata*), mientras que en el grupo de los residuos *ex situ* se encuentran las cáscaras de maní y nuez pecán (residuos de la producción de alimentos).

Respecto al uso de restos de plantas en la agricultura, existen algunos trabajos que utilizan restos de poda como bioestimulantes (Kazemi *et al.*, 2024; Ghoreishi *et al.*, 2023). Si bien son amplios los estudios enfocados en el uso de plantas herbáceas silvestres por sus propiedades bioactivas, la evaluación de las mismas para mejorar la productividad de los suelos es prácticamente nula, lo cual vuelve imperioso su estudio. *P. acuminata* (catay grande), es una herbácea perteneciente a la familia Polygonaceae (Ficha 1 Anexo 1). Esta especie tiene la particularidad de colonizar grandes extensiones formando “cataysales”, provocando graves problemas en embalsados; incluso, suele considerarse maleza en cultivos de arroz (Lallana, 2005). Por otra parte, *S. chilensis* Meyen (vara de oro) es una hierba perenne de la familia Asteraceae que habita tanto en suelos fértiles como modificados (Ficha 2 Anexo 1). Si bien no se considera una maleza de primer orden, su propagación mediante rizomas puede hacer de esta herbácea una planta invasora para los cultivos y bordes de caminos de nuestra región (Gil *et al.*, 2017). En cuanto a su aplicación en suelos, se ha demostrado que *S. chilensis* tiene la capacidad de remover ciertos metales pesados como Cr, Ni, Zn, Mo (Lazo *et al.*, 2023; Lazo & Lazo, 2020); sin embargo, y como se mencionó anteriormente, no existen estudios que evalúen su aplicación en suelos productivos.

A diferencia de las plantas silvestres regionales mencionadas anteriormente, existen varios trabajos acerca del uso de desechos resultantes del procesamiento de alimentos como componente para mejorar

la calidad de los suelos cultivables. Según una estimación de Ravindran *et al.* (2018), anualmente se desperdicia un tercio de la producción de alimentos (aproximadamente 1300 millones de toneladas), de los cuales el 40-50% está representado por vegetales, frutas, tubérculos y raíces. Esto representa una importante pérdida de biomasa que, en muchos casos, es una fuente natural de metabolitos secundarios con alta bioactividad.

El maní (*Arachis hypogaea* L.) es una planta originaria de América del Sur de la familia Fabaceae (Ficha 3 Anexo 1). El maní es muy consumido en el mundo, ya que tiene un alto contenido de lípidos (47-50%), un aceite rico en ácidos grasos monoinsaturados (con predominio de los ácidos oleicos) y bajo en grasas saturadas y colesterol (Suchoszek-Lukaniuk *et al.*, 2011). Respecto a su producción en Argentina, se declararon 406.507 ha cultivadas para el año 2021; la provincia de Córdoba se ubica en primer lugar como la principal productora (75,08%), seguida por la provincia de Buenos Aires (11,84%) y San Luis (4,81%) (SISA, Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca). Asimismo, Argentina se encuentra entre los principales exportadores de maní en el mundo (15%) junto con India y Estados Unidos (31% y 27%, respectivamente) (USDA). Se estima que anualmente se generan 0,74 millones de toneladas métricas de cáscaras de maní (230 a 300 g/kg de maní), lo que representa entre el 25 y el 30% del peso total del fruto en la última etapa de procesamiento (Zhao *et al.*, 2012). Respecto a la aplicabilidad de las cáscaras de maní en los suelos de diferentes cultivos, se han obtenido resultados interesantes. En este sentido, diferentes autores observaron que la aplicación de cáscaras de maní como polvo o compost aumentó el contenido de macro y micronutrientes y la capacidad de absorción por parte de planta, incrementó los índices de crecimiento vegetal y el contenido de materia orgánica, disminuyó la salinidad de los suelos, y mejoró su pH (Piao *et al.*, 2023; Zhou *et al.*, 2023; Petropoulos *et al.*, 2020; Fall *et al.*, 2018; Mohammadi Torkashvand *et al.*, 2015). Por otro lado, las cáscaras de maní funcionan como portadoras de microorganismos utilizados para el control biológico en la agricultura como *Trichoderma koningii*, *T. virens* y *Rhizobium* sp. (Bhatia *et al.*, 2017).

La nuez pecán o pecanero, [*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch.] es un árbol caducifolio de familia Juglandaceae, nativo de México y del sudeste de los Estados Unidos, aunque se encuentra distribuido en gran parte del mundo debido a su importancia económica (Ficha 4 Anexo 1). La nuez pecán es un fruto muy consumido en diferentes partes del mundo, ya que contiene componentes nutricionales beneficiosos que incluyen ácidos grasos poliinsaturados, vitaminas, minerales, entre otros (Wagener & Kerr, 2018). Estados Unidos y México lideran la producción mundial de nuez pecán con el 90% de la oferta total. Argentina tiene más de 8.000 ha cultivadas; si bien esto solo representa el 1% de la producción mundial, el cultivo de pecán en nuestro país está en aumento y ha cobrado gran interés. En 2019 se produjeron 1.100 toneladas, aunque en ese momento, muchas de las hectáreas implantadas no habían llegado a su producción plena por el estadio en el que se encontraban los ejemplares (Secretaría de Agroindustria, Ministerio de Producción y Trabajo Argentina, 2019). Según el Centro de Estudios de Desarrollos Macroeconómicos (CEDMA) y los datos del *Cluster* del Pecán (asociación sin fines de lucro que nuclea la actividad pecanera), el 70% de la producción y exportación se encuentra

confinada en la provincia de Entre Ríos, seguida por Buenos Aires, Santa Fe, Corrientes y Misiones. Argentina cosecha nuez pecán a contraestación respecto al hemisferio norte (abril, mayo, junio), lo que representa una gran ventaja para la exportación del producto. El procesado y adecuación de la nuez pecán para el consumo genera entre el 40-50% de residuos en forma de cáscaras (Ozcariz-Fermoselle *et al.*, 2018). Al igual que las cáscaras de maní, el aumento del interés por conocer el efecto de la aplicación de cáscaras de nuez pecán para mejorar la calidad de los suelos es evidente. Idowu *et al.* (2017) demostraron que la adición de cáscaras de nuez pecán a suelos de tipo franco arcilloso y franco arenoso puede mejorar la estabilidad de los agregados, el fósforo extraíble, el potasio extraíble y tuvieron una mayor retención de humedad. Algunos trabajos evaluaron el impacto de la adición de biocarbón generados a partir de restos de poda y cáscaras del pecán a diferentes temperaturas, sobre las características de fertilidad de los suelos, y observaron un aumento en el pH, carbono orgánico, Ca, K, Mn y P, y se redujo la acidez intercambiable y el contenido de S y Zn (Liu *et al.*, 2023; Novak *et al.*, 2009). Estos resultados sugieren que se pueden producir diferentes tipos de biocarbón a partir de cáscaras de nuez de pecán que permitan mejorar las propiedades físicoquímicas del suelo, mediante el uso de materias primas específicas en las condiciones adecuadas (Rehrah *et al.*, 2014).

Por lo antes mencionado, el **objetivo del Capítulo 3** fue evaluar la capacidad fertilizante de diferentes sustratos obtenidos a partir de residuos de la producción de alimentos (cáscaras de maní y nuez pecán) y especies vegetales bioactivas (*S. chilensis* y *P. acuminata*) sobre parámetros productivos en cultivos de frutilla.

3.2 Materiales y métodos

3.2.1 Lugar de trabajo y preparación de plantines

El ensayo se desarrolló bajo un macrotúnel ubicado en el Campus FAVE de la ciudad de Esperanza, provincia de Santa Fe, durante 7 meses (junio a diciembre). Se utilizaron plantines cv 'Camino Real', los cuales fueron suministrados por la empresa Patagonia Agrícola S.A. de la ciudad de Coronda, provincia de Santa Fe. Las características de vigor y sanidad de los mismos fueron similares al momento de su implantación. Los plantines se implantaron en macetas de 3 L, y se utilizó un suelo de tipo franco arenoso, el cual se colectó en cercanías de un predio destinado a este cultivo de la ciudad de Coronda (31°54'27.0"S 60°54'04.6"W) a una profundidad de entre 0 y 15 cm. Posteriormente, se eliminaron los restos vegetales y se esterilizó en estufa por 2 horas a 180°C. Las cáscaras de maní y nuez pecán fueron provistas por productores locales, mientras que las especies vegetales bioactivas (*P. acuminata* y *S. chilensis*) se colectaron en cercanías a la ciudad de Esperanza de acuerdo a los registros plasmados en el herbario Arturo Ragonese de la FCA-UNL. Tanto las cáscaras como las especies vegetales se dejaron secar a temperatura ambiente y luego se molieron para preparar los correspondientes sustratos (Figura

17). Se estableció un diseño completamente aleatorizado con 4 repeticiones teniendo en cuenta los siguientes tratamientos:

- **(Con)** control sin aplicaciones;
- **(FerC)** aplicación de un fertilizante comercial con NPK a dosis comercial;
- **(PA5)** 5% *P. acuminata* + 95% suelo Coronda;
- **(PA10)** 10% *P. acuminata* + 90% suelo Coronda;
- **(SC5)** 5% *S. chilensis* + 95% suelo Coronda;
- **(SC10)** 10% *S. chilensis* + 90% suelo Coronda;
- **(M5)** 5% cáscaras de maní + 95% suelo Coronda;
- **(M10)** 10% cáscaras de maní + 90% suelo Coronda;
- **(NP5)** 5% cáscaras de nuez pecán + 95% suelo Coronda;
- **(NP10)** 10% cáscaras de nuez pecán + 90% suelo Coronda.

El fertilizante comercial (FerC) se aplicó una única vez al inicio del ensayo. Durante todo el ciclo, las plantas se regaron con agua desmineralizada para evitar el ingreso de cualquier nutriente o microorganismo externo a los respectivos tratamientos.

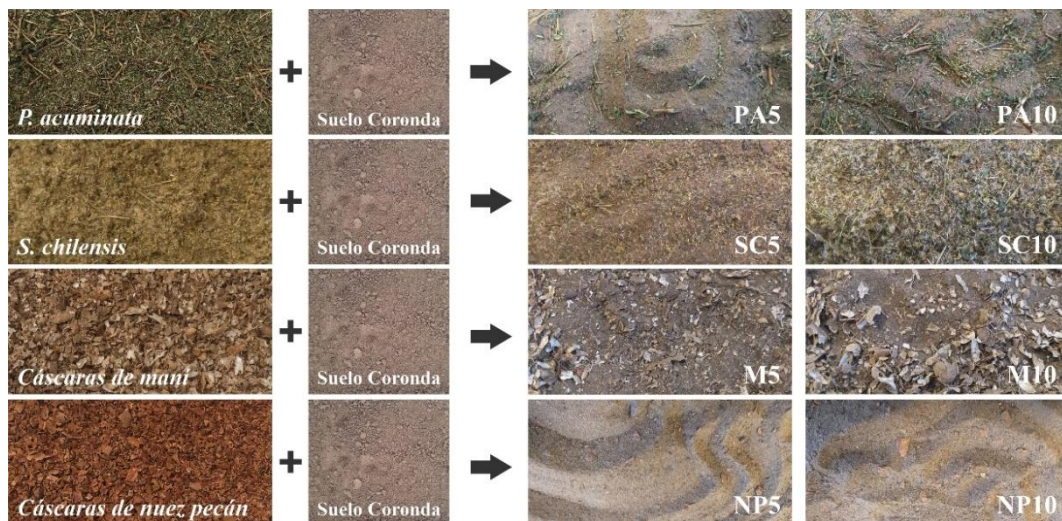


Figura 17. Acondicionamiento y preparación de sustratos. Ref.: (PA) *P. acuminata*; (SC) *S. chilensis*; (M) cáscaras de maní); y (NP) cáscaras de nuez pecán.

3.2.2 Análisis fisicoquímico de los sustratos

Para cada tratamiento, se realizó una evaluación inicial (antes de la implantación de los plantines) y final (al culminar el ciclo del cultivo) de las propiedades fisicoquímicas del suelo, con el fin de determinar los aportes nutricionales de los tratamientos propuestos, el consumo de los mismos por parte de las plantas y el remanente en el suelo. Los parámetros químicos analizados y las técnicas utilizadas se especifican en la Tabla 6 (Capítulo 2).

Los parámetros físicos de los sustratos se ensayaron según las metodologías de Soto-Bravo & Betancourt-Flores (2022) y Valenzuela *et al.* (2014). Se utilizaron tres cilindros de metal de 4,75 cm de

diámetro y 10 cm de alto por tratamiento (Figura 18a). Todos los cilindros se envolvieron con una tela de maya en la base y se llenaron con el correspondiente sustrato hasta la mitad de su capacidad. Luego se depositaron en una bandeja con un poco de agua y se dejó reposar por 24 h; pasado este tiempo se añadió agua hasta la cuarta parte de la altura total del cilindro (aprox. 2,5 cm) (Figura 18b). A las 48 h se volvió a llenar la bandeja hasta los 5 cm de altura y, posteriormente, se registró el peso de cada cilindro en una balanza, el cual corresponde al peso saturado (g). Seguidamente, los cilindros se depositaron en una olla a presión por 2 días y se registró el peso húmedo a la tensión de -1 kPa (Figura 18c). Este proceso se repitió para las tensiones -6 kPa y -10 kPa. Seguidamente, se registró el peso seco de cada cilindro el cual se obtuvo luego de un secado a 105°C (Figura 18d). Finalmente, se realizaron los cálculos correspondientes como se especifica en la Tabla 12.

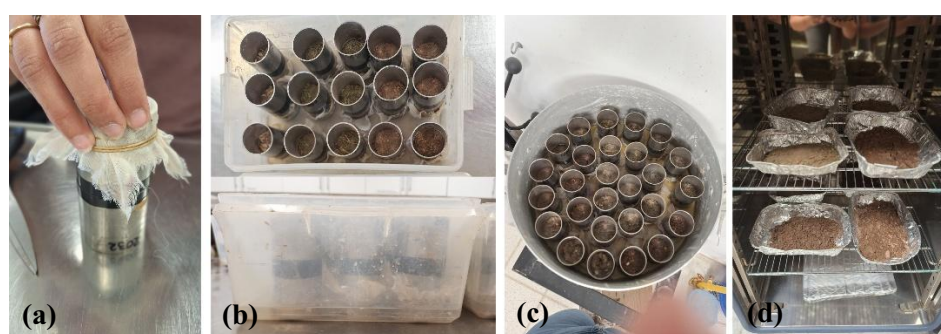


Figura 18. Determinación de los parámetros físicos de los sustratos: (a) armado de cilindros; (b) hidratación de cilindros; (c) olla a presión; y (d) secado a 105°C.

Tabla 12. Fórmulas y unidades utilizadas para la obtención de los parámetros físicos de los sustratos.

Parámetro	Abreviatura y fórmula de cálculo
Densidad aparente (g/cm ³)	DA = Peso seco del sustrato a 105°C / Volumen total de la muestra de sustrato
Porosidad total (%)	PT = (1 - (DA/2,65)) x 100
Humedad gravimétrica (g)	θ_g = (peso sustrato húmedo - peso sustrato seco a 105°C) / peso sustrato húmedo
Capacidad de contenedor (%)	θ_{cc} = (θ_g x DA) x 100
Capacidad de aireación (%)	CA = 1 - (θ_{cc} / PT)
Agua fácilmente disponible (%)	AFD = (humedad volumétrica a PH10 - humedad volumétrica a PH60) x 100

3.2.3 Evaluación de parámetros vegetativos y productivos

Durante todo el ciclo de cultivo se registró el número de folíolos (1/mes), el área foliar (1/mes) y los nutrientes totales en hoja (3/ciclo). Los frutos se colectaron alcanzada su madurez. Se registró el peso, ancho, índice de color, firmeza, sólidos solubles totales, acidez, concentración de antocianos, concentración de ácido ascórbico, concentración de compuestos fenólicos totales y capacidad antioxidante. Las metodologías usadas para el registro de estas variables se describen en la sección 2.2.3 del Capítulo 2.

3.3 Resultados

3.3.1 Análisis fisicoquímico de los sustratos

El análisis químico de los sustratos se resume en la Tabla 13. Al final del ciclo, el contenido de MO aumentó en todos los tratamientos respecto al control y al fertilizante comercial, destacándose los tratamientos NP10, PA10 y M10. Los valores de pH se mantuvieron entre 6 y 7 durante todo el ciclo y para todos los tratamientos. Respecto a la CE, si bien la mayoría de los tratamientos presentaron una CE elevada al inicio (entre 1 y 3,94 dS/m), estos valores disminuyeron a valores óptimos hacia el final del cultivo (CE < 1 dS/m) (Tabla 13). Los tratamientos con *S. chilensis* y *P. acuminata* (PA5, PA10, SC5 y SC10) mostraron los registros de CE más elevados tanto al inicio (3,15 a 3,91 dS/m) como al final (0,489 a 0,902 dS/m). En cuanto a los cationes intercambiables, se observó que el contenido de Ca^{2+} intercambiable no sufrió grandes modificaciones entre el análisis inicial y final, mientras que el K^+ intercambiable disminuyó considerablemente al final en todos los tratamientos (Tabla 13). Al final del ciclo, el Mg^{2+} intercambiable fue elevado para los tratamientos PA5, PA10, mientras que NP5, NP10 y M10 se destacaron en el contenido de Na^+ intercambiable. Asimismo, la CIC se destacó ampliamente en el tratamiento M10 (15,3 cmolc/g) (Tabla 13).

El contenido de N total fue mayor en todos los tratamientos respecto al control, principalmente en NP5 y PA10, mientras que el contenido de P disponible y P total se destacó en los tratamientos con plantas (Tabla 13). En general, estos valores disminuyeron al final del ciclo para todos los tratamientos, aunque los sustratos mencionados mantuvieron los valores más altos. En general, esta tendencia también se observó para el resto de los micro y macronutrientes totales analizados, a excepción del Ca total (Tabla 13). Este nutriente fue mayor en el tratamiento M5, en el cual se registró un contenido de Ca total de 2183,9 mg/kg al final del ciclo, mientras que los demás tratamientos presentaron valores menores a 700 mg/kg.

Respecto a los parámetros físicos de los sustratos, los tratamientos M10 y SC10 se destacaron (Tabla 14). Todos los tratamientos mostraron densidades aparentes por encima de los valores óptimos ($\text{DA} > 0,8 \text{ g/cm}^3$); sin embargo, M10 y SC10 presentaron las densidades aparentes más bajas y cercanas a los óptimos (Tabla 14). La porosidad total, por el contrario, estuvo por debajo de los valores óptimos, siendo nuevamente los tratamientos M10 y SC10 los que presentaron los valores más cercanos al óptimo ($> 66\%$). Del mismo modo, solo los tratamientos mencionados anteriormente registraron una capacidad de aireación dentro de los rangos óptimos establecidos para sustratos (15-30%). La θ_{CC} mostró porcentajes superiores a los óptimos, a excepción del tratamiento SC10 (Tabla 14). Finalmente, el AFD estuvo dentro del rango óptimo para todos los tratamientos (15-30%), excepto para SC10 y NP10 (12,8 y 13,1%).

Tabla 13. Parámetros químicos de los sustratos al inicio (antes de la implantación) y al final del ciclo de cultivo de frutilla (diciembre).

	Inicial									Final									
	Con FerC	PA5	PA10	SC5	SC10	M5	M10	NP5	NP10	Con	FerC	PA5	PA10	SC5	SC10	M5	M10	NP5	NP10
MO (g/kg)	0,1	0,9	1,1	0,6	1,2	0,8	1,8	0,6	0,9	1,1	1,1	3,3	5,7	2,6	3,6	3,1	5,4	4,9	9,1
N tot. (g/kg)	0,6	2,0	2,5	2,0	2,5	1,4	3,4	0,7	0,9	0,5	1,3	1,3	1,9	1,3	1,5	0,9	1,0	1,1	2,3
P disp. (mg/kg)	48,3	93,8	111,5	103,4	131,3	68,1	78,9	57,6	58,2	49,1	53,9	103,9	78,8	59,7	55,4	54,5	39,0	42,5	48,9
P tot. (mg/kg)	212,9	306,1	331,6	323,1	344,3	314,6	284,9	229,8	187,4	214,6	204,9	366,4	219,8	267,0	329,8	198,6	293,1	204,1	267,0
pH	7,2	6,3	6,1	6,0	5,9	6,4	6,1	6,5	6,1	6,2	5,9	6,8	6,7	6,7	6,8	6,8	7,1	6,7	6,7
CE (dS/m)	0,9	3,1	3,9	3,3	3,2	2,1	2,0	1,1	1,2	0,4	0,3	0,7	0,9	0,5	0,5	0,4	0,3	0,3	0,3
Ca²⁺ (mg/kg)	280,5	774,0	885,0	541,0	561,2	380,8	741,5	309,6	360,7	360,7	433,4	621,2	881,8	300,6	601,2	521,0	376,7	308,7	350,7
Mg²⁺ (mg/kg)	145,9	438,7	589,9	559,4	597,2	413,4	429,2	304,0	355,5	161,8	117,2	314,7	384,7	255,3	303,3	182,4	357,4	398,8	232,6
Na⁺ (mg/kg)	27,0	105,8	105,8	66,7	66,7	66,7	66,7	46,0	46,0	11,5	32,2	33,1	33,2	33,2	33,2	32,2	50,6	50,6	50,6
K⁺ (mg/kg)	117,3	899,3	1395,9	1184,7	1548,4	520	1094,8	285,3	269,8	49,9	89,9	265,9	242,4	187,7	218,9	105,6	308,9	156,4	168,1
CIC (cmolc/kg)	4,9	11,2	14,9	12,9	15,1	7,8	11,3	6,8	7,8	5,2	4,9	7,2	8,9	5,1	7,1	5,0	15,3	6,4	9,4
Ca tot. (mg/kg)	444,0	816,0	1402,0	649,0	683,0	539,0	888,0	444,0	413,0	556,8	476,9	695,5	965,8	320,5	640,3	421,9	406,4	338,8	380,9
Mg tot. (mg/kg)	632	839	1148	588	634	519	1133	562	447	567,0	634,3	607,9	593,5	486,2	493,3	380,7	409,4	426,6	441,2
Na tot. (mg/kg)	775,5	1161,0	1257,2	1044,6	1439,5	1007,9	1258,2	711,4	1107,9	519,0	132,1	142,7	485,0	337,9	207,7	399,3	574,2	427,0	131,1
K tot. (mg/kg)	788,0	1581,0	2266,0	1787,0	2274,0	1178,0	1815,0	817,0	879,0	793,8	604,4	1040,1	990,8	915,5	925,3	759,3	844,8	785,3	713,0
Cu tot. (mg/kg)	5,7	8,8	13,2	6,8	14,4	9,1	16,8	15,8	5,6	16,3	11,6	13,6	15,1	83,4	7,3	28,0	11,0	10,8	13,5
Fe tot. (mg/kg)	3193,0	3290,0	3099,0	2941,0	3299,0	3189,0	4101,0	3186,0	2963,0	3541,0	3205,0	3211,0	4182,0	3172,0	3493,0	3148,0	3221,0	3196,0	3407,0
Mn tot. (mg/kg)	112,4	133,4	135,8	105,0	106,8	105,4	138,2	112,5	98,5	104,5	90,9	107,0	104,4	99,3	86,1	74,8	80,8	73,2	94,8
Zn tot. (mg/kg)	24,6	15,1	16,4	13,3	15,9	20,1	33,6	18,1	10,1	68,6	55,0	46,3	25,3	160,7	21,0	32,3	27,3	15,6	77,1

Tabla 14. Parámetros físicos (promedios) de los sustratos al final del ciclo. Ref.: (DA) densidad aparente; (PT) porosidad total; (CA) capacidad de aireación; (θ_{cc}) capacidad de contenedor; y (AFD) agua fácilmente disponible.

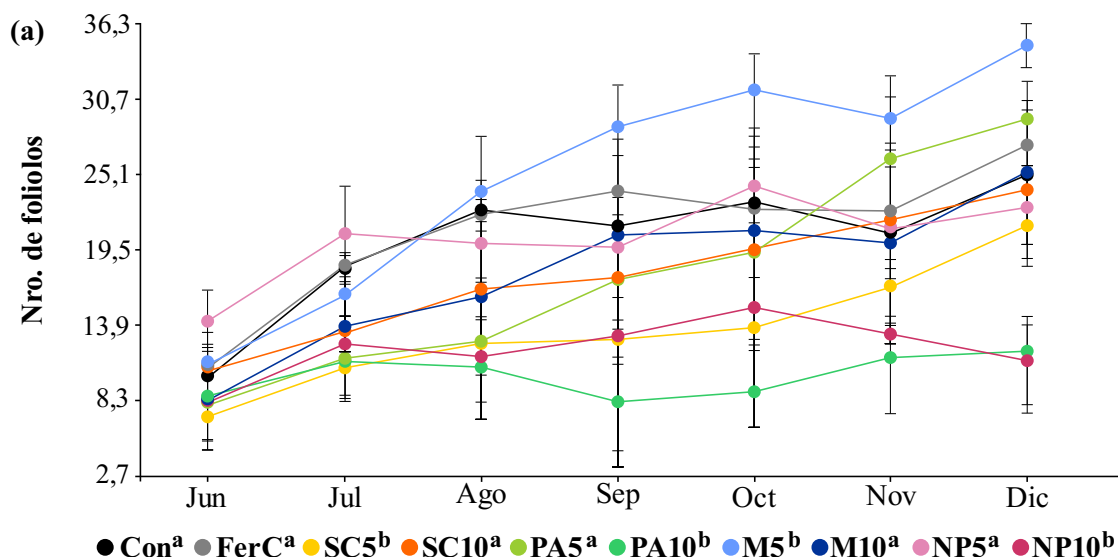
	Con FerC	PA5	PA10	SC5	SC10	M5	M10	NP5	NP10	Óptimo ¹
DA (g/cm ³)	1,5	1,2	1,1	1,0	0,8	1,2	0,9	1,4	1,4	0,15-0,45
PT (%)	41,7	53,4	58,0	60,9	69,8	53,9	66,3	45,2	46,6	>85,0
CA (%)	14,0	7,7	4,7	20,9	30,6	11,9	20,1	14,4	14,1	15,0-30,0
θ_{cc} (%)	86,0	92,3	94,8	79,1	69,4	88,1	79,9	85,6	85,9	55,0-70,0
AFD (%)	22,0	21,4	19,2	18,8	12,8	18,9	17,0	19,6	13,1	15,0-30,0

¹García *et al.*, 2001; Pastor & Narciso, (1999); Ansorena, (1994).

3.3.2 Parámetros vegetativos y productivos

3.3.2.1 Desarrollo foliar

El 50% de las plantas del tratamiento PA10 murieron a mitad de ciclo. Los sustratos con mani, principalmente M5, mostraron el mejor desarrollo foliar durante el ciclo de cultivo (Figura 19a y 19b). El número de folíolos y área foliar en estos tratamientos fue incluso mayor que el tratamiento con el fertilizante comercial (FerC) hacia el final del ciclo. El desarrollo vegetativo en los tratamientos SC5, SC10 y PA5 fue muy bajo en prácticamente todo el ciclo; sin embargo, luego de octubre se observó un aumento abrupto en el desarrollo foliar de estas plantas, tanto en número de folíolos (Figura 19a) como área foliar (Figura 19b), con valores que superaron incluso al tratamiento con el fertilizante comercial en el mes de diciembre.



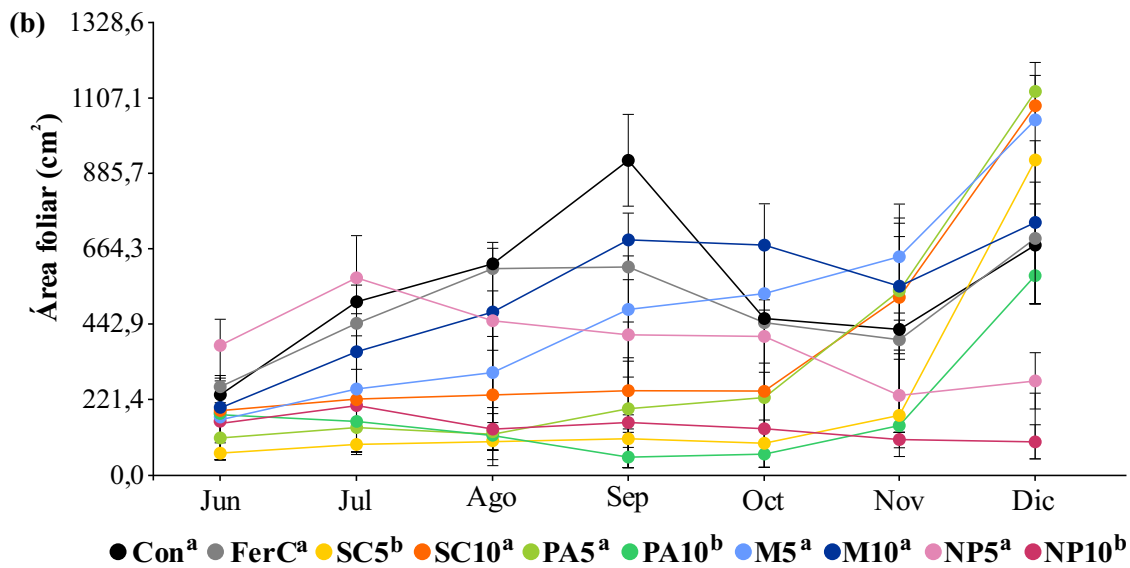
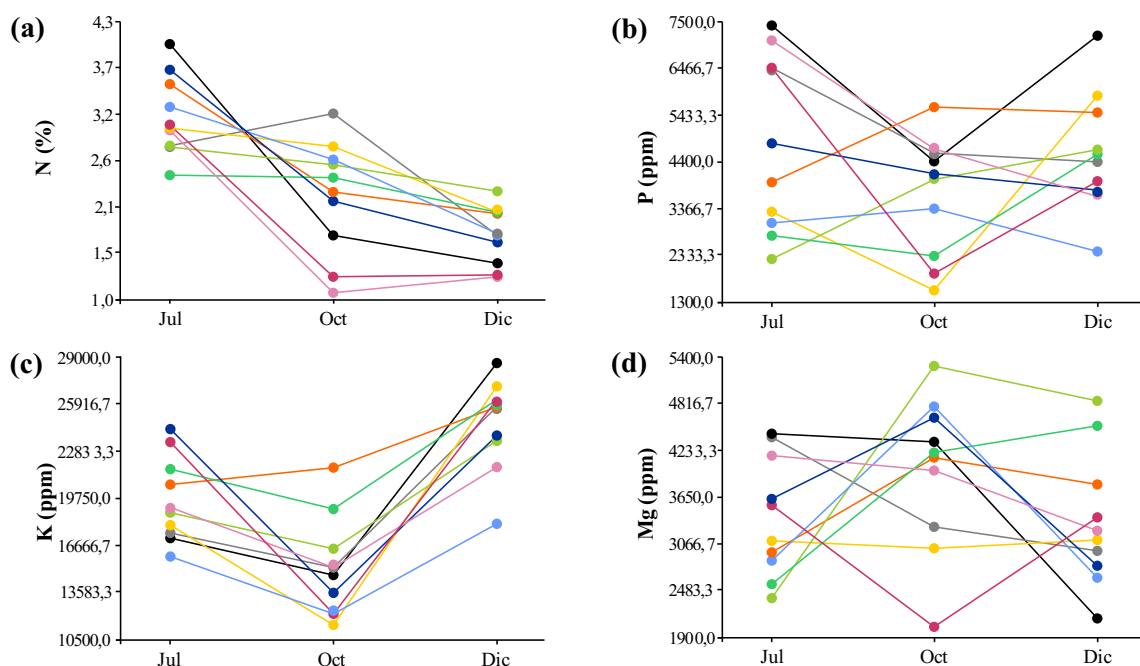


Figura 19. Promedio del (a) número de foliolos y del (b) área foliar para cada mes del ciclo de cultivo. Letras diferentes en los tratamientos indican diferencias estadísticamente significativas respecto al control (Con) (test de Dunnett $p < 0,05$).

Respecto a los nutrientes, en general, los tratamientos PA5, SC5, SC10, M5 y M10 se destacaron. El contenido de P y K decreció a mitad de ciclo y volvió a aumentar hacia el final, destacándose los tratamientos PA5, SC5, SC10 y M10 (Figuras 20b y 20c). El N y Mg decrecieron linealmente hacia el final, donde el tratamiento PA5 mostró altas concentraciones de ambos nutrientes (Figuras 20a y 20d). Respecto al contenido de Ca, M5 y Con se destacan, mientras que M10 mostró un aumento hacia el final (Figura 20e). El Fe y Cu decrecieron hacia el final en todos los tratamientos; PA5, SC5, SC10 y M10 mostraron las concentraciones más altas de ambos nutrientes (Figuras 20f y 20i). Por último, el contenido de Mn, Zn y Na fue elevado principalmente en el tratamiento M5 (Figuras 20g, 20h y 20j).



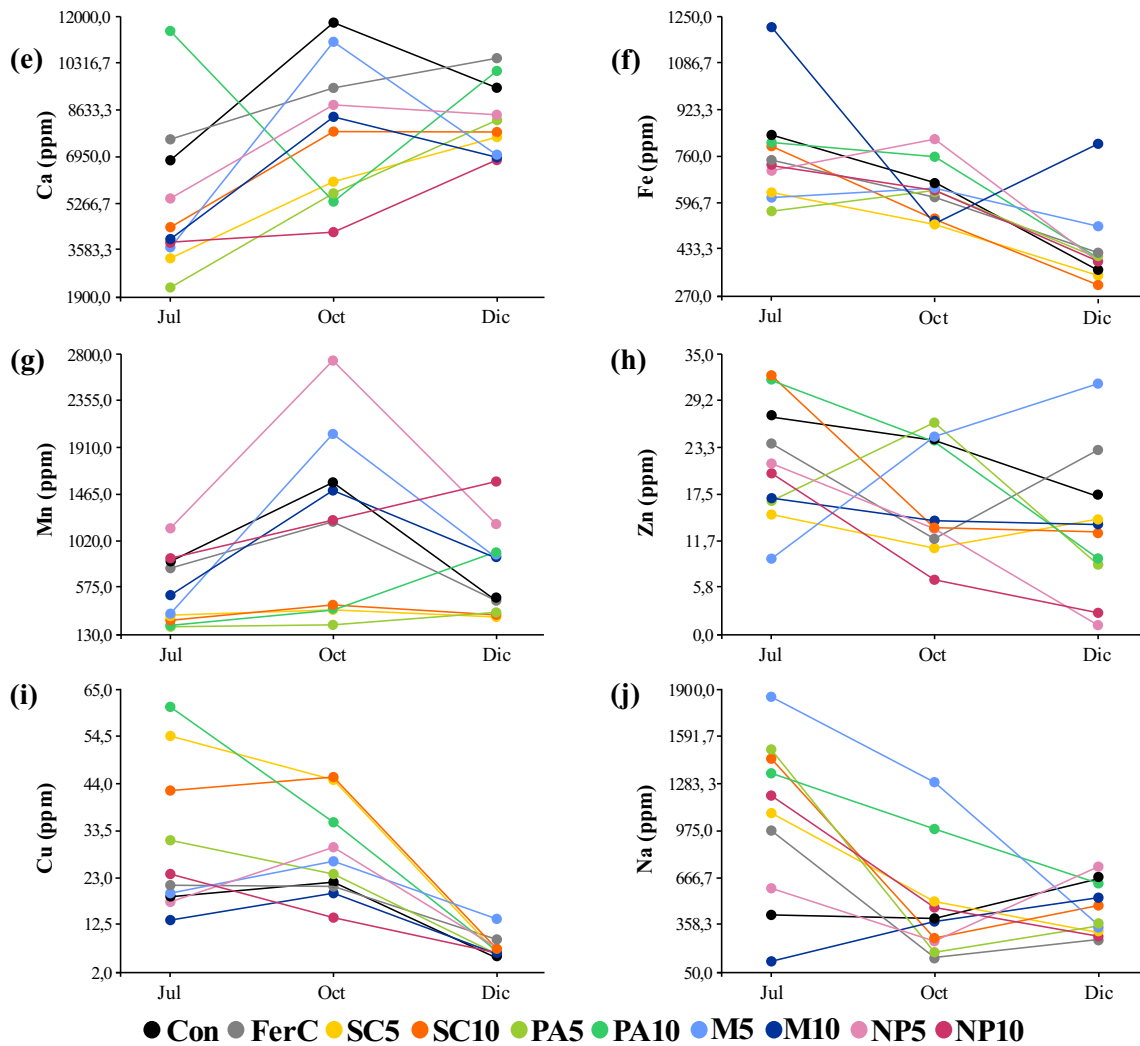


Figura 20. Concentración de nutrientes en hoja en tres estadios del cultivo: inicio (Jul), medio (Oct) y final (Dic): (a) nitrógeno total-N; (b) fósforo total-P; (c) potasio total-K; (d) magnesio total-Mg; (e) calcio total-Ca; (f) hierro total-Fe; (g) manganeso total-Mn; (h) zinc total-Zn; (i) cobre total-Cu; y (j) sodio total-Na.

3.3.2.2 Rendimiento del cultivo

Los tratamientos con cáscaras de maní (M5 y M10) registraron el mayor rendimiento en términos de número de frutos y peso acumulado de fruta (Tabla 15). NP10 y SC5 mostraron rendimientos muy por debajo del control sin aplicaciones. Respecto al tamaño de los frutos, más del 52% de los frutos colectados de los tratamientos NP5, NP10, SC5 y PA10 mostraron tamaños de fruta < 7 g, y estos valores fueron significativos respecto al control (Tabla 15, Figura 21a). Contrariamente, los tratamientos M5 y M10 registraron el menor porcentaje de frutos menores a 7 g, mientras que M10 desarrolló frutos con pesos significativamente mayores respecto al control (Figura 21a). Si bien el tratamiento M10 produjo menor cantidad de frutos que M5, el 45,5% de los frutos cosechados en el tratamiento M10 registraron pesos entre 15-25 g, mientras que en M5 fueron de 7 a 12 g (Tabla 15, Figura 21a). Estos resultados también se reflejan en la Figura 21b respecto al largo y ancho de los frutos.

Así, el tratamiento M10 registró, en promedio, los frutos más largos y anchos, mientras que los tratamientos con plantas (PA y SC) y cáscaras de nuez pecán (NP) produjeron frutos significativamente más chicos respecto al control (Figura 21b).

Tabla 15. Rendimiento del cultivo en términos de número total de frutos, gramos de fruta acumulados durante todo el ciclo y categorización de frutos según su peso individual.

Trat.	Nro. total de frutos	Gramos (g) de fruta acumulados	Categorización de frutos según su peso individual (%)			
			< 7 g	7-12 g	12-25 g	> 25 g
Con	54	591,9	29,0	33,3	35,2	1,8
FerC	67	544,8	25,4	41,8	31,3	1,5
SC5	19	109,3	52,6	42,1	5,3	0,0
SC10	47	437,7	44,7	29,8	25,5	0,0
PA5	50	432,3	34,0	44,0	22,0	0,0
PA10	19	136,3	57,9	31,6	10,5	0,0
M5	69	707,8	24,6	49,3	26,1	0,0
M10	55	704,8	10,9	38,2	45,5	5,4
NP5	32	274,8	59,4	15,6	21,9	3,1
NP10	13	67,0	69,2	30,8	0,0	0,0

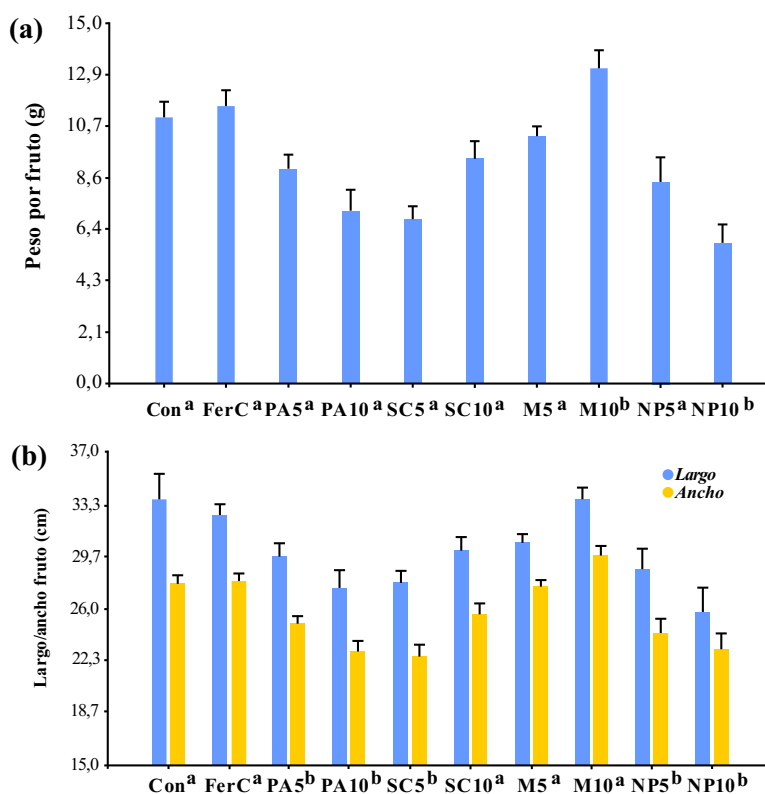


Figura 21. (a) peso y (b) largo/anchura por fruto individual cosechado para cada tratamiento. Letras diferentes en los tratamientos indican diferencias estadísticamente significativas respecto al control (Con) (test de Dunnett $p < 0,05$).

3.3.2.3 Color y firmeza de los frutos

El índice de color fue similar para todos los tratamientos (entre 62,3 y 74,2) y no mostró diferencias significativas respecto al control (Con) (Figura 22a).

En cuanto a la firmeza, los tratamientos con cáscaras de nuez pecán (NP5 y NP10) registraron los frutos más firmes ($57,1 \pm 1,7$ y $56,6 \pm 3,3$ °Shore, respectivamente) y fue significativo respecto al control ($48,4 \pm 1,5$ °Shore) (Figura 22b). Los demás tratamientos, a excepción de SC5 y FerC, mostraron firmezas levemente menores al control (entre 43,7 y 46,8 °Shore), aunque no se observaron diferencias estadísticamente significativas.

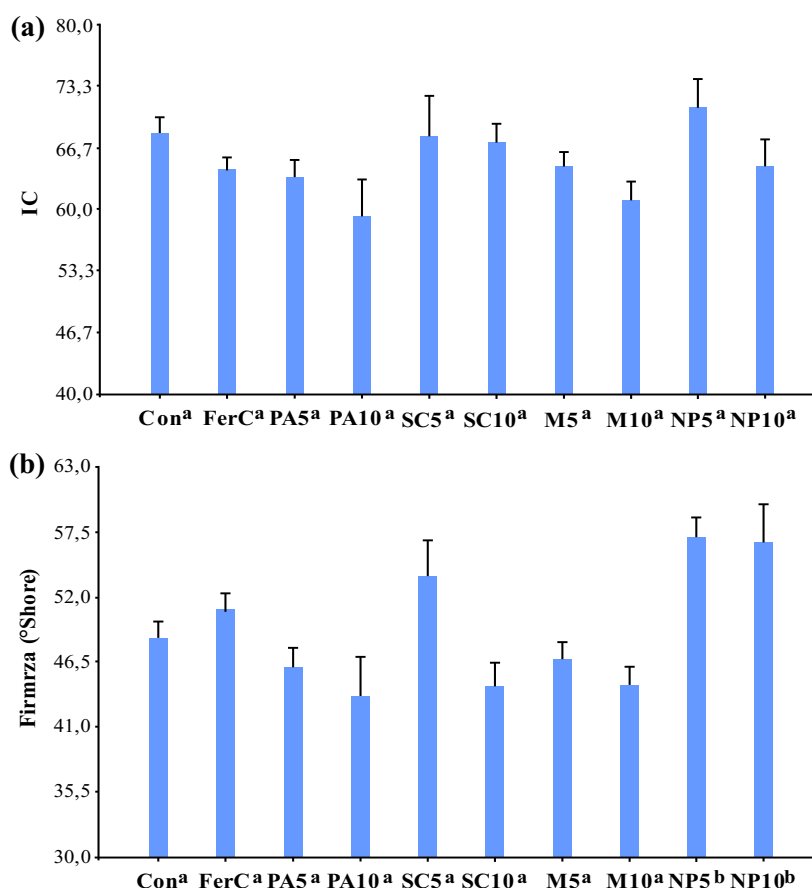


Figura 22. (a) Análisis colorimétrico (índice de color, IC) y (b) de firmeza (en °Shore) de los frutos cosechados para cada tratamiento. Letras diferentes en los tratamientos indican diferencias estadísticamente significativas respecto al control (Con) (test de Dunnett $p < 0,05$).

3.3.2.4 Sólidos solubles totales (SST) y acidez de los frutos

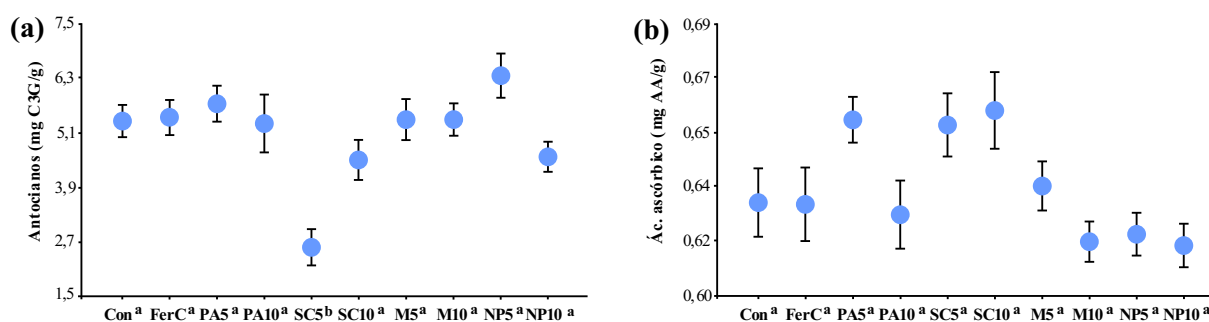
El tratamiento M10 registró el mayor contenido de SST y fue significativo respecto al control ($8,51 \pm 0,51$ y $6,56 \pm 0,34$ °Brix, respectivamente) (Tabla 16). Excepto para FerC, todos los tratamientos registraron una acidez significativamente mayor respecto al control, siendo M5, PA5 y M10 los que presentaron los contenidos más altos (Tabla 16). Estos resultados coinciden con los ratios cuantificados, ya que los tratamientos mencionados anteriormente (en especial M5 y PA5) presentan los valores de ratio más bajos (0,34 y 0,40, respectivamente) indicando una mayor acidez en los frutos (Tabla 16).

Tabla 16. Contenido de sólidos solubles totales (SST), acidez y ratio de frutos cosechados para cada tratamiento (media ± error estándar). Letras diferentes en los tratamientos indican diferencias estadísticamente significativas respecto al control (Con) (test de Dunnett $p < 0,05$).

Tratamiento	SST (°Brix)	Acidez (eq. ác. cítrico anhidro/L)	Ratio
Con	6,56 ± 0,34 ^a	9,33 ± 0,46 ^a	0,71 ± 0,03 ^a
FerC	6,03 ± 0,32 ^a	10,12 ± 0,92 ^a	0,62 ± 0,03 ^a
PA5	6,82 ± 0,28 ^a	17,47 ± 0,93 ^b	0,40 ± 0,03 ^b
PA10	7,31 ± 0,47 ^a	13,64 ± 0,41 ^b	0,54 ± 0,04 ^b
SC5	6,22 ± 0,50 ^a	13,26 ± 1,29 ^b	0,48 ± 0,03 ^b
SC10	6,24 ± 0,35 ^a	14,84 ± 0,94 ^b	0,43 ± 0,03 ^b
M5	6,18 ± 0,22 ^a	18,02 ± 0,49 ^b	0,34 ± 0,01 ^b
M10	8,51 ± 0,51 ^b	15,89 ± 0,79 ^b	0,55 ± 0,06 ^b
NP5	6,98 ± 0,47 ^a	13,41 ± 1,03 ^b	0,54 ± 0,05 ^b
NP10	7,15 ± 0,25 ^a	13,75 ± 1,12 ^b	0,57 ± 0,06 ^b

3.3.2.5 Cuantificación de antocianos, ácido ascórbico, compuestos fenólicos y actividad antioxidante de los frutos

Las variables bioquímicas mostraron resultados variados. En primer lugar, el contenido de antocianos se destacó en el tratamiento NP5, pero no fue significativo respecto al control (Figura 23a); solo se observaron diferencias significativas entre el Con y SC5, este último con valores muy por debajo respecto a los demás tratamientos. En segundo lugar, no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos y el control para el contenido de ácido ascórbico (entre 0,62-0,66 mgAA/g) (Figura 23b) y la actividad antioxidante (entre 66,4-73,5%) (Figura 23d). Finalmente, los tratamientos M10, NP5, NP10 y FerC mostraron un contenido de compuestos fenólicos significativamente mayor respecto al control (Figura 23c).



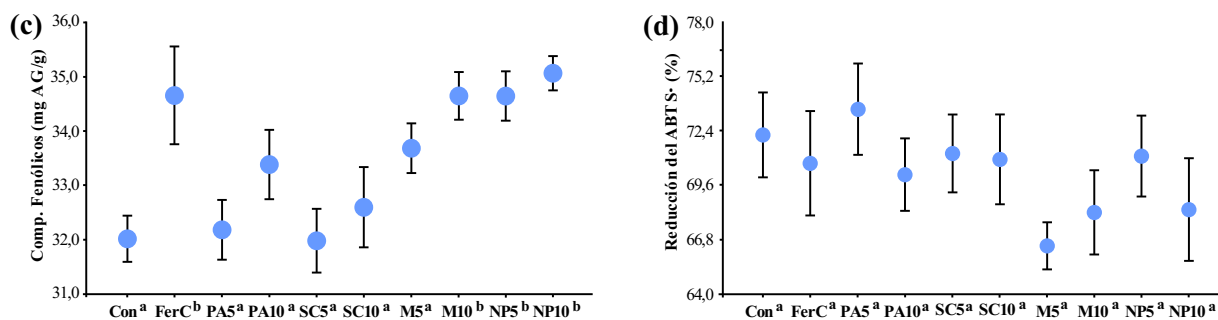


Figura 23. Propiedades bioquímicas de los frutos cosechados para cada tratamiento: (a) contenido de antocianos (mg cianidina-3-glucósido/g), (b) contenido de ácido ascórbico (mg ácido ascórbico/g), (c) contenido de compuestos fenólicos (mg de ácido gálico/g), y (d) actividad antioxidante (% actividad decolorante del radical ABTS·/g). Letras diferentes en los tratamientos indican diferencias estadísticamente significativas respecto al control (Con) (test de Dunnett $p < 0,05$).

3.4 Discusión

La necesidad de formular nuevos productos de base biológica para reducir el uso de fertilizantes sintéticos en los cultivos es evidente. A su vez, cada año se generan toneladas de residuos de la actividad agrícola e industrial con características prometedoras para su reutilización en la formulación de nuevos productos más sustentables para el medio ambiente. En este capítulo se analizó el efecto de diferentes sustratos a base de residuos vegetales sobre parámetros fisicoquímicos del suelo y parámetros productivos de cultivos de frutilla. Los principales resultados demostraron que las cáscaras de maní mejoraron las propiedades del suelo (especialmente los parámetros físicos), aumentaron el desarrollo foliar de las plantas, mostraron el mejor rendimiento en cuanto a producción de frutos y favorecieron algunas propiedades organolépticas como el contenido de SST, de compuestos fenólicos y la acidez. Por otro lado, si bien los frutos cosechados de los sustratos a base de *P. acuminata*, *S. chilensis* y cáscaras de nuez pecán mejoraron algunas de las propiedades organolépticas de los frutos, el desarrollo de las plantas y el rendimiento de los cultivos fue muy bajo.

3.4.1 Impacto de los sustratos en las propiedades fisicoquímicas del suelo

Los análisis de suelo mostraron valores interesantes para los diferentes sustratos. Todos los sustratos mejoraron considerablemente el contenido de MO hacia el final, principalmente los tratamientos M10, NP5 y PA10. En cuanto al pH, si bien aumentó al final del ciclo en todos los tratamientos, el mismo fue leve y se mantuvo dentro de los valores óptimos para cultivos. La CE fue alta al inicio, pero disminuyó al final para todos los tratamientos, principalmente para los tratamientos M10 y FerC, lo cual puede explicarse por el lavado del suelo durante el riego (El-Naggar *et al.*, 2021; Gupta & Abrol, 2008). En este sentido, los valores óptimos en las propiedades físicas del sustrato M10 podrían haber contribuido a una correcta distribución del agua de riego y dinámica de los nutrientes, lo que se tradujo en un CE óptima para cultivo, mientras que las propiedades físicas desfavorables registradas para los tratamientos

con PA podrían haber provocado los mayores registros de CE al final del ciclo (cerca de 1 dS/m para PA10). Respecto a la CIC, M10 registró un valor muy por encima de los demás tratamientos (15,3 cmolc/kg), lo que también se reflejó en el mayor contenido de los cationes intercambiables, principalmente de K^+ . Este resultado coincide con otros trabajos y podría indicar un mejor manejo de los nutrientes por parte del sustrato M10, debido a la expansión de sitios de intercambio de coloides que mejoran la eficiencia en el manejo de los nutrientes (Antonangelo *et al.*, 2024, Zhang *et al.*, 2024; Fall *et al.*, 2018), lo que también se reflejó en el mejor desarrollo vegetativo y productivo de las plantas de este tratamiento.

Los tratamientos con *P. acuminata* (PA) y *S. chilensis* (SC) mostraron alto contenido de la mayoría de los nutrientes en el suelo final; sin embargo, esto no favoreció las propiedades físicas (a excepción de SC10) de los suelos ni el desarrollo vegetativo de las plantas (incluso se registró la muerte de algunas unidades experimentales). Adicionalmente, estos tratamientos mostraron un rendimiento muy bajo en términos de producción de frutos (principalmente los tratados con PA). Este escenario también se observó para las plantas tratadas con cáscaras de nuez pecán (NP). Si bien no existen trabajos donde se haya aplicado cáscaras de nuez pecán en suelos de cultivos de frutilla, otros autores observaron que la adición de estos residuos al suelo mejoró la estabilidad de agregados y el contenido de algunos nutrientes como P, K, Ca y Mn (Liu *et al.*, 2023; Idowu *et al.*, 2017; Novak *et al.*, 2009). Sin embargo, la aplicación del residuo en estos trabajos fue en forma de biocarbón y no como cáscara molida (como en este trabajo), lo que podría indicar la necesidad de someter las cáscaras a un tratamiento previo para garantizar su efecto positivo en los cultivos. Por otro lado, y como se mencionó en el apartado 3.1, no existe evidencia científica donde se evalúe el efecto de la adición de especies vegetales a un suelo de cultivo. Sin embargo, diferentes autores mencionan que la acumulación y distribución de biomasa de un cultivo está directamente regulada por el suministro de nutrientes, por lo que un incremento de un nutriente en particular puede reducir la disponibilidad de otros nutrientes o la limitación del potencial genético de los cultivos (Chrysargyris *et al.*, 2022; Pandey *et al.*, 2021). Por ejemplo, se ha reportado que altas concentraciones de fósforo pueden reducir la absorción de Zn, Fe y Mn (Mohammed *et al.*, 2021). Así, en este trabajo se registró el mayor contenido de fósforo en los suelos tratados con plantas y, a su vez, se vieron menores concentraciones de Zn y Mn en las hojas de estos tratamientos, lo que podría indicar una dificultad en la movilidad de estos nutrientes desde el suelo hacia la planta. Incluso las formas del nitrógeno (mayor en suelos con PA y NP) también pueden afectar las concentraciones de Zn en las plantas (Xue *et al.*, 2021). Sumado a esto, tanto *P. acuminata* como *S. chilensis* contienen una amplia variedad de compuestos bioactivos que, si bien son útiles para el control de patógenos (ver Capítulo 4), también pueden tener efectos no deseados sobre el desarrollo vegetal si se aplican en dosis incorrectas. En este sentido, se ha reportado que algunos metabolitos como terpenoides y fenoles (muy presentes tanto en PA y SC como en NP) pueden ejercer efectos alelopáticos y afectar la dinámica de la comunidad biológica y el crecimiento de las plantas, tanto de forma negativa como positiva (Fadiji *et al.*, 2025; Kong *et al.*, 2024; Polyak & Sukharevich, 2019).

Los parámetros físicos del suelo mostraron resultados interesantes que podrían explicar el bajo desarrollo de las plantas de los tratamientos con PA y NP. En primer lugar, todos los tratamientos mostraron densidades aparentes (DA) muy por encima de los óptimos para el cultivo de frutilla, a excepción de M10 y SC10, que presentaron DA próximas a los óptimos (García *et al.*, 2001; Pastor & Narciso, 1999; Ansorena, 1994). La DA es crucial para los cultivos ya que no solo interviene en la porosidad, conductividad hidráulica y compactación del suelo, sino que también es fundamental para las reservas de nutrientes y disponibilidad de agua (Al-Shammary *et al.*, 2018). Así, densidades altas y un bajo porcentaje de porosidad y capacidad de aireación (como las registradas para PA y NP) indican compactación, menor aireación, dificultad en la infiltración del agua, retención de agua, y restricción del crecimiento radicular y de la movilidad de nutrientes (Fariña *et al.*, 2025; Gavrilescu, 2021; Leyva *et al.*, 2018).

Si bien tanto M10 como SC10 registraron mejores características físicas del sustrato, SC10 mostró un menor desarrollo tanto en términos vegetativos como productivos. Esto podría explicarse por lo mencionado al inicio del presente apartado, en torno a la elevada concentración de nutrientes finales que presentaron tanto los tratamientos con SC como PA. Al igual que los demás sustratos, no se encontraron antecedentes que hayan evaluado los efectos de la adición de cáscaras de maní a cultivos de frutilla específicamente; sin embargo, existen varios trabajos donde aplicaron este residuo en otros cultivos y también obtuvieron resultados prometedores. Respecto a las propiedades fisicoquímicas del suelo, diversos trabajos observaron que el biocarbón obtenido a partir de cáscaras de maní y aplicado en suelos de diferentes cultivos como lechuga, arroz, maíz, pepino, plantas ornamentales y del propio maní, mejoró la capacidad de retención de agua, la porosidad total, el contenido de materia orgánica, la conductividad eléctrica, el contenido de nutrientes, y alivió el efecto de la toxicidad iónica en suelos altamente salinos (Piao *et al.*, 2023; Zhou *et al.*, 2023; Xia *et al.*, 2022; Nazir *et al.*, 2021; Liu *et al.*, 2019; Xu *et al.*, 2015; Mohammadi *et al.*, 2015). Este tipo de enmienda también mejoró la disponibilidad y la eficiencia en la absorción de macro y micronutrientes en cultivos de maíz, tomate, berenjena y rábano rojo (Xia *et al.*, 2022; Bako *et al.*, 2022; Xu *et al.*, 2022; Farghly *et al.*, 2020; Du *et al.*, 2018; Nalluri & Karri, 2018). Muchos de estos resultados coinciden con el desempeño de las cáscaras de maní evaluadas en este trabajo. Inclusive, se ha demostrado que las cáscaras de maní en solución mejoraron el contenido de N, P, K y Ca, el pH y la CE en un cultivo hidropónico de lechuga (Wondu & Sasi Kumar, 2020), lo que indica el amplio espectro de funcionalidades de este residuo en diferentes condiciones de cultivo.

3.4.2 Impacto de los sustratos sobre parámetros productivos de frutilla

Las propiedades fisicoquímicas del suelo se vieron reflejadas en el desarrollo foliar y el rendimiento del cultivo. Así, los tratamientos con cáscaras de maní mostraron los mejores resultados en términos de desarrollo foliar, rendimiento de cultivo (número de frutos y tamaño) y calidad de frutos. Contrariamente, si bien los tratamientos con *P. acuminata* y cáscaras de nuez pecán mejoraron algunas

propiedades organolépticas de los frutos, no lograron una buena productividad del cultivo. El tratamiento SC10 mostró resultados intermedios entre los tratados con cáscaras de maní y los tratados con PA y NP. Estos resultados coinciden con otros trabajos en los que aplicaron cáscaras de maní en suelos de cultivos de arroz (Piao *et al.*, 2022), rábano (Farghly *et al.*, 2020), pepino (Nazir *et al.*, 2021), maíz (Xia *et al.*, 2022; Bako *et al.*, 2022; Du *et al.*, 2018), maní (Xu *et al.*, 2015), berenjena (Nalluri & Karri, 2018), papa (Zhou *et al.*, 2023), donde observaron aumentos significativos en el desarrollo foliar y en el rendimiento de los cultivos. Muchos trabajos destacan los efectos positivos de las cáscaras de maní en la respirabilidad del suelo y lo atribuyen como la principal causa del aumento en el rendimiento de los cultivos (Thorat *et al.*, 2025; Zhou *et al.*, 2023; Alagöz & Yilmaz, 2009). Estos autores concluyeron que el aumento de la MO mejora la ventilación y agregación del suelo, lo que favorece la capacidad de retención de agua, la actividad microbiana y la absorción de nutrientes. Adicionalmente, Fall *et al.* (2018) destaca que los suelos con alta CIC son más fértiles porque pueden retener más cationes resultando en una alta tasa de mineralización de la MO, lo que mejora el rendimiento y la calidad de los cultivos.

Respecto a las propiedades organolépticas de los frutos, se observaron resultados variados entre los tratamientos. En primer lugar, a pesar de que los tratamientos con cáscaras de nuez pecán no mostraron un buen desarrollo foliar y rendimiento de cultivo, se destacaron significativamente en la firmeza y el contenido de compuestos fenólicos. Muchos artículos destacan el papel de los nutrientes (principalmente Ca y K) como los responsables de la firmeza de los frutos (Singh *et al.*, 2025; Quiroz *et al.*, 2023; Palacios-Peralta *et al.*, 2023). Aunque este aspecto podría explicar la mayor firmeza de los frutos en los tratamientos NP, no es posible corroborarlo en este trabajo ya que no se midieron los nutrientes en el fruto. Sin embargo, existen otros parámetros que también influyen sobre la firmeza, como el contenido de compuestos fenólicos. En este sentido, la interacción de los polisacáridos pépticos y las interacciones con los compuestos fenólicos influyen en las propiedades mecánicas de la pared celular, lo que podría influir en la firmeza de los frutos (Sakurai, 2002). A pesar de que el aumento de la firmeza es fundamental para reducir las pérdidas postcosecha de frutos (Dung *et al.*, 2021), también puede no ser beneficioso si el principal destino es el consumo fresco inmediato, ya que una mayor firmeza indica mayor dureza de los frutos y esto puede ser negativo para el consumidor. Los frutos tratados con cáscaras de nuez pecán registraron valores cercanos a los 65 °Shore (alto), por lo que sus frutos podrían ser aceptables para el mercado de procesados, pero no tanto para el consumo fresco del fruto. En segundo lugar, M10 fue el único tratamiento en presentar diferencias significativas en el contenido de SST. Bako *et al.* (2024) reportaron que la estimulación de la actividad biológica del suelo debido al aumento en la porosidad, aireación, capacidad de retención de agua y la CIC podría estimular la absorción de nutrientes y favorecer diversas propiedades organolépticas como el contenido de SST y vitamina C, lo que también fue observado por Sarhan *et al.* (2011), Adebayo *et al.* (2014) y Shafeek *et al.* (2015) para diferentes cultivos. En tercer lugar, todos los tratamientos probados mostraron una acidez significativamente mayor al control, destacándose los tratamientos M5, M10 y PA5. Se ha

reportado que el contenido de ácidos orgánicos en las frutas se ve afectado por muchos variables, que incluyen tanto parámetros agronómicos como ambientales (temperatura, cultivar, fertilización, riego, etc.), por lo que no existe una sola vía para explicar los cambios en el contenido de ácidos orgánicos en los frutos, ni tampoco se registra una tendencia marcada respecto a los trabajos publicados (Famiani *et al.*, 2015). Si bien no existen trabajos donde se hayan aplicado plantas y cáscaras a suelos de cultivos de frutilla, en términos generales, los valores de SST y acidez de este trabajo coinciden con los reportados por otros investigadores luego de tratar a los suelos con insumos orgánicos de diferente tipo (Saygi, 2022; Alvarado-Cepeda *et al.*, 2021; Kumar *et al.*, 2015). Finalmente, y como se mencionó en el Capítulo 2, existe evidencia de que el contenido de antocianos, de ácido ascórbico y la actividad antioxidante presentan una correlación positiva (Carranza-Téllez *et al.*, 2024; Cömert *et al.*, 2020; Villanueva-Tiburcio *et al.*, 2010), incluso para frutilla (Cantillano *et al.*, 2012). Sin embargo, si bien estos parámetros presentaron valores levemente mayores en los tratamientos con cáscaras de nuez pecán y con *P. acuminata*, no se observaron diferencias significativas respecto al control.

3.5 Conclusión

En este capítulo se evaluaron diferentes insumos de origen vegetal (especies vegetales y subproductos de la industria de alimentos) como sustratos para cultivos de frutilla. En particular, las cáscaras de maní (M) mostraron resultados alentadores sobre la mayoría de los parámetros evaluados. Este residuo mejoró considerablemente las propiedades físicas del suelo, ya que presentó una buena densidad, porosidad y capacidad de aireación, a la vez que aportó los nutrientes necesarios para garantizar el desarrollo del cultivo. Esto, a su vez, se vio reflejado en las características foliares de la planta y en el aumento de los rendimientos en términos de número y tamaño de frutos. Adicionalmente, las plantas tratadas con cáscaras de maní mejoraron significativamente algunas propiedades organolépticas del fruto como el contenido de SST, la acidez, y el contenido de compuestos fenólicos. A pesar de que el tratamiento con *S. chilensis* al 10% (SC10) también mostró buenos resultados en las propiedades físicas del suelo, este aspecto no se vio reflejado en los parámetros productivos de la planta. Asimismo, si bien las plantas tratadas con *P. acuminata* (PA) y cáscaras de nuez pecán (NP) mejoraron algunos parámetros organolépticos de los frutos (firmeza, acidez y contenido de compuestos fenólicos), el desarrollo foliar y los rendimientos del cultivo fueron muy bajos. Tanto los tratamientos con PA como NP registraron contenidos altos de la mayoría de los nutrientes en el suelo, baja porosidad y capacidad de aireación, lo que favoreció la compactación del suelo y la dificultad para movilizar los nutrientes desde el suelo a la planta.

En base a lo expuesto, las cáscaras de maní podrían considerarse un subproducto prometedor para mejorar las propiedades de suelos de cultivo de frutilla y aumentar sus rendimientos. Estos resultados representan un primer acercamiento para entender los efectos de este residuo en cultivos de frutilla, por lo que será necesario seguir profundizando los estudios y explorar nuevas alternativas de aplicación o

combinación con otros microorganismos que actúen como transformadores y movilizadores de nutrientes entre el suelo y la planta.



CAPÍTULO 4

**Capacidad antifúngica y
caracterización química de
extractos bacterianos y vegetales
sobre patógenos de frutilla**

4.1 Introducción

Las pérdidas económicas causadas por enfermedades fúngicas son uno de los principales problemas en el manejo de los cultivos y en el almacenamiento postcosecha. Aproximadamente el 85% de las enfermedades fúngicas se observa en la etapa postcosecha ya que, durante la cosecha, transporte y almacenamiento, las frutas son susceptibles a infecciones fúngicas que pueden servir como fuente de contaminación para los frutos sanos (Matrose *et al.*, 2021; Savary *et al.*, 2012). Los fungicidas sintéticos son el método más utilizado para controlar estos patógenos. Sin embargo, los residuos químicos tienden a permanecer en la planta y su uso reiterado ha favorecido el desarrollo de biotipos resistentes, a través de sobreexpresiones de genes particulares que bloquean los sitios diana de los fungicidas convencionales (Lee *et al.*, 2023; Hu & Chen, 2021; Martinez, 2012). Este escenario representa un gran riesgo tanto para la salud ambiental como humana, lo que plantea la necesidad de buscar alternativas de nuevos productos para reducir el uso de los fungicidas sintéticos.

Los extractos de plantas, residuos de la agroindustria y del metabolismo de diferentes organismos han ganado gran terreno debido a la presencia de una amplia variedad de metabolitos secundarios, que ofrecen beneficios tanto para la salud humana como para el tratamiento de enfermedades en cultivos (Redondo-Blanco *et al.*, 2020). Muchos trabajos de revisión han reportado la actividad antifúngica de extractos de plantas contra diversos patógenos de cultivos (Cenobio-Galindo *et al.*, 2024; Lee *et al.*, 2022; Seimandi *et al.*, 2021; Redondo-Blanco *et al.*, 2020; Nikolova *et al.*, 2017). Respecto a la actividad antifúngica de bacterias, existen unos pocos trabajos donde se evaluó el efecto antifúngico de extractos del metabolismo bacteriano (Abdel-Nasser *et al.*, 2023; Mamarasulov *et al.*, 2023; Soliman *et al.*, 2022; Naing *et al.*, 2014), ya que la mayoría de los estudios se centran en la actividad antifúngica de la cepa bacteriana propiamente dicha.

El cultivo de frutilla, en particular, puede ser atacado por diferentes géneros de hongos como *Botrytis*, *Colletotrichum*, *Phytophthora*, *Fusarium*, *Verticillium* y otros géneros (Garrido *et al.*, 2016); sin embargo, *Botrytis cinerea* y *Colletotrichum acutatum* son dos de los principales patógenos problemáticos en la región del litoral. *B. cinerea* es un hongo filamentoso causante de la enfermedad del moho gris en más de 200 especies de plantas, incluido el cultivo de frutilla (Gao *et al.*, 2018) (Figura 24a). Se considera el segundo patógeno fúngico más importante desde el punto de vista científico y económico debido, entre otros, a la posibilidad de desarrollarse en diferentes hábitats como micelios, micro y macroconidios, clamidosporas, esclerocios, apotecios y ascosporas (Gao *et al.*, 2018; Romanazzi *et al.*, 2016; Droby & Lichter, 2007). Adicionalmente, *B. cinerea* es la única especie del género que cuenta con una amplia gama de huéspedes, mientras que las restantes suelen ser específicas para una única especie vegetal (Staats *et al.*, 2005). Su modo de acción es típico de un necrótrofo ya que, en primer lugar, mata las células que rodean el área de infección, y luego obtiene los nutrientes del tejido muerto (Williamson *et al.*, 2007). La importancia de este patógeno radica en su capacidad de ingresar a los tejidos en una etapa más temprana al desarrollo del cultivo, y permanecer inactivo hasta que las condiciones son propicias para completar su ciclo, por lo que su accionar puede provocar

grandes pérdidas tanto en la etapa de campo/invernadero, como en la postcosecha (Espino *et al.*, 2010; Williamson *et al.*, 2007). La amplia capacidad de acción de este patógeno dificulta el control, ya que se deben tener en cuenta diversos aspectos como el modo de infección y el tipo de hospedante. Esto implica el uso de más de una medida de control, que comprenda tanto la interacción huésped-patógeno como el microambiente en el cual se desarrolla el hongo (Williamson *et al.*, 2007).

El género *Colletotrichum* se conoce por la formación de complejos de especies patógenas importantes para la agricultura, ya que causa la antracnosis en una amplia gama de hospedantes en todo el mundo (Farr & Rossman, 2012). Los síntomas más comunes asociados con *Colletotrichum* sp. son lesiones necróticas hundidas sobre las que se producen masas de conidios de coloración naranja o marrón (Freeman *et al.*, 1998) (Figura 24b). En particular, *C. acutatum* forma parte del complejo *C. acutatum*, el cual está conformado por 5 clados y 34 especies identificadas (Baroncelli *et al.*, 2017). Originalmente, *C. acutatum* fue descrito como patógeno de *Carica papaya*, *Capsicum frutescens* y *Delphinium ajacis* en Australia, pero luego se extendió a otros cultivos y plantas ornamentales como cítricos, arándano, frutilla, almendra, durazno, manzana, lupino, olivo, coníferas, entre otros (Damm *et al.*, 2012). Si bien la infección se desarrolla principalmente en los frutos, este patógeno también afecta otros órganos de las plantas como las coronas (podredumbre de la corona), raíces, hojas y flores (tizón de la flor) (Damm *et al.*, 2012; Wharton & Diéguez-Uribeondo, 2004). Entre otros aspectos, el amplio espectro de patogenicidad de *C. acutatum* se debe a sus estrategias de infección, las cuales pueden ser tanto de tipo intracelular hemibiotrófica como subcuticular-intramural necrotrófica (Wharton & Diéguez-Uribeondo, 2004). Además, tiene la capacidad de mantenerse latente hasta que las condiciones para su desarrollo sean las adecuadas (Wharton & Diéguez-Uribeondo, 2004). La capacidad de producir estructuras resistentes, la alta tasa de mutación y la ubicuidad tanto de *B. cinerea* como de *C. acutatum*, hace que la búsqueda de nuevos productos antifúngicos sea una tarea desafiante.

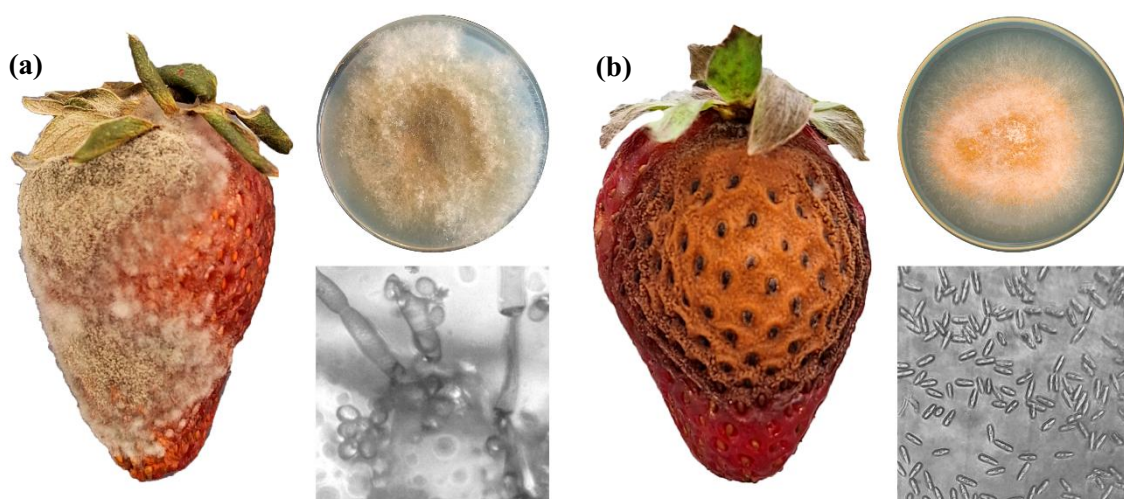


Figura 24. Síntomas típicos causados por (a) *B. cinerea* y (b) *C. acutatum* en frutillas, características morfológicas de las colonias (placas de Petri) y microscopía de los conidios de cada patógeno.

Por lo antes mencionado, el **objetivo del Capítulo 4** fue evaluar la capacidad antifúngica *in vitro* y *ex vivo* de extractos obtenidos del metabolismo de *B. licheniformis* y *P. stutzeri*, y de extractos vegetales obtenidos del procesamiento de las cáscaras (maní y nuez pecán) y especies vegetales (*P. acuminata*, *S. chilensis* y *Raphanus sativus*) sobre hongos patógenos de frutilla. Adicionalmente, fue objetivo caracterizar químicamente los extractos a través de cromatografías en capa delgada.

4.2 Materiales y Métodos

4.2.1 Preparación de extractos fijos

4.2.1.1 Extractos fijos del metabolismo bacteriano

Para la obtención de los extractos fijos del metabolismo de *B. licheniformis* y *P. stutzeri*, se sembró una alícuota en Erlenmeyers con medio LB líquido y se incubaron en un agitador orbital termostatzado a 37°C por 24 h (Figura 25a). Posteriormente, el contenido de cada Erlenmeyer se trasvasó a tubos falcon de 50 mL y se centrifugaron por 15 min a 4°C y 6500 rpm. El pellet bacteriano fue separado del medio de cultivo mediante filtración al vacío. El pellet se diluyó en agua desmineralizada esterilizada y se almacenó en frío (Figura 25b). El resto de medio de cultivo se sometió a una extracción líquido-líquido (L-L) en una ampolla de decantación, y se utilizó acetato de etilo (AcOEt) como solvente (Figura 25c). Finalmente, el solvente fue separado del extracto puro con un rotavapor (Figura 25d). El rendimiento de cada extracto se expresó en porcentaje (%).



Figura 25. Obtención de extractos fijos del metabolismo de *B. licheniformis* y *P. mendocina*: (a) incubación de bacterias en medio LB líquido; (b) filtración al vacío para separar el pellet del medio de cultivo; (c) extracción L-L con AcOEt del medio de cultivo; y (d) separación del solvente y del extracto puro con rotavapor.

4.2.1.2 Extractos fijos de cáscaras de maní y nuez pecán y especies vegetales

Se obtuvieron extractos fijos de tres plantas regionales (*P. punctata*, *S. chilensis* y *R. sativus*) y dos residuos de la industria de alimentos (cáscaras de maní y nuez pecán) (Anexo 1). Las plantas fueron colectadas de acuerdo a los registros de distribución presentes en el herbario Arturo Ragonese (FCA-UNL, Esperanza, Santa Fe), mientras que las cáscaras de nuez pecán y maní se obtuvieron a través de productores de zonas aledañas a la ciudad de Esperanza, Santa Fe.

Para la obtención de los extractos fijos se realizaron extracciones sólido-líquido (S-L) con hexano (Hex) y metanol (MeOH) como solventes. Se pesaron 100 g de muestra en un Erlenmeyer, se añadió Hex hasta cubrir la totalidad del material y se dejó reposar entre 24 y 48 h (Figura 26a). Luego, se realizaron dos filtraciones consecutivas (primero al vacío y luego por gravedad) para separar los restos de material vegetal del solvente (Figuras 26b y c). El material vegetal se dejó secar completamente a temperatura ambiente y se repitió el mismo proceso con MeOH. Por último, los productos filtrados se llevaron a un rotavapor para separar el solvente del extracto puro (Figuras 26d y e). Los rendimientos de cada extracto se expresaron en porcentaje (%).

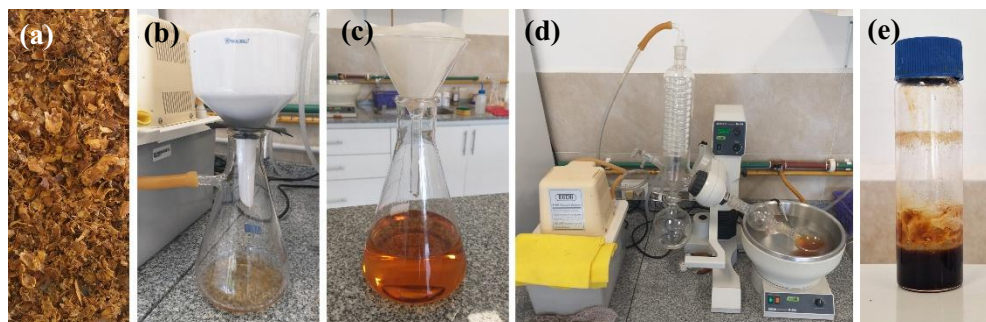


Figura 26. Ejemplo de obtención del extracto MeOH de cáscaras de maní: (a) material vegetal; (b) filtración al vacío y (c) por gravedad luego de 24 h de extracción; (d) separación del solvente y el extracto puro con rotavapor; y (e) extracto MeOH puro de cáscaras de maní.

4.2.2 Obtención de hongos patógenos de frutilla

La cepa de *B. cinerea* se aisló de frutillas que presentaban síntomas característicos de la enfermedad del moho gris. Se identificó inicialmente a partir de sus características morfológicas, siguiendo la metodología descrita por Di Liberto *et al.* (2019), y se depositó en el Centro de Referencia Micológica (CEREMIC, Rosario, Argentina) con el código CCC-100. Posteriormente, la identidad del aislado se confirmó molecularmente mediante la amplificación por PCR de un segmento de la región ITS (*Internal Transcribed Spacer*) del ADN nuclear ribosómico (ADNr). Esta región es ampliamente reconocida como el código de barras universal del ADN para hongos debido a su alta variabilidad interespecífica y su amplia cobertura entre taxones fúngicos (Schoch *et al.*, 2012).

Al igual que *B. cinerea*, *C. acutatum* se aisló de frutos que presentaron los síntomas característicos de la antracnosis. La cepa fue caracterizada por la Cátedra de Fitopatología de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Litoral (Fernandez *et al.*, 2024) y depositada en el Centro de Referencia en Micología (CEREMIC) de la FCByF-UNR con el código CEREMIC 13-2019.

Para los ensayos *in vitro* y *ex vivo* (que se detallarán a continuación), se realizaron repiques frescos en placas con medio APD y se incubaron entre 16 y 25°C durante 5-7 días, de acuerdo a las condiciones de crecimiento de cada hongo. Luego, se añadió agua esterilizada a la placa y se raspó con un ansa estéril hasta obtener la suspensión de conidios. Finalmente, se realizó el recuento de conidios con una cámara de Neubauer y se ajustó el inóculo a una concentración de 10^5 UFC/mL (CLSI, 2017).

4.2.3 Ensayos antifúngicos *in vitro*

Se realizaron pruebas de difusión en agar en placas de 12 pocillos. Se prepararon soluciones madre de los extractos en dimetilsulfóxido (DMSO): se testeó una concentración para los extractos del metabolismo bacteriano (1000 ppm) y dos concentraciones para los extractos de cáscaras y plantas (1000 y 2000 ppm). Para esto, se tomaron 50 mg de cada extracto y se añadieron 1000 mL de DMSO; para lograr las concentraciones de 1000 y 2000 ppm, se tomaron 400 y 800 μ L de solución madre y se diluyeron en 20 mL de medio de cultivo APD, respectivamente. El medio con el extracto incorporado se vertió en cada pocillo y se dejó enfriar. Una vez solidificado, se sembraron 10 μ L de cada inóculo en el centro de cada pocillo. Las placas se incubaron a 16-25°C por 5-7 días, según los requerimientos de cada hongo. Cada tratamiento se analizó por triplicado. Se establecieron los siguientes tratamientos:

- **Con (+)** control con APD y DMSO;
- **Con (-)** control con el fungicida comercial Carbendazim (CBZ, dosis comercial);
- **(ExtBL)** extracto de acetato de etilo de *B. licheniformis* (1000 ppm);
- **(ExtPS)** extracto de acetato de etilo de *P. stutzeri* (1000 ppm);
- **(Hex-PA)** extracto hexánico de *P. acuminata* (1000 y 2000 ppm);
- **(MeOH-PA)** extracto metanólico de *P. acuminata* (1000 y 2000 ppm);
- **(Hex-SC)** extracto hexánico de *S. chilensis* (1000 y 2000 ppm);
- **(MeOH-SC)** extracto metanólico de *S. chilensis* (1000 y 2000 ppm);
- **(Hex-RS)** extracto hexánico de *R. sativus* (1000 y 2000 ppm);
- **(MeOH-RS)** extracto metanólico de *R. sativus* (1000 y 2000 ppm);
- **(Hex-M)** extracto hexánico de cáscaras de maní (1000 y 2000 ppm);
- **(MeOH-M)** extracto metanólico de cáscaras de maní (1000 y 2000 ppm);
- **(Hex-NP)** extracto hexánico de cáscaras de nuez pecán (1000 y 2000 ppm);
- **(MeOH-NP)** extracto metanólico de cáscaras de nuez pecán (1000 y 2000 ppm).

Una vez que el micelio cubriera completamente la superficie de los pocillos del control positivo (Con +), se midió el diámetro del crecimiento micelial de cada placa y se calculó el porcentaje de inhibición del crecimiento micelial (ICM%) según la fórmula de Magaldi *et al.*, (2004) (ecuación 5):

$$\text{ICM (\%)} = \frac{C - M}{C} \times 100 \quad (5)$$

donde C es el diámetro del micelio promedio del control positivo (Con+) y M es el diámetro del micelio promedio de los pocillos tratados con extractos.

4.2.4 Ensayos antifúngicos *ex vivo*

La actividad antifúngica *ex vivo* de los extractos se evaluó de acuerdo a la metodología de Di Liberto *et al.* (2021). Para ello se utilizaron diez frutillas cv. 'San Andreas' en madurez comercial (2/3 de la

superficie total del fruto con coloración roja) por cada tratamiento, las cuales fueron proporcionadas por un productor local en la ciudad de Coronda, Santa Fe. Las frutas se desinfectaron con hipoclorito de sodio al 1% durante 1 minuto y luego se enjuagaron con agua desmineralizada. Una vez desinfectadas, cada frutilla se depositó en bandejas individuales y se inocularon artificialmente con una suspensión de conidios en dos heridas ecuatoriales. A las 3 y 24 horas posteriores a la inoculación, los frutos se sumergieron durante 5 segundos en una solución acuosa de acuerdo a los siguientes tratamientos:

- **Con (+)** control positivo con agua esterilizada;
- **Con (-)** control negativo con el fungicida comercial Carbendazim (CBZ, dosis comercial);
- **(ExtBL)** extracto de acetato de etilo de *B. licheniformis* (4000 ppm);
- **(ExtPM)** extracto de acetato de etilo de *P. mendocina* (4000 ppm);
- **(Hex-PA)** extracto hexánico de *P. acuminata* (4000 ppm);
- **(MeOH-PA)** extracto metanólico de *P. acuminata* (4000 ppm);
- **(Hex-SC)** extracto hexánico de *S. chilensis* (4000 ppm);
- **(MeOH-SC)** extracto metanólico de *S. chilensis* (4000 ppm);
- **(Hex-RS)** extracto hexánico de *R. sativus* (4000 ppm);
- **(MeOH-RS)** extracto metanólico de *R. sativus* (4000 ppm);
- **(Hex-M)** extracto hexánico de cáscaras de maní (4000 ppm);
- **(MeOH-M)** extracto metanólico de cáscaras de maní (4000 ppm);
- **(Hex-NP)** extracto hexánico de cáscaras de nuez pecán (4000 ppm);
- **(MeOH-NP)** extracto metanólico de cáscaras de nuez pecán (4000 ppm);

La concentración de 4000 ppm se seleccionó en base a los resultados obtenidos en los ensayos *in vitro*. Las frutas se almacenaron a 16-25°C por 5-7 días según los requerimientos de cada hongo.

Durante todos los días se tomaron fotografías de cada fruto y se los clasificó visualmente según la escala empírica de Romanazzi *et al.* (2001) de acuerdo a los siguientes grados (Figura 27) (ver ejemplo en Anexo 2): 0) fruto sano; (1) 1-20 % de la superficie del fruto infectada; (2) 21-40 % infectada; (3) 41-60 % infectada; (4) 61-80 % infectada; (5) ≥81 % infectada con esporulación. Por último, se calculó la incidencia de la enfermedad (IE) (Hassan *et al.*, 2021) y la severidad de la enfermedad (SE) (Singh *et al.*, 1984) según las siguientes fórmulas (ecuaciones 6 y 7):

$$\text{IE (\%)} = \frac{\text{número de frutos infectados}}{\text{número total de frutos}} \times 100 \quad (6)$$

$$\text{SE (\%)} = \frac{\sum(\text{grado de gravedad} \times \text{número de frutos con esa clasificación})}{\text{número total de frutos} \times \text{grado más alto registrado}} \times 100 \quad (7)$$

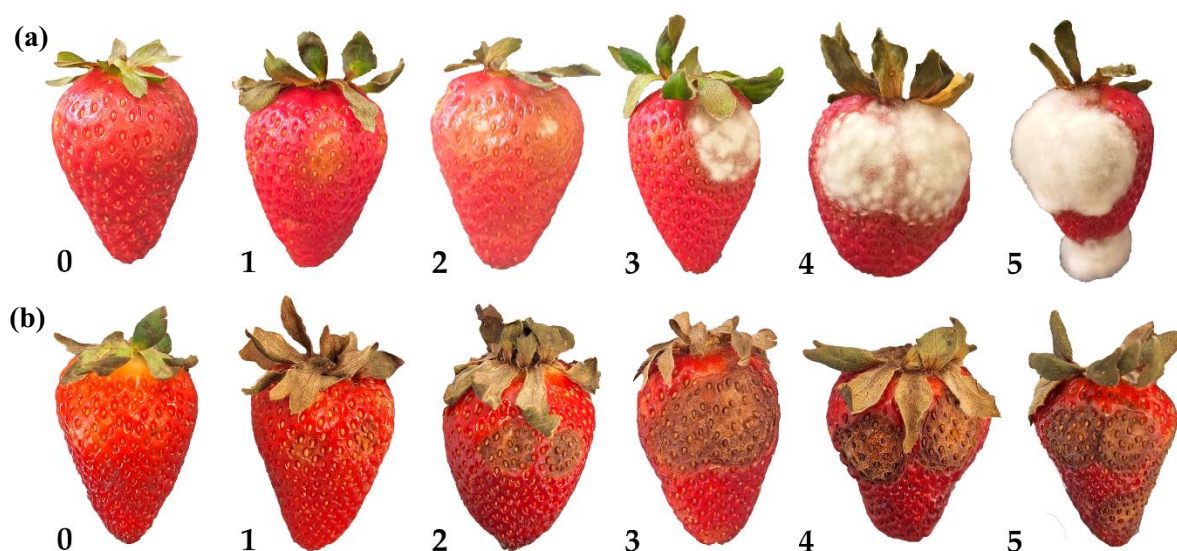


Figura 27. Imágenes ilustrativas de los grados de infección para (a) *B. cinerea* y (b) *C. acutatum* según la escala empírica de Romanazzi *et al.* (2001): (grado 0) fruto sano; (grado 1) 1–20% infectado; (grado 2) 21–40% infectado; (grado 3) 41–60% infectado; (grado 4) 61–80% infectado; y (grado 5) $\geq 81\%$ infectado.

4.2.5 Caracterización de los extractos fijos por cromatografía en capa delgada (CCD)

Los extractos fijos se analizaron químicamente mediante CCD empleando cromatoláminas de sílica gel tipo 60F con indicador de fluorescencia en soporte de aluminio. Para la elución de los extractos y como fases móviles se utilizaron solventes o mezclas de solventes con polaridad definida, a saber: Hex:AcOEt en proporciones 8:2 y 2:8 v/v para los extractos hexánicos (vegetales) y de acetato de etilo (bacterias); AcOEt:MeOH en proporción 5:5 v/v para extractos metanólicos (vegetales) y de acetato de etilo (bacterias); y 100% MeOH para los extractos metanólicos (vegetales). Las cromatoláminas fueron observadas bajo una lámpara de luz UV a 254, 365 nm y luz visible y se utilizaron diferentes reveladores para la identificación de grupos de compuestos químicos (Jović *et al.*, 2023; Waksmundzka-Hajnos *et al.*, 2022; Ciangherotti *et al.*, 2016; Wagner *et al.*, 2011):

- **Solución de *p*-anisaldehído:** solución de *p*-anisaldehído:H₂SO₄:ácido acético glacial:etanol 5:5:1:90 v/v) y posterior calentamiento con aire caliente. Este revelador es sensible a diversos grupos como terpenos, aminas, aldehídos, cetonas y esteroides. En particular, la coloración azul-violeta indica la presencia de terpenos y saponinas triterpénicas.
- **Reactivo de Dragendorff:** primero se preparó una solución de (1) 0,85 g de nitrato de bismuto básico disuelto en 10 mL de ácido acético glacial y 40 mL de agua, y (2) 8 g de yoduro del potasio disueltos en 30 mL de agua. Luego se mezcló 1 mL de la solución stock con 2 mL de ácido acético glacial y 10 mL de agua. La placa se roció con esta mezcla y se realizó la lectura al visible. La coloración amarilla-marrón indica la presencia de alcaloides.

- Natural Products/Polyethylene glycol (NP/PEG): consiste en una solución metanólica al 1% de difenilboriloxietilamina y solución etanólica al 5% de polietilenglicol. La placa se roció con esta mezcla y se realizó la lectura a 365 nm. Este revelador detecta la presencia de flavonoides, isoflavonoides y ácidos fenólicos. La coloración amarilla-roja indica la presencia de flavonas, flavonoles y chalconas, mientras que la coloración azul-verde indica la presencia de compuestos fenólicos menos conjugados.
- Cloruro férrico (FeCl₃): para visualizar fenoles (Ar-OH) y taninos con solución acuosa al 10 % y lectura al visible. Según la naturaleza química del tanino, se observan coloraciones que varían desde el azul (pirogálicos) hasta el verde (catéquicos).
- Ácido fosfomolibdico: revelador universal que tiñe diversos grupos funcionales. Para esto, se realizó la aplicación de la solución y posterior calentamiento con aire caliente. Se visualizan tonos verdes (asociados principalmente a alcoholes secundarios y terciarios, y algunos terpenoides) y azules (asociados a la presencia de aminas aromáticas, compuestos nitrogenados conjugados y azúcares reductores).

4.3 Resultados

4.3.1 Rendimientos de los extractos fijos

El porcentaje de rendimientos de los extractos fijos se resume en la Tabla 17. Los extractos fijos del metabolismo bacteriano mostraron los rendimientos más bajos (< 1%). Respecto a los extractos fijos de origen vegetal, se observa un mayor rendimiento de los extractos metanólicos por sobre los hexánicos, siendo MeOH-NP y MeOH-SC los que más se destacaron (24,3 y 15,7%, respectivamente) (Tabla 17).

Tabla 17. Rendimientos (%) de los extractos fijos del metabolismo bacteriano, plantas y cáscaras.

Tratamiento	Rendimiento (%)
ExtBL	0,01
ExtPS	0,02
PA-Hex	0,80
PA-MeOH	7,80
Hex-SC	1,70
MeOH-SC	15,70
Hex-RS	1,51
MeOH-RS	6,20
Hex-M	1,97
MeOH-M	3,00
Hex-NP	0,70
MeOH-NP	24,30

4.3.2 Actividad antifúngica *in vitro* de extractos fijos contra patógenos de frutilla

En términos generales, todos los extractos mostraron actividad antifúngica contra *B. cinerea* y *C. acutatum* a la concentración de 2000 ppm (Tablas 18 y 19). Los extractos de plantas (PA, SC y RS), de *B. licheniformis* y el extracto metanólico de cáscaras de maní inhibieron fuertemente el crecimiento micelial de ambos patógenos.

Tabla 18. Actividad antifúngica *in vitro* (inhibición del crecimiento micelial, ICM) de extractos fijos (AcOEt) del metabolismo bacteriano de *B. licheniformis* (ExtBL) y *P. stutzeri* (ExtPS) contra *B. cinerea* y *C. acutatum*.

Trat.	ICM (%)	
	<i>B. cinerea</i>	<i>C. acutatum</i>
Con (+)	0,0 ± 0,0	0,0 ± 0,0
Con (-)	100,0 ± 0,0	96,7 ± 1,6
ExtBL	89,3 ± 6,8	59,8 ± 1,0
ExtPS	65,8 ± 5,1	49,3 ± 3,9

Tabla 19. Actividad antifúngica *in vitro* (inhibición del crecimiento micelial, ICM) de extractos fijos hexánicos y metanólicos de plantas (PA, SC y RS) y cáscaras (M y NP) contra *B. cinerea* y *C. acutatum*.

Trat.	ICM (%)			
	Hex		MeOH	
	1000 ppm	2000 ppm	1000 ppm	2000 ppm
<i>B. cinerea</i>				
Con (+)		0,0 ± 0,0		
Con (-)		100,0 ± 0,0		
PA	100,0 ± 0,0	100,0 ± 0,0	63,3 ± 1,4	63,2 ± 1,8
SC	66,9 ± 2,8	86,8 ± 2,4	51,8 ± 4,4	77,0 ± 3,6
RS	44,2 ± 4	82,6 ± 1,7	37,9 ± 2,1	67,7 ± 1,3
M	0,0 ± 0,0	6,7 ± 3,3	15,1 ± 1,0	100,0 ± 0,0
NP	17,1 ± 1,2	93,3 ± 6,7	0,0 ± 0,0	46,7 ± 6,0
<i>C. acutatum</i>				
Con (+)		0,0 ± 0,0		
Con (-)		96,7 ± 1,6		
PA	75,0 ± 1,5	74,1 ± 1,9	48,7 ± 3,2	71,6 ± 2,2
SC	25,2 ± 6,7	75,6 ± 0,8	59,6 ± 3,5	58,3 ± 2,9
RS	46,5 ± 4,7	83,5 ± 0,9	42,5 ± 0,4	100,0 ± 0,0
M	40,9 ± 6,5	55,5 ± 5,8	62,9 ± 6,7	69,8 ± 1,1
NP	0,0 ± 0,0	62,7 ± 2,1	0,0 ± 0,0	59,2 ± 1,9

Actividad antifúngica *in vitro* contra *B. cinerea*:

Los extractos hexánicos de PA (1000 y 2000 ppm) y los extractos MeOH-M y Hex-NP a 2000 ppm inhibieron el 100% del crecimiento de *B. cinerea in vitro* (Tabla 19). El extracto de *B. licheniformis* (Tabla 18) y los extractos hexánicos de NP, SC y RS a 2000 ppm también mostraron una fuerte actividad fungicida (> 80%). Por otro lado, el extracto de *P. stutzeri*, Hex-SC, y los extractos metanólicos de RS y PA mostraron una actividad antifúngica moderada contra *B. cinerea* (ICM 63,2-67,7%) (Tablas 18 y 19). A excepción de MeOH-M y Hex-NP a 2000 ppm, los extractos de cáscaras mostraron una baja o nula actividad antifúngica *in vitro* contra *B. cinerea* (Tabla 19).

Actividad antifúngica *in vitro* contra *C. acutatum*:

MeOH-RS y Hex-RS a 2000 ppm mostraron la inhibición más fuerte contra *C. acutatum* (100 y 83,5%, respectivamente), seguidos de los extractos de PA, Hex-SC y MeOH-M (ICM 62,9-75,6%) (Tabla 19). Los extractos del metabolismo bacteriano inhibieron moderadamente el crecimiento del patógeno (Tabla 18), al igual que Hex-NP, MeOH-NP, MeOH-SC y Hex-M (Tabla 19). Los demás extractos presentaron valores de ICM menores al 50%.

4.3.3 Actividad antifúngica *ex vivo* de extractos fijos contra patógenos de frutillaActividad antifúngica *ex vivo* contra *B. cinerea*:

Respecto a los extractos fijos del metabolismo bacteriano, ExtBL mostró una reducción de la incidencia y la severidad del 20 y el 38%, respectivamente, similar al tratamiento con el fungicida comercial (23,3 y 40%) y mayor al control positivo (6,1 y 21%, para IE y SE respectivamente) (Figura 28a). En cuanto a los extractos fijos vegetales, el tratamiento MeOH-M mostró la mayor reducción en la incidencia de la enfermedad (42,5%), cercano al valor obtenido con el fungicida comercial y superior al control positivo (50 y 13,5%, respectivamente) (Figura 29a). En cuanto a la severidad de la enfermedad, tanto el extracto MeOH-M como los extractos Hex-M y Hex-PA mostraron una reducción mayor al 60% (Figura 29a). Los tratamientos con cáscaras de nuez pecán (Hex-NP y MeOH-NP) y los extractos metanólicos de SC y RS (MeOH-SC y MeOH-RS) mostraron la menor actividad antifúngica *ex vivo* contra *B. cinerea*.

Actividad antifúngica *ex vivo* contra *C. acutatum*:

Los extractos fijos del metabolismo bacteriano no registraron un buen desempeño contra *C. acutatum*, ya que los valores fueron similares a Con (+) (Figura 28b). Respecto a los extractos vegetales, los tratamientos con cáscaras de maní (Hex-M y MeOH-M) y los extractos hexánicos de PA (Hex-PA) y SC (Hex-SC) mostraron el mejor desempeño contra este patógeno (Figura 29b). Estos tratamientos redujeron la incidencia de la enfermedad entre un 35-40%, mientras que el control positivo solo mostró una reducción del 15,1%. Asimismo, se observó una reducción de la severidad de la enfermedad mayor al 64% en los frutos tratados con los extractos mencionados anteriormente, valores que no solo superaron al Con (+), sino también al tratamiento con el fungicida comercial (reducción del 34,1 y 54,7%, respectivamente) (Figura 29b). El extracto MeOH-NP mostró una actividad antifúngica *ex vivo*

moderada, con una reducción de la incidencia y la severidad de la enfermedad del 36,7 y 57,3%, respectivamente. Los extractos de RS (Hex-RS y MeOH-RS) y el extracto metanólico de PA (MeOH-PA) mostraron la menor actividad antifúngica *ex vivo* contra *C. acutatum* (Figura 29b).

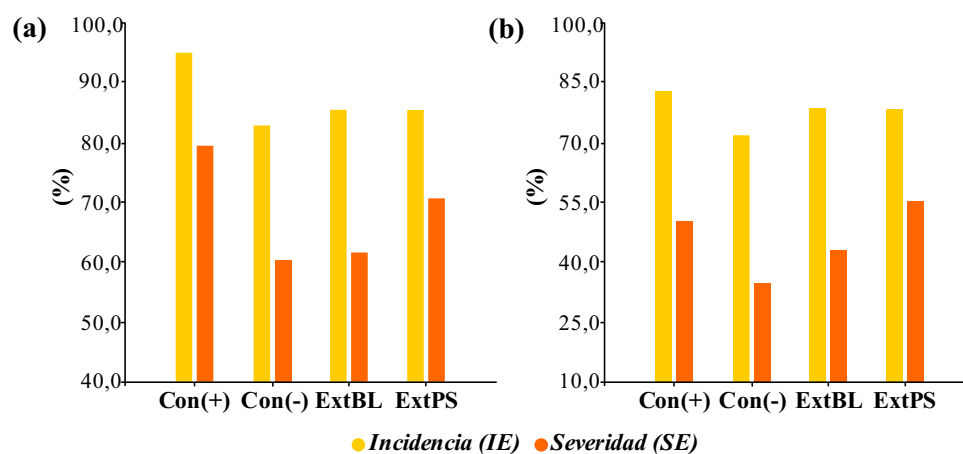


Figura 28. Actividad fungicida *ex vivo* (incidencia y severidad de la enfermedad) de extractos fijos del metabolismo bacteriano contra (a) *B. cinerea* y (b) *C. acutatum*.

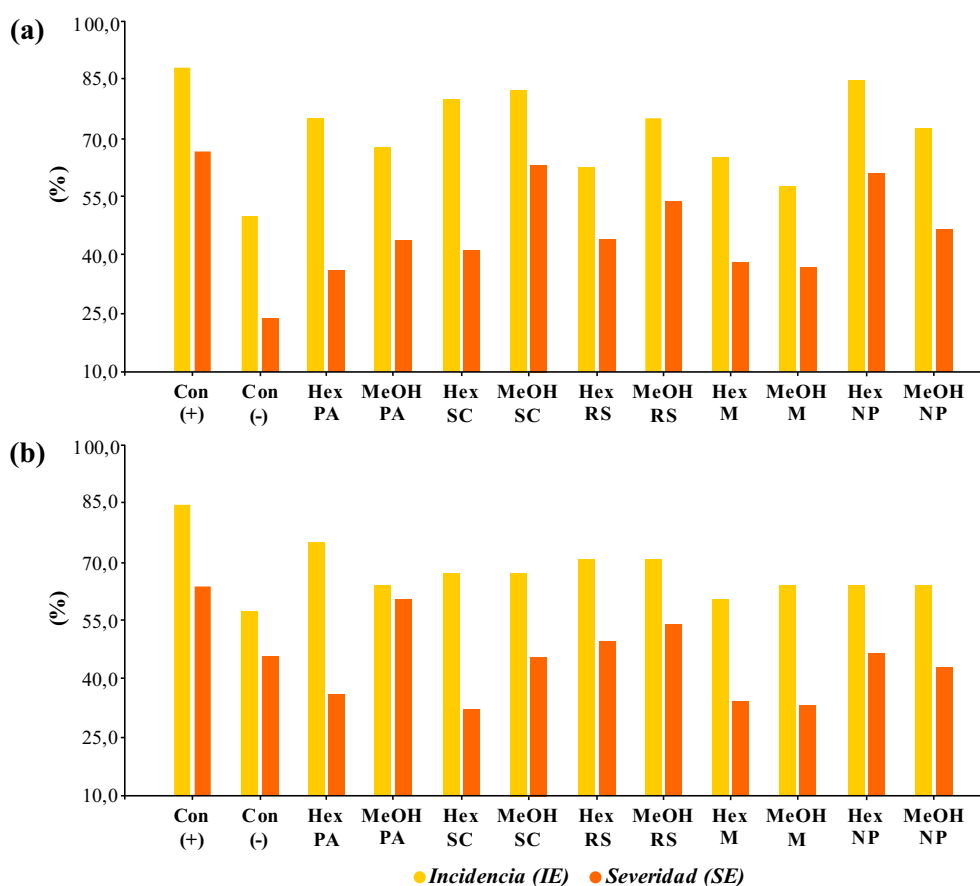


Figura 29. Actividad fungicida *ex vivo* (incidencia y severidad de la enfermedad) de extractos fijos metanólicos y hexánicos de plantas (PA, SC y RS) y cáscaras (M y NP) contra (a) *B. cinerea* y (b) *C. acutatum*.

4.3.4 Caracterización de los extractos fijos por cromatografía en capa delgada (CCD)

La Tabla 20 resume los resultados obtenidos de las CCD obtenidas con los diferentes reveladores. Las imágenes de las CCD se pueden visualizar en el Anexo 3. Los extractos del metabolismo bacteriano mostraron un potente resultado positivo en la presencia de alcoholes, aminas aromáticas y compuestos nitrogenados, mientras que para ExtBL se observó una franja tenue que indica presencia de terpenos (franja fucsia en la parte superior de la placa revelada con *p*-anisaldehído).

Respecto a los extractos fijos vegetales, se observaron diferentes resultados. La presencia de alcaloides fue muy acentuada para los extractos de plantas (PA, SC y RS), pero baja o nula para los extractos de cáscaras (M y NP). El revelado con ácido fosfomolibdico mostró una fuerte coloración azul (aminas aromáticas y compuestos nitrogenados) para los extractos metanólicos de SC, RS y M, mientras que MeOH-PA mostró una coloración verdosa (presencia de alcoholes). La presencia de flavonoides fue muy marcada para los extractos Hex-PA, Hex-M, MeOH-SC y MeOH-M, y leve para MeOH-PA, Hex-RS y MeOH-RS. En el extracto Hex-M se destacó la coloración azul (cumarinas y compuestos fenólicos menos conjugados), mientras que en los demás se observaron coloraciones desde el amarillo al rojo (presencia de flavonas, flavonoles, chalconas y terpenoides conjugados). Los extractos de cáscaras de nuez pecán no mostraron resultados positivos, a excepción de los reveladores *p*-anisaldehído y NP-PEG que arrojaron bandas de baja intensidad.

Tabla 20. Revelados obtenidos de las CCD para los extractos fijos. Ref.: (-) indica ausencia del tipo de compuesto; (+) indica baja presencia del tipo de compuesto (coloración tenue); (++) y (+++) indican presencia moderada-alta del tipo de compuesto (coloración marcada).

Extracto	Terpenos y saponinas triterpénicas ¹	Alcaloides ²	Flavonoides ³	Fenoles Ar-OH y taninos ⁴	Alcoholes y compuestos nitrogenados ⁵
ExtBL	+	-	-	-	+++
ExtPS	-	-	-	-	+++
Hex-PA	+	-	+++ (rojos)	+	-
MeOH-PA	-	++	+ (naranja)	+	++ (verdes)
Hex-SC	++	-	-	-	-
MeOH-SC	-	+++	++ (amarillos)	+++	+++ (azules)
Hex-RS	++	-	+ (rojos)	-	-
MeOH-RS	-	++	+ (verdes)	+	++ (azules)
Hex-M	+	-	+++ (azules)	-	-
MeOH-M	-	+	++ (amarillos)	+	+++ (azules)
Hex-NP	+	-	+ (rojos)	-	-
MeOH-NP	-	-	-	-	-

¹Revelado con *p*-anisaldehído; ²revelado con reactivo de Dragendorff; ³revelado con NP-PEG; ⁴revelado con FeCl₃; ⁵revelado con ácido fosfomolibdico.

4.4 Discusión

Las enfermedades fúngicas pueden causar importantes pérdidas en la calidad y el valor económico de las frutas durante el cultivo, transporte, almacenamiento y comercialización. Esto puede implicar graves consecuencias para la seguridad alimentaria y la estabilidad económica en los países donde la agricultura es una fuente importante de ingresos (Hodges *et al.*, 2011). Los mecanismos de biocontrol como alternativa al uso de fungicidas sintéticos han ganado un importante lugar en las últimas décadas, ya que no solo han demostrado prolongar la vida útil de frutas y hortalizas, sino que también se considera una actividad sostenible para la salud humana y el medio ambiente. Entre los mecanismos de biocontrol se destaca el uso de productos con extractos de origen vegetal y de microorganismos. Estos productos poseen una amplia variedad de metabolitos secundarios que pueden, entre otros, inhibir las enzimas implicadas en la oxidación (p. ej., polifenol oxidasa y peroxidasa), prolongando así la vida útil de la fruta y mejorando su calidad (Bajaj *et al.*, 2023; Roidaki *et al.*, 2016; Wojdyło *et al.*, 2007). Así, el objetivo de este capítulo fue evaluar la capacidad antifúngica *in vitro* y *ex vivo* de extractos obtenidos del metabolismo de *B. licheniformis* y *P. stutzeri*, y de extractos fijos provenientes del procesamiento de alimentos (cáscaras de maní y nuez pecán) y especies vegetales bioactivas (*P. acuminata*, *S. chilensis* y *R. sativus*) sobre los patógenos de frutilla *B. cinerea* y *C. acutatum*. En términos generales, el extracto metanólico de cáscaras de maní (MeOH-M) y el extracto hexánico de *P. acuminata* (Hex-PA) mostraron la actividad antifúngica más fuerte tanto *in vitro* como *ex vivo* contra ambos patógenos.

4.4.1 Actividad antifúngica de extractos fijos del metabolismo bacteriano

En los ensayos *in vitro*, los extractos del metabolismo bacteriano mostraron una actividad antifúngica moderada-alta contra *B. cinerea*, pero baja contra *C. acutatum*; el extracto de *B. licheniformis* (ExtBL) se destacó sobre el extracto de *P. stutzeri* (ExtPS). ExtBL mostró una actividad antifúngica *in vitro* alta contra *B. cinerea* (ICM de 89,3%) y moderada-alta en los ensayos *ex vivo*. Muchas bacterias presentan diversos mecanismos que facilitan el debilitamiento de los patógenos; por ejemplo, son capaces de inducir respuestas de defensa en las plantas, pueden sintetizar enzimas y antibióticos que atacan los componentes celulares de los patógenos y pueden competir por espacio y nutrientes con otros microorganismos (Walia *et al.*, 2021). En este sentido, muchas especies del género *Bacillus* han desarrollado muchos de los mecanismos mencionados anteriormente, lo que los convierte en los principales agentes para el control biológico de enfermedades tanto en la precosecha como en la postcosecha (Guan *et al.*, 2023). Si bien existen reportes que evaluaron la actividad antifúngica de bioformulaciones de *B. licheniformis* contra *B. cinerea* (Kwon *et al.*, 2021; Chen *et al.*, 2019; Jeong *et al.*, 2017; Shternshis *et al.*, 2015; Wang *et al.*, 2014; Kong *et al.*, 2010; Kim *et al.*, 2007; Lee *et al.*, 2006) y contra especies del género *Colletotrichum* (Moon *et al.*, 2025; Ravindran *et al.*, 2023; Kwon *et al.*, 2021; Nawaz *et al.*, 2018; Jeong *et al.*, 2017), no se encontraron trabajos que evalúen la actividad antifúngica del extracto fijo del metabolismo de esta bacteria. Sin embargo, la bioactividad observada

en este trabajo coincide con los reportes mencionados anteriormente y refuerza la evidencia de *B. licheniformis* como agente de biocontrol contra patógenos fúngicos.

Respecto a *P. stutzeri*, no se encontraron artículos que evalúen su actividad fungicida sobre patógenos del género *Colletotrichum*. Para *B. cinerea*, solo se reportaron unos pocos trabajos del efecto de *P. stutzeri* y su sobrenadante de cultivo sobre el patógeno causante del moho gris (Embaby *et al.*, 2024; Rojas-Solís & Santoyo, 2018; Rojas-Solís *et al.*, 2018).

4.4.2 Actividad antifúngica de extractos fijos de residuos de plantas y cáscaras

Como se mencionó anteriormente, el extracto hexánico de *P. acuminata* (Hex-PA) mostró interesantes resultados tanto *in vitro* como *ex vivo* contra *B. cinerea* y *C. acutatum*, mientras que el efecto inhibitorio del extracto MeOH-PA fue moderado. Existen pocos trabajos sobre la composición química de *P. acuminata*. Se han aislado compuestos como isopoligodial, drimenol, confertifolina y polygodial, este último uno de los principales compuestos de interés por su actividad antifúngica, ya que ha reportado una potente actividad contra hongos tanto de interés medicinal (*Candida albicans*, *Cryptococcus neoformans* y *Trichophyton rubrum*) como agronómico (*Penicillium digitatum*, *P. italicum* y *Monilinia fructicola*) (Di Liberto *et al.*, 2021; Derita *et al.* 2009). En este trabajo, las CCD revelaron una marcada presencia de flavonoides, en especial flavonas, flavonoles y chalconas (bandas rojas). En este sentido, muchos trabajos han reportado la actividad antifúngica de diversos flavonoides (Al Aboody & Mickymary, 2020; Jin, 2019; Orhan *et al.*, 2010), lo que podría explicar la bioactividad del extracto Hex-PA. Sumado a la escasez de información de las propiedades químicas de *P. acuminata*, aún no se encontraron trabajos que evalúen la capacidad antifúngica de extractos de *P. acuminata* contra *B. cinerea* y *C. acutatum*, lo que hace necesario continuar con las investigaciones en torno a la potencial bioactividad de esta planta.

La composición química de *S. chilensis* es muy amplia y de gran interés biológico; se pueden encontrar terpenos (como solidagenona, fitol, pumilóxido, limoneno, alfa-pineno, beta-cariofileno), saponinas, flavonoides (como quercitrina, afzelin, quercetina, isorhamnetina, quercetina 3-*O*-ramnósido, quercetina 3-*O*-galactósido, rutina, ácido gálico, ácido clorogénico, γ -cadineno, D-germacreno D, hiperósido), ácido cinámico, ácido cafeico, ácido clorogénico, azúcares reductores, entre otros (Porto *et al.*, 2023; Valverde *et al.*, 2020; Gomes *et al.*, 2018b; Gastaldi *et al.*, 2018; Souza *et al.*, 2018; de Barros *et al.*, 2016; Mercandeli *et al.*, 2012). Las CCD obtenidas aquí apoyan estos resultados, ya que se pudo constatar la presencia de la mayoría de los tipos de compuestos analizados, principalmente para el extracto MeOH-SC. Si bien se ha reportado la actividad antifúngica de extractos de *S. chilensis* contra hongos de interés médico y agronómico como *Microsporium gypseum*, *Trichophyton mentagrophytes*, *Monilinia fructicola*, *Rhizopus stolonifer*, *Penicillium digitatum* (Di Liberto *et al.*, 2019; Vila *et al.*, 2002), la evidencia es muy escasa. No existen trabajos que hayan evaluado los efectos de esta planta contra *B. cinerea* y *C. acutatum*. Sin embargo, en este trabajo se observó una potente actividad antifúngica del extracto hexánico (Hex-SC) y una actividad moderada-

alta del extracto metanólico (MeOH-SC), por lo que esta planta podría considerarse de interés agronómico para futuros trabajos.

Los extractos de *R. sativus* se destacaron especialmente en los ensayos *in vitro* contra *C. acutatum*, mientras que el extracto hexánico (Hex-RS) también mostró una potente actividad contra *B. cinerea*. Si bien los resultados *in vitro* fueron prometedores, el extracto Hex-RS mostró una actividad moderada en los ensayos *ex vivo* (reducción de la severidad de la enfermedad del 55 y 50% para *B. cinerea* y *C. acutatum*, respectivamente). En la revisión de Seimandi *et al.* (2024) se mencionan los principales compuestos aislados de esta planta; se destacan los glucosinolatos (ej.: glucoalisina, glucobrassicina, glucoerucina y glucorafanina), ácidos fenólicos (ej.: cafeico, ferulico, salicílico, *p*-cumárico), ácidos grasos (ej.: erúcico y linolénico), isotiocianatos (ej.: isotiocinato de bencilo y sulforafano) y azúcares (ej.: fucosa, galactosa, manosa y glucosa), estos últimos presentes en las hojas. En este trabajo se observó un resultado positivo para terpenos, alcaloides y compuestos nitrogenados, mientras que la presencia de flavonoides y fenoles fue menos marcada. Diversos trabajos han reportado la actividad fungicida de extractos y compuestos aislados de *R. sativus* contra hongos de interés agronómico como *A. niger*, *A. clavatus*, *A. flavus* (Duy *et al.*, 2019; Shanmugapriya *et al.*, 2017; Törün *et al.*, 2017), *F. oxysporum* (Javaid & Bashir, 2015; Kaymak *et al.*, 2015), *Penicillium hirsutum*, *Podosphaera leucotricha*, *Venturia inaequalis* (Ungureanu *et al.*, 2021), *Macrophomina phaseolina* (Elshaer *et al.*, 2019), entre otros. Respecto a los patógenos analizados en este trabajo, no se encontró evidencia del efecto de los extractos de *R. sativus* sobre *C. acutatum*; para *B. cinerea*, al momento solo se reportó la actividad antifúngica de proteínas aisladas de esta planta (Karri & Bharadwaja, 2013; Park *et al.*, 2001), pero no de extractos fijos.

Respecto a los residuos de alimentos analizados aquí, el extracto MeOH de cáscaras de maní se destacó fuertemente tanto *in vitro* como *ex vivo* para ambos patógenos fúngicos. Las cáscaras de maní son ricas en celulosa, hemicelulosa, sacarosa, lignina, pectina, luteolina, lupeol, eriodictiol, ácido palmítico, 5,7-dihidroxicromona, octadecano, procianidina, caroteno, flavonoides y polifenoles (como ácido gálico, epicatequina, quercetina y taxifolina), aminoácidos esenciales y no esenciales (como L-Valina, L-Leucina, L-Arginina, ácido L-Aspartico, Prolina, etc.), azúcares, grasas, entre otros compuestos, que las convierte en un residuo con un amplio espectro de bioactividad (Ajayi & Lateef, 2023; Mohd Zaini *et al.*, 2023; Gao *et al.*, 2022; Meng *et al.*, 2020; Adhikari *et al.*, 2019; Zhao *et al.*, 2012; Wee *et al.*, 2007; Yu *et al.*, 2006). Esto coincide con las CCD obtenidas en este trabajo, ya que MeOH-M mostró un resultado positivo para la mayoría de los tipos de compuestos, destacándose los flavonoides y ácidos grasos y, en menor medida, los terpenos y compuestos nitrogenados en general. En particular, diversos autores han reportado la actividad fungicida de nanopartículas y extractos de cáscaras de maní contra hongos de interés medicinal y agrícola como *C. albicans*, *P. infestans*, *Sclerotium rolfsii*, *P. capsici*, *Aspergillus fumigatus*, *A. versicolor*, *A. niger*, *Penicillium funiculosum* (Gunasekaran *et al.*, 2025; Terea *et al.*, 2023; Petropoulos *et al.*, 2020; Velmurugan *et al.*, 2015; Rivilli *et al.*, 2012). Hasta el momento, no se encontraron trabajos que hayan evaluado la capacidad antifúngica

de estos extractos sobre patógenos del género *Colletotrichum*. Respecto a *B. cinerea*, solo algunos trabajos reportaron la actividad antifúngica de compuestos derivados de la planta de maní (como proteínas y estilbenos) (Sobolev *et al.*, 2011; Devi *et al.*, 2005), aunque no de extractos de cáscaras. Así, los datos obtenidos en este estudio serían los primeros reportes de la actividad antifúngica de extractos hexánicos y metanólicos de cáscaras de maní contra los patógenos del moho gris y la antracnosis. Los resultados de *B. cinerea* obtenidos se encuentran publicados en Seimandi *et al.* (2025).

Finalmente, si bien el extracto hexánico de cáscaras de nuez pecán (Hex-NP) mostró una fuerte inhibición *in vitro* contra *B. cinerea* (93,3% a 2000 ppm), la actividad *ex vivo* fue baja respecto a los demás tratamientos. La mayor actividad de este residuo se observó con el extracto MeOH-NP sobre *C. acutatum*. Al igual que las cáscaras de maní, las cáscaras de nuez pecán contienen un amplio espectro de compuestos bioactivos que le confieren diversas propiedades, entre ellos, compuestos lignocelulósicos, compuestos fenólicos tales como ácido gálico, ácido vanílico, ácido elágico, ácido clorogénico, ácido 4-hidroxybenzoico, ácido cafeico 3-glucósido, ácido protocetrárico, catequina, epigallocatequina, glucósido de floridzina y taninos hidrolizables (Ngangyo Heya *et al.*, 2022; Flores-Estrada *et al.*, 2020; Kureck *et al.*, 2018; Ozcariz-Fermoselle *et al.*, 2018; do Prado *et al.*, 2014; Hernández-Montoya *et al.*, 2011; De La Rosa *et al.*, 2011). Sin embargo, en este trabajo no se logró visualizar la presencia de los tipos de compuestos analizados, a excepción del extracto Hex-NP que mostró una tenue coloración para flavonoides y terpenos. La dificultad para disolver el extracto MeOH-NP en las diversas soluciones podría haber afectado las observaciones en las CCD y la actividad antifúngica del mismo. Otros trabajos han reportado limitaciones similares en las cuales la separación de fases condicionó la biodisponibilidad y el rendimiento del extracto en ensayos biológicos (Gomes *et al.*, 2018a; O'driscoll & Griffin, 2008; Bromilow *et al.*, 2003), lo que sugiere la necesidad de elaborar estrategias de formulación para mejorar la eficacia del mismo. En particular, se han reportado buenos resultados de la actividad antifúngica de cáscaras de nuez pecán sobre diversos hongos de interés agronómico como *Rhizoctonia solani*, *Pythium sp.*, *Alternaria alternata*, *F. verticillioides*, *F. solani*, *F. sambucinum*, *F. oxysporum* y *P. capsici* (Lujan *et al.*, 2021; Hernández-Castillo *et al.*, 2010, Osorio *et al.*, 2010); sin embargo, no se encontraron reportes del efecto de extractos de cáscaras de nuez pecán contra *B. cinerea*. Adicionalmente, si bien estos extractos mostraron actividad antifúngica contra patógenos agrícolas del género *Colletotrichum* (*C. truncatum* y *C. coccodes*) (Osorio *et al.*, 2010), al momento no se encontraron trabajos que hayan evaluado su actividad contra *C. acutatum*. Así, los resultados obtenidos en este trabajo serían los primeros reportes de la actividad antifúngica de extractos de cáscaras de nuez pecán contra ambos hongos. Los efectos sobre *B. cinerea* se encuentran publicados en Seimandi *et al.* (2025).

4.5 Conclusión

En este capítulo se evaluó la capacidad antifúngica de extractos fijos del metabolismo bacteriano de *B. licheniformis* y *P. stutzeri*, y de extractos fijos de origen vegetal (especies vegetales y cáscaras de maní y nuez pecán) contra los patógenos de frutilla *B. cinerea* (moho gris) y *C. acutatum* (antracnosis). El extracto metanólico de cáscaras de maní (MeOH-M) y el extracto hexánico de *P. acuminata* (Hex-PA) mostraron una potente inhibición del crecimiento de ambos patógenos, tanto *in vitro* como *ex vivo*. Ambos extractos inhibieron el 100% del crecimiento de *B. cinerea in vitro* a una concentración de 2000 ppm, mientras que para *C. acutatum* la inhibición fue >70%. En los ensayos *ex vivo*, redujeron la severidad de la enfermedad del moho gris y la antracnosis en más de un 60%, valores similares a los frutos tratados con el fungicida comercial. El extracto hexánico de *S. chilensis* (Hex-SC) también mostró una fuerte inhibición en el crecimiento de ambos hongos tanto *in vitro* (>75%) como *ex vivo* (reducción de la severidad de la enfermedad entre 60-70%). Parte de la bioactividad de los extractos mencionados se le atribuye a la presencia de diversos tipos de compuestos como flavonoides, compuestos nitrogenados y alcaloides. El extracto hexánico de *R. sativus* (Hex-RS) inhibió fuertemente el crecimiento de *B. cinerea* (82,6%) y *C. acutatum* (83,5%) *in vitro*. Si bien su desempeño en los ensayos *ex vivo* fue prometedor (reducción de la severidad de la enfermedad de aproximadamente el 50%), la actividad fue moderada en comparación con los extractos mencionados anteriormente. Por su parte, los extractos del metabolismo bacteriano solo mostraron actividad fungicida contra *B. cinerea*, principalmente el extracto de *B. licheniformis* (ExtBL). Si bien su actividad antifúngica *in vitro* fue alta para ExtBL y moderada para ExtPS, el desempeño de estos extractos en los ensayos *ex vivo* fue moderado. A su vez, los rendimientos de los extractos bacterianos fueron muy bajos.

En base a lo expuesto, las cáscaras de maní, *P. acuminata* y *S. chilensis* podrían considerarse un insumo prometedor para la formulación de nuevos antifúngicos de base biológica. Como se mencionó a lo largo de la sección 4.5 del presente capítulo, la evidencia sobre la actividad antifúngica de extractos de estos residuos y plantas es prácticamente nula, por lo que se requieren más pruebas para confirmar su actividad. Sin embargo, en esta tesis se obtuvieron los primeros reportes, con resultados que alientan a seguir profundizando los estudios y explorar nuevas alternativas para el tratamiento de enfermedades en los cultivos, con el objetivo de reducir el uso de fungicidas sintéticos.

**DISCUSIÓN Y
CONCLUSIÓN
GENERAL**

DISCUSIÓN GENERAL

El interés por desarrollar nuevas formulaciones agrícolas con el objetivo de reducir el uso de productos de base sintética, sin perder productividad y calidad en los cultivos, es evidente (Islam *et al.*, 2024; Hernández *et al.*, 2016). En particular, si bien los fertilizantes sintéticos proporcionan de forma inmediata los nutrientes necesarios para el desarrollo de las plantas, estos no reemplazan la materia orgánica ni la microbiota natural de los suelos, lo que puede generar pérdidas en su productividad por la alteración de las propiedades químicas, físicas y biológicas (Agegnehu *et al.*, 2017; Hernández *et al.*, 2016; Doran & Zeiss, 2000). Del mismo modo, los fungicidas sintéticos son el método más utilizado para controlar patógenos fúngicos; sin embargo, se ha reportado que los residuos químicos tienden a permanecer en la planta y, a su vez, favorecen el desarrollo de biotipos resistentes, lo que representa un gran riesgo para la salud humana y ambiental (Islam *et al.*, 2024; Lee *et al.*, 2023; Hu & Chen, 2021; Martínez, 2012). Este escenario plantea la necesidad de buscar alternativas de nuevos productos para reducir el uso de fertilizantes y fungicidas sintéticos, lo que incentivó el desarrollo de esta tesis.

Los residuos agrícolas (generados por la producción de alimentos y la cría de animales) y muchas de las plantas silvestres que se consideran malezas para cultivos, bordes de caminos y cunetas, contienen una gran diversidad de metabolitos secundarios y microorganismos que pueden ser beneficiosos tanto para estimular el crecimiento de las plantas como para proteger a las mismas del ataque de patógenos (Yin *et al.*, 2025; Wu *et al.*, 2020; Redondo-Blanco *et al.*, 2020; Ahmed *et al.*, 2019; Zaccardelli *et al.*, 2018). En particular, en esta tesis se evaluó la capacidad fertilizante y antifúngica de diferentes residuos de la cría de animales y la producción de alimentos (un té de compost de residuos de cama de cría de pollo, cáscaras de maní y cáscaras de nuez pecán), de microorganismos aislados del té de compost (*Bacillus licheniformis* y *Pseudomonas stutzeri*), y de especies vegetales bioactivas (*Persicaria acuminata*, *Solidago chilensis* y *Raphanus sativus*) en cultivos de frutilla.

La dosis más alta de té de compost (TC) ensayada en este trabajo (D2Te) mejoró la concentración de ciertos nutrientes (principalmente nitrógeno y cationes intercambiables) en el suelo sin alterar el pH y la CE del mismo, lo que coincide con otros trabajos donde aplicaron residuos avícolas a suelos de cultivos (Song *et al.*, 2020; Hirzel & Morales, 2017; Pant *et al.*, 2012). El desarrollo foliar de las plantas tratadas con TC no mejoró respecto al control sin aplicaciones. Las plantas tratadas con D2Te produjeron un mayor número de frutos, aunque de tamaño pequeño. A su vez, si bien algunas de las propiedades organolépticas de los frutos mostraron valores superiores al control en las tratadas con TC, solo fue significativo para el contenido de antocianos. La dilución del TC testada en este trabajo pudo no haber sido suficiente para favorecer la mayor parte de las variables productivas del cultivo, lo que podría indicar la necesidad de aumentar la dosis del TC (Eudoxie & Martin, 2019). Sin embargo, se debe tener precaución ya que altas concentraciones de estos compost pueden provocar la acidificación y salinización de los suelos, afectando su estructura y disponibilidad de nutrientes (González-Hernández *et al.*, 2023; Urra *et al.*, 2019).

Respecto a la aplicación de bacterias en suelos de frutilla, se observaron resultados muy prometedores. A pesar de la baja concentración de MO, la adición de las bacterias mejoró la CIC, el contenido de cationes intercambiables y los nutrientes totales tanto en suelo como en hoja. El contenido de nitrógeno y fósforo total no superó al del control sin aplicaciones en suelo, pero si lo hizo en hoja. Así, el amplio espectro de mecanismos de acción de las bacterias facilita la disponibilidad de nutrientes para las plantas favoreciendo su absorción (Yang *et al.*, 2024; Adeleke & Babalola, 2022; Kenneth *et al.*, 2019; Mueller, 2015). Esto se pudo constatar con los ensayos *in vitro* de mecanismos de acción bacterianos, donde se observaron resultados positivos en la producción de fitasas, de sideróforos, de AIA y biofilms, todos ellos involucrados en la transformación de formas no disponibles de nutrientes a formas disponibles para la absorción por las plantas. Estos mecanismos han sido reportados por diversos autores tanto para *B. licheniformis* como *P. stutzeri* (Tariq *et al.*, 2025; Ni *et al.*, 2024; Bordé-Pavlicz *et al.*, 2024; Mussa *et al.*, 2023; Li *et al.*, 2023; Rizwanuddin *et al.*, 2022; Sun *et al.*, 2022). Las observaciones mencionadas anteriormente, a su vez, se vieron reflejadas en el desarrollo y en la productividad de las plantas de frutilla. En este sentido, el desarrollo foliar de las plantas tratadas con bacterias fue significativamente mayor que el control, al igual que el rendimiento en términos de número de frutos y tamaño de los frutos. Si bien las plantas tratadas con *B. licheniformis* presentaron una menor cantidad de frutos, el tamaño de los mismos fue significativamente mayor al control sin aplicaciones, incluso superó los valores de las plantas tratadas con el fertilizante comercial, lo que también fue observado por Seema *et al.* (2018). Respecto a las propiedades organolépticas, las plantas tratadas con *B. licheniformis* mejoraron significativamente el índice de color, el contenido de antocianos, de ácido ascórbico, de compuestos fenólicos y la actividad antioxidante. En el caso de *P. stutzeri*, solo se observaron diferencias estadísticamente significativas para el contenido de antocianos y ácido ascórbico. Para el contenido de SST, acidez y firmeza, no se observaron diferencias. Los resultados mencionados fueron similares a otros reportes (Huasasquiche *et al.*, 2024b; Nam *et al.* 2023; Badar *et al.*, 2022; Cömert *et al.*, 2020; Seema *et al.*, 2018).

El uso de cáscaras de maní y de nuez pecán, y de especies vegetales como sustratos para cultivos de frutilla también mostró resultados interesantes. La adición de esos insumos a los suelos mejoró considerablemente el contenido de MO, lo que también se vio reflejado en el contenido de la mayoría de los nutrientes. El tratamiento con cáscaras de maní al 10% (M10) se destacó por encima de los demás sustratos, ya que no solo aumentó el contenido de nutrientes totales, la CIC, y el contenido de cationes intercambiables, sino que también mostró los valores de pH y CE más cercanos a los óptimos de cultivo. A su vez, este tratamiento mejoró las propiedades físicas del suelo, ya que registró valores de porosidad total, capacidad de aireación y densidad aparente cercanos o dentro de los óptimos para el cultivo, lo que coincide con otros reportes (Antonangelo *et al.*, 2024; Fall *et al.*, 2018; Garcia *et al.*, 2001). Las buenas condiciones del suelo generadas por la adición de cáscaras de maní favorecieron el desarrollo del cultivo. Así, las plantas del tratamiento M10 mostraron un desarrollo foliar superior a los demás tratamientos, a la vez que mejoraron el rendimiento del cultivo en términos de gramos de fruta

acumulados y tamaño de los mismos, este último con diferencias estadísticamente significativas. Las significancias también se observaron en algunas de las propiedades organolépticas de los frutos, a saber, contenido de SST, acidez y contenido de compuestos fenólicos. Estos resultados coinciden con otros trabajos donde aplicaron subproductos obtenidos de cáscaras de maní en diferentes cultivos (Piao *et al.*, 2023; Zhou *et al.*, 2023; Xia *et al.*, 2022; Nazir *et al.*, 2021; Farghly *et al.*, 2020; Liu *et al.*, 2019). Contrariamente al tratamiento M10, las plantas de los sustratos con cáscaras de nuez pecán (NP) y *P. acuminata* (PA) presentaron un desarrollo foliar y un rendimiento muy por debajo del control sin tratar. Los parámetros físicos de estos sustratos podrían explicar gran parte de las falencias, ya que la densidad aparte fue muy elevada, mientras que la porosidad total y capacidad de aireación fueron muy bajas. Este escenario indica compactación de suelos, dificultad para la infiltración de agua y la absorción de nutrientes, y restricción del crecimiento radicular (Fariña *et al.*, 2025; Gavrilescu, 2021; Leyva *et al.*, 2018). Si bien el sustrato con *S. chilensis* al 10% (SC10) mostró valores óptimos en los parámetros físicos del suelo (similares a M10), este aspecto no se vio reflejado en el correcto desarrollo de las plantas, tanto en términos vegetativos como productivos.

Finalmente, se obtuvieron extractos fijos del metabolismo bacteriano de *B. licheniformis* y *P. stutzeri* (ExtBL y ExtPS), de las cáscaras de maní (Hex-M, MeOH-M) y nuez pecán (Hex-NP, MeOH-NP), y de las plantas *P. acuminata* (Hex-PA, MeOH-PA), *S. chilensis* (Hex-SC, MeOH-SC) y *R. sativus* (Hex-RS, MeOH-RS) para evaluar su actividad antifúngica *in vitro* y *ex vivo* contra *B. cinerea* y *C. acutatum*. Respecto a las bacterias, ExtBL registró una actividad antifúngica superior a ExtPS, y fue más fuerte contra *B. cinerea*. De los extractos de origen vegetal, MeOH-M y Hex-PA mostraron una potente actividad antifúngica contra ambos hongos, tanto *in vitro* como *ex vivo*. A su vez, el extracto Hex-SC registró una potente inhibición de ambos hongos, principalmente contra *C. acutatum*. Por otro lado, el extracto Hex-RS también demostró una actividad antifúngica fuerte contra ambos hongos *in vitro* (aunque menor que los extractos mencionados anteriormente); sin embargo, su desempeño en los ensayos *ex vivo* fue moderado contra *B. cinerea* y bajo contra *C. acutatum*. Si bien existen algunos reportes que confirman la actividad antifúngica de *B. licheniformis* (como microorganismo) (Moon *et al.*, 2025; Ravindran *et al.*, 2023; Kwon *et al.*, 2021; Chen *et al.*, 2019; Nawaz *et al.*, 2018; Jeong *et al.*, 2017), cáscaras de maní (Gunasekaran *et al.*, 2025; Terea *et al.*, 2023; Petropoulos *et al.*, 2020), cáscaras de nuez pecán (Lujan *et al.*, 2021; Hernández-Castillo *et al.*, 2010), *P. acuminata* (Di Liberto *et al.*, 2021; Derita *et al.*, 2009), *S. chilensis* (Di Liberto *et al.*, 2019; Vila *et al.*, 2002) y *R. sativus* (Ungureanu *et al.*, 2021; Duy *et al.*, 2019; Kaymak *et al.*, 2015) contra patógenos agrícolas y humanos, no se encontró evidencia de su actividad contra *B. cinerea* y *C. acutatum*, por lo que estos resultados serían los primeros reportes.

CONCLUSIÓN GENERAL

En esta tesis se evaluaron diferentes subproductos de la actividad agrícola (un té de compost de residuos de cama de cría de pollo, cáscaras de maní y cáscaras de nuez pecán) y especies vegetales (*Persicaria acuminata*, *Solidago chilensis* y *Raphanus sativus*) como insumos para biofertilizantes y biofungicidas en cultivos de frutilla. Además, se lograron aislar dos bacterias con potencial interés agronómico del té de compost, a saber, *Bacillus licheniformis* y *Pseudomonas stutzeri*. En términos generales, *B. licheniformis* y las cáscaras de maní se destacaron tanto como biofertilizantes como por su actividad antifúngica contra *B. cinerea* y *C. acutatum*. En los ensayos con plantas de frutilla, ambos mejoraron las propiedades fisicoquímicas del suelo, el desarrollo vegetativo y el rendimiento del cultivo en términos de número de frutos y tamaño de los mismos, a la vez que presentaron los menores porcentajes de frutos de descarte (frutos con un peso > 7 g). Además, favorecieron a la mayoría de las propiedades organolépticas medidas en este trabajo, como el índice de color, el contenido de SST, acidez, el contenido de antocianos, de ácido ascórbico, de compuestos fenólicos y la actividad antioxidante. Por otro lado, el extracto metanólico de cáscaras de maní demostró una potente actividad antifúngica tanto *in vitro* como *ex vivo* contra *B. cinerea* y *C. acutatum*. Si bien las especies vegetales y las cáscaras de nuez pecán no mostraron buenos resultados como sustratos para el cultivo de frutilla, el extracto hexánico de *P. acuminata* mostró una fuerte actividad antifúngica contra ambos patógenos, mientras que el extracto hexánico de *S. chilensis* mostró una actividad antifúngica de moderada-alta contra *C. acutatum*.

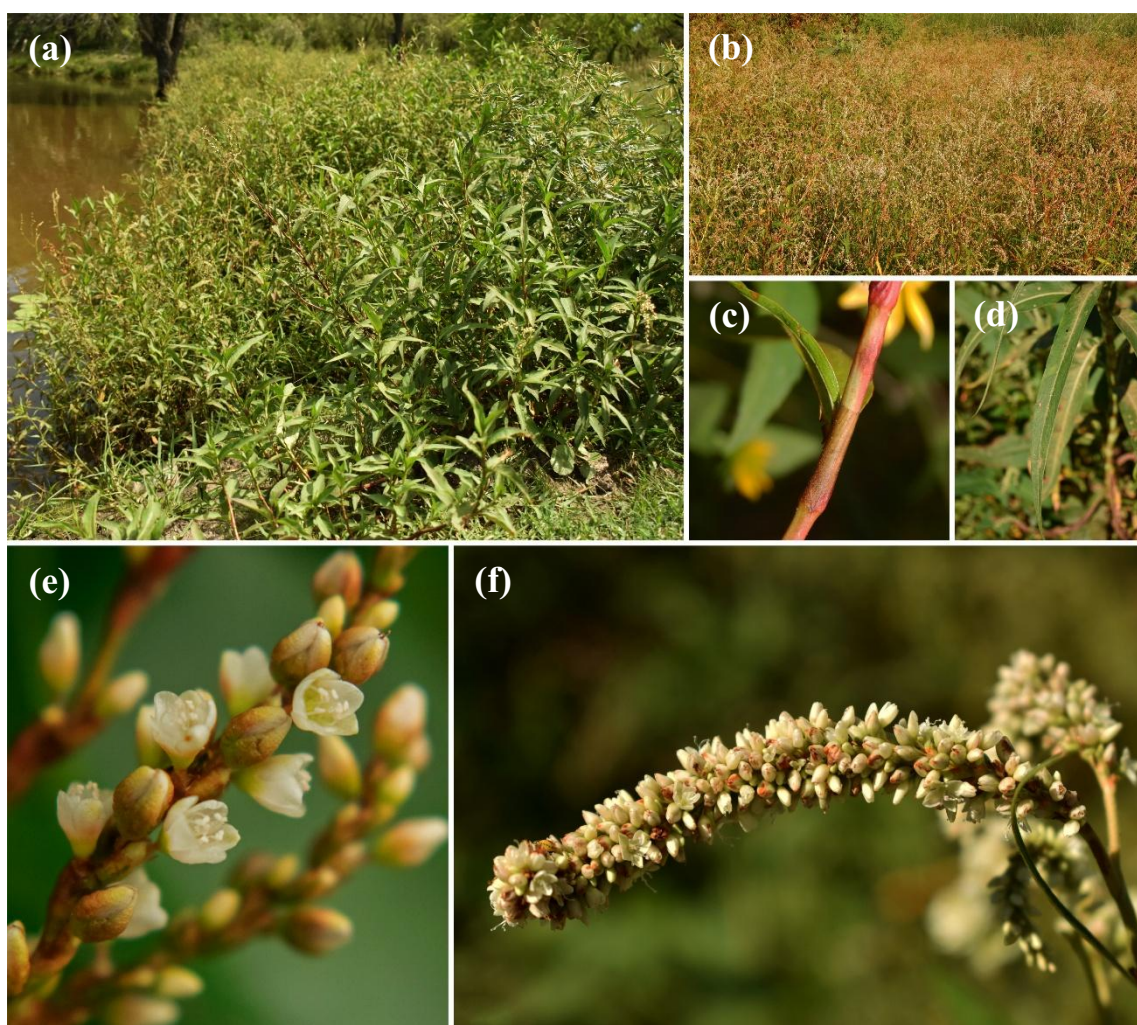
Como se mencionó a lo largo de esta tesis, el uso reiterado de fertilizantes y fungicidas sintéticos ha generado pérdidas en la productividad de los suelos y ha beneficiado la aparición de patógenos resistentes. A su vez, los sistemas de producción para crear bienes y servicios implican la generación y eliminación continua de grandes cantidades de residuos. Este escenario plantea la necesidad de investigar nuevas alternativas de productos con el objetivo de, por un lado, reducir el uso de fertilizantes y pesticidas de base sintética y, por el otro, movilizar de manera sustentable los residuos de la producción agrícola. Si bien serán necesarios más estudios para confirmar los resultados obtenidos en esta tesis, la misma marca un punto de partida alentador para continuar trabajando en post de desarrollar nuevos productos de base biológica, que no solo permitan mejorar la salud de los suelos, la productividad y la sanidad de los cultivos, sino que también garanticen inocuidad para el medio ambiente y la salud humana.

ANEXOS

Anexo 1: fichas de especies vegetales

FICHA 1: *Persicaria acuminata* (Kunth) M.Gómez | “catay grande” | Polygonaceae

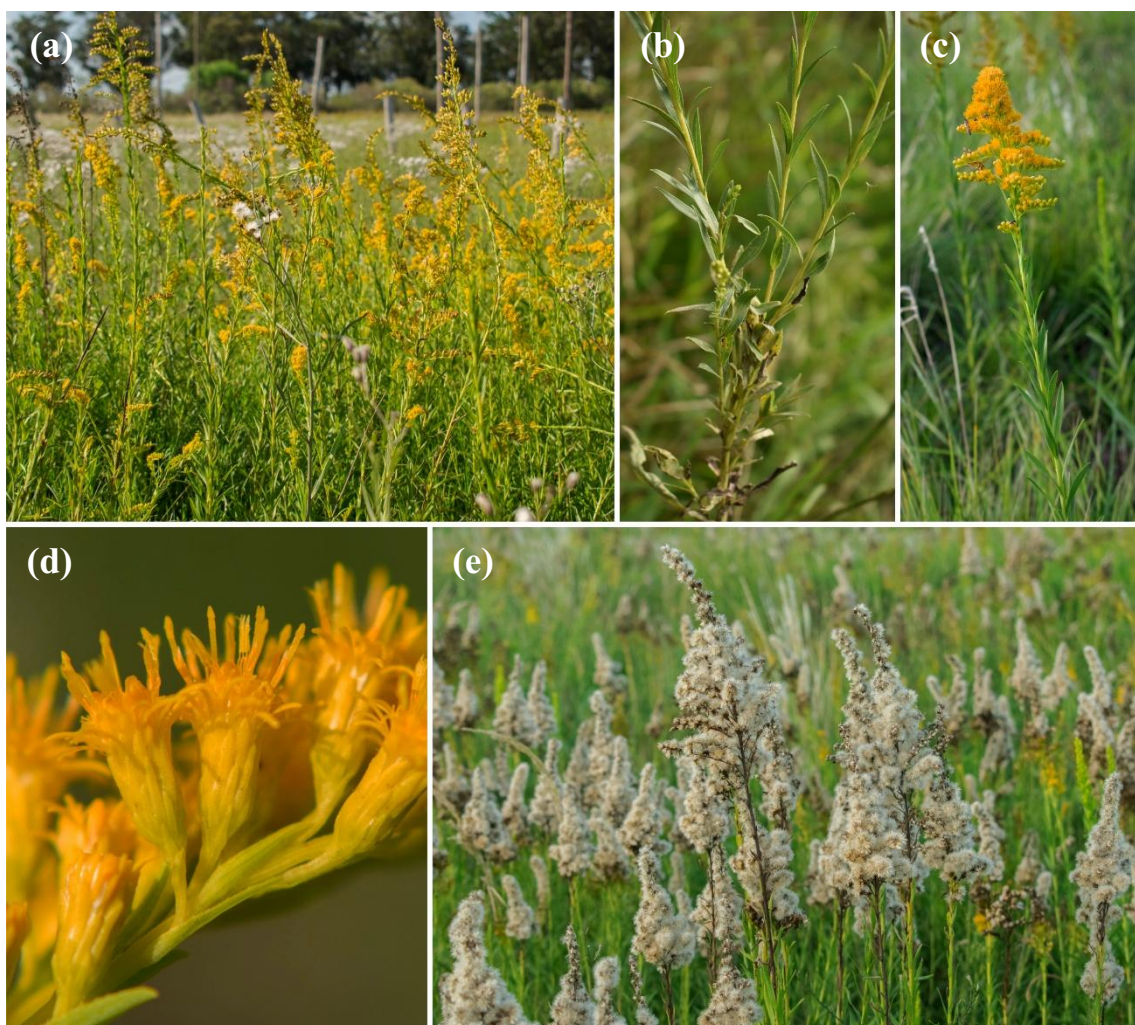
Especie nativa de Argentina, que crece en sitios inundables y bordes de cursos de agua formando “cataysales”. Morfológicamente es una hierba perenne, de 0,5-2 m de alto, con tallos frecuentemente sumergidos hasta la base. Hojas simples, lineal-lanceoladas, de 6-23 cm de largo, sésiles o con pecíolos generalmente menores de 1 cm de largo. Esta especie presenta ocreas de 1-4 cm de largo de borde ciliado. Inflorescencias (llamadas tirsos) de 3-10 cm de largo, compuestas por flores con perigonio blanco de 3-4,5 mm de largo formado por 4 tépalos. El fruto es un aquenio lenticular, negruzco. Además de las propiedades descriptas en los Capítulos 3 y 4, en medicina popular se le atribuyen propiedades diuréticas, depurativas, astringentes e hipotensoras (Saifuzzaman *et al.*, 2013; Lahitte *et al.*, 1998). En algunos casos, puede considerarse una maleza para el cultivo de arroz (Lallana, 2005). A pesar de la bioactividad de esta planta, no existen muchos reportes científicos, lo que vuelve imperioso su estudio.



Morfología de *P. acuminata*: (a y b) “cataysales”; (c) ocrea; (d) hoja; (e y f) inflorescencias.
Fotos: Gisela Seimandi.

FICHA 2: *Solidago chilensis* Meyen | “vara de oro” | Asteraceae

Especie nativa de Sudamérica. Morfológicamente es una hierba perenne, de hasta 2 m de alto, rizomatosa y glabra. Hojas alternas, simples, enteras, linear-lanceoladas, de 4-8 cm de largo por 0,5-1 cm de ancho. Presenta capítulos radiados, compuestos por flores liguladas en el borde y tubuladas en el centro, de color amarillo. El fruto es una cipsela cilíndrica, con papus blanco formado por numerosos pelos delgados de color blanco. Debido a su vistosa, abundante y prolongada floración, es una planta muy estimada por los apicultores; sin embargo, se debe tener precaución con el ganado ya que la presencia de saponinas y oxidasas puede ser tóxica para los animales (Rossi *et al.*, 2014). Además de las propiedades descritas en los Capítulos 3 y 4, en medicina popular se le atribuyen propiedades digestivas, diaforéticas, antriproliferativas, antinociceptivas, hipoglucemiantes, depurativas, hepatoprotectivas, para dolores reumáticos, para calmar picaduras de insectos, como antibacteriano, antiinflamatorio y antioxidante (Porto *et al.*, 2023; Valverde *et al.*, 2020; Gomes *et al.*, 2018b; Gastaldi *et al.*, 2018; Alonso & Desmarchelier, 2015; Barboza *et al.*, 2009; Carrizo *et al.*, 2002).



Morfología de *S. chilensis*: (a) planta en floración; (b) hojas; (c) capítulo; (d) detalle de la flor; (e) frutos. Fotos: Gisela Seimandi.

FICHA 3: *Arachis hypogaea* L. | “maní” | Fabaceae

Especie originaria de Sudamérica. Morfológicamente es una herbácea anual, de hasta 50 cm de alto, hojas alternas, paripinnadas, con dos pares de folíolos de 2,5-6 x 1,5-3 cm. Las flores son axilares, solitarias, de color amarillo; una vez polinizadas, las flores se marchitan y se entierran al alargarse la zona donde se sitúa la base del ovario (ginóforo), por lo que el fruto (legumbre) se desarrolla completamente debajo de la tierra. Además de las propiedades comestibles y antifúngicas, se han reportado otras aplicaciones, principalmente de las cáscaras: para matrices de biodegradación de plásticos (Oulidi *et al.*, 2022), como catalizador para la producción de gas de síntesis, biogás, bioetanol y biodiesel (Ajayi & Lateef, 2023; Kim *et al.*, 2022a; Kim *et al.*, 2022b); antioxidante (Adhikari *et al.*, 2019; Zhang *et al.*, 2013; Qiu *et al.*, 2012; Yu *et al.*, 2006); propiedades nutraceuticas (Gao *et al.*, 2022); y antibacteriales (Terea *et al.*, 2023; Petropoulos *et al.*, 2020; Yemmireddy *et al.*, 2020; Kyei *et al.*, 2020; Zhang *et al.*, 2013). Además, el aceite es una fuente natural con propiedades antioxidantes, vitamina E, fitoesteroles, escualeno y ácido *p*-cumárico, compuestos importantes para la salud humana (Suchoszek-Lukaniuk *et al.*, 2011).

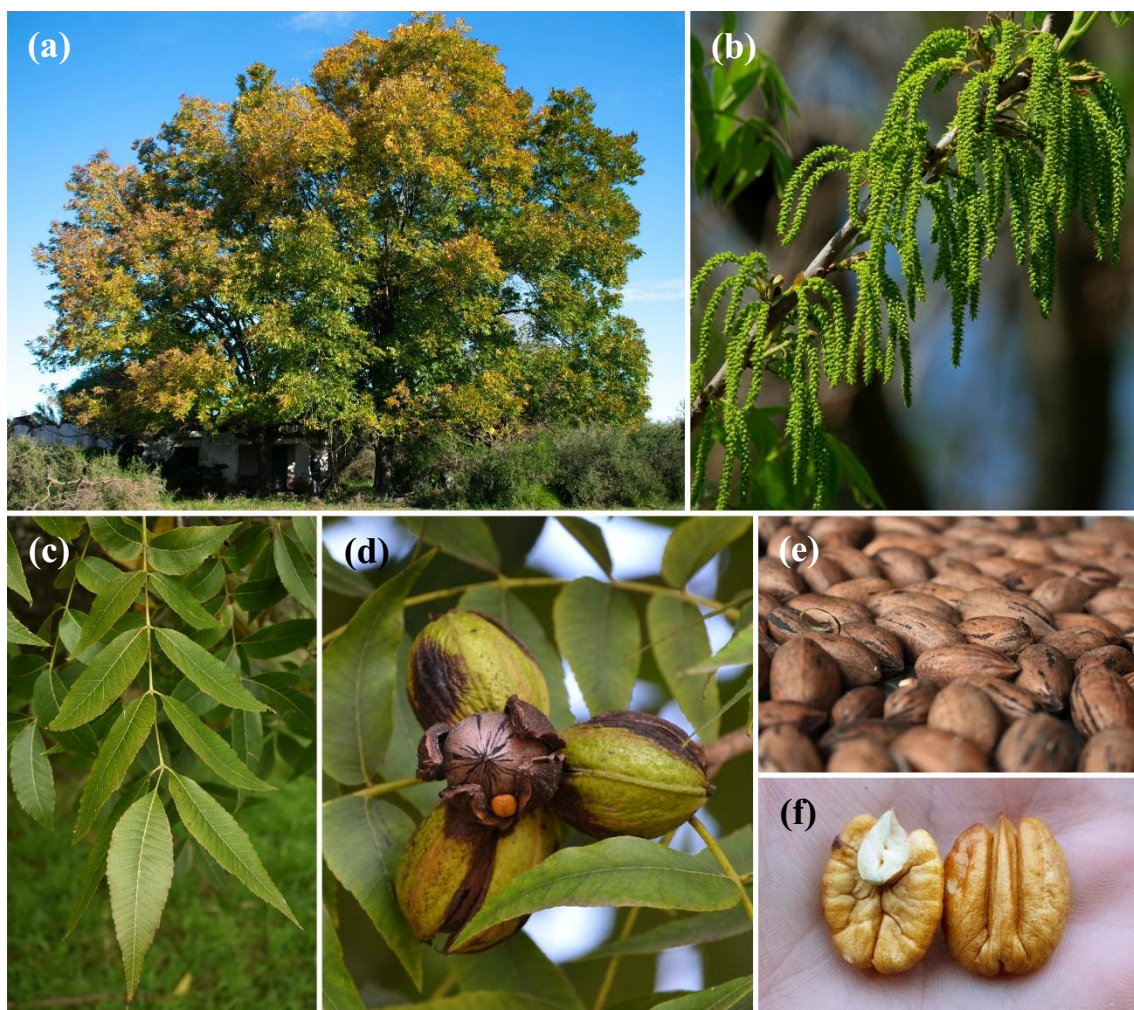


Morfología de *A. hypogaea*: (a) planta completa; (b) ginóforos; (c) frutos y semillas. Fotos:

www.gardenia.net

FICHA 4: *Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch. | “pecanero” | Juglandaceae

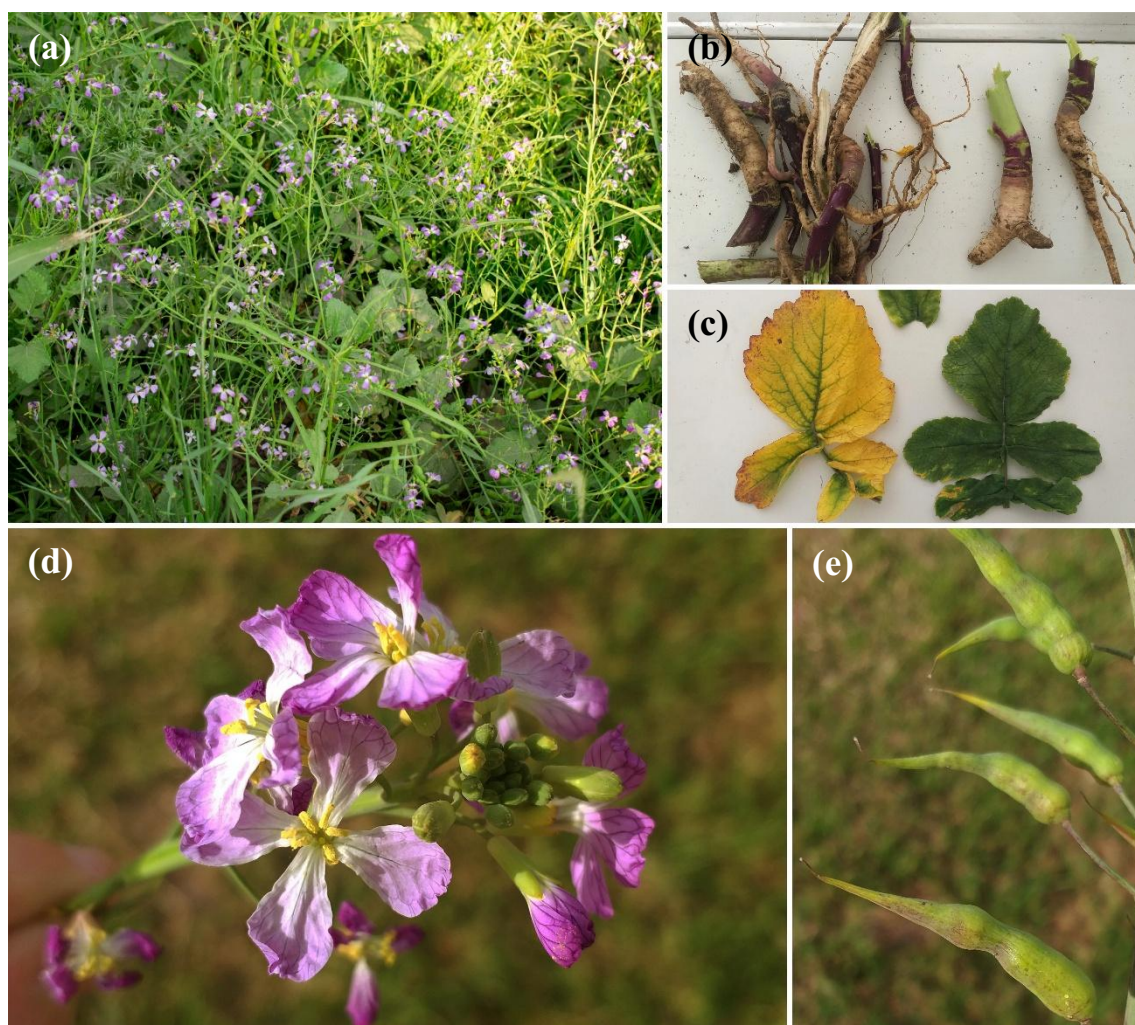
Especie nativa de México y del sudeste de los Estados Unidos, aunque se encuentra distribuida en gran parte del mundo debido a su importancia alimentaria. Morfológicamente es un árbol caducifolio, monoico, de 10-35 m de alto, de hojas compuestas, alternas, hasta 50 cm de largo, formadas por 11-17 folíolos lanceolados, con el margen aserrado. Las flores estaminadas se encuentran reunidas en amentos de color verde, las pistiladas agrupadas en cortas espigas terminales. El fruto es una drupa que se abre en 4 valvas a la madurez. Además de las propiedades comestibles y antifúngicas, en medicina popular se le atribuyen propiedades astringentes, para combatir la fiebre y para infecciones de la piel (Gutiérrez *et al.*, 2022). Al igual que el maní, las cáscaras presentan una diversa bioactividad: antibacteriana (Arciello *et al.*, 2021; Flores-Estrada *et al.*, 2020; Yemmireddy *et al.*, 2020; Caxambu *et al.*, 2016); nematocida (Cepeda-Siller *et al.*, 2018, Garrido *et al.*, 2014); antioxidante y estabilizador de alimentos (Dunford *et al.*, 2022; Arciello *et al.*, 2021; Flores-Estrada *et al.*, 2020; Moccia *et al.*, 2020); herbicida (Stafne *et al.*, 2009); antiproliferativo (Flores-Estrada *et al.*, 2020); como biocombustible sólido densificado (Ngangyo Heya *et al.*, 2022); y para la remoción de metales pesados (Cu, Pb y Zn) (Morgan *et al.*, 2020; Aguayo-Villarreal *et al.*, 2013; Hernández-Montoya *et al.*, 2011).



Morfología de *C. illinoensis*: (a) árbol completo; (b) flores estaminadas; (c) hojas; (d) cápsula del fruto abierta; (e) fruto; (f) semilla. Fotos: Gisela Seimandi.

FICHA 5: *Raphanus sativus* L. | “rábano silvestre” | Brassicaceae

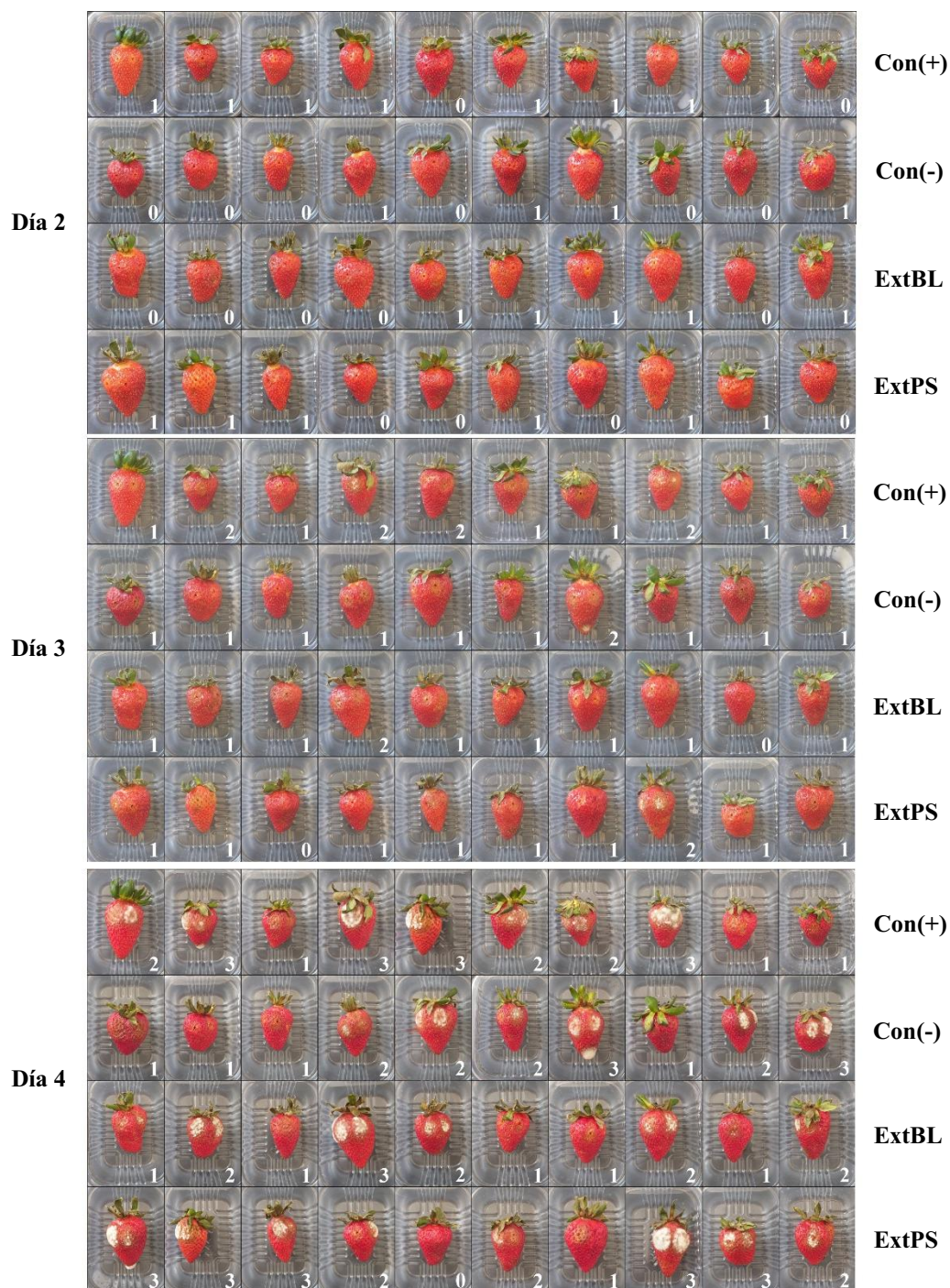
Especie originaria de Europa, aunque se encuentra escapada de cultivo. Morfológicamente es una hierba anual, de raíces carnosas, hojas oblongas, obovadas, oblanceoladas, o espatuladas, de 2-60 por 1-20 cm, de margen dentado, y ápice obtuso o agudo, hojas superiores subsésiles. Flores en racimos, glabros o escasamente pubescentes, de color púrpura a blanco. Fruto silicua, indehiscentes, con semillas globosas. Además de las propiedades descritas en el Capítulo 4, tanto las partes aéreas como las raíces han demostrado capacidad antibacteriana, insecticida, nematocida y como fitorremediadoras de ambientes contaminados (Seimandi *et al.*, 2024). También se han reportado propiedades anticancerígenas, antioxidantes, antidiabéticas y ansiolíticas (Naveed *et al.*, 2025; Chen *et al.*, 2023; Hernández-Sánchez *et al.*, 2023; Manivannan *et al.*, 2019; Kim *et al.*, 2015).



Morfología de *R. sativus*: (a) planta completa; (b) raíces; (c) hojas; (d) flores; (e) frutos. Fotos: Gisela Seimandi.

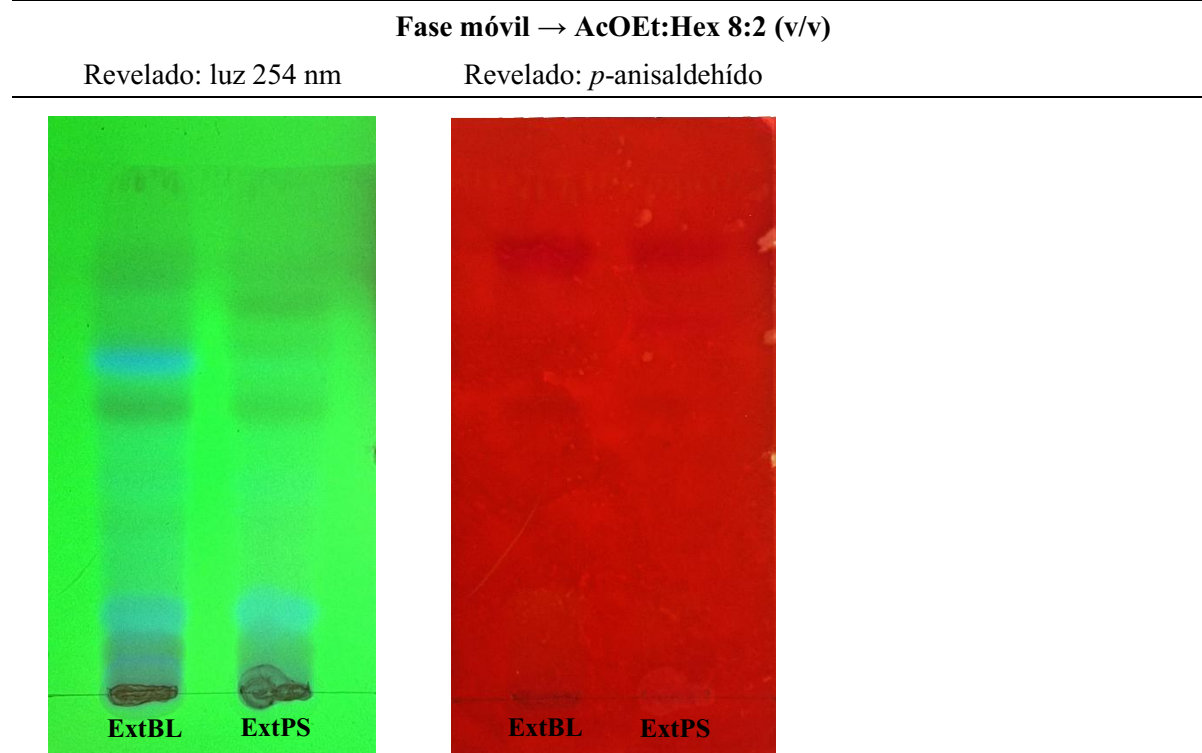
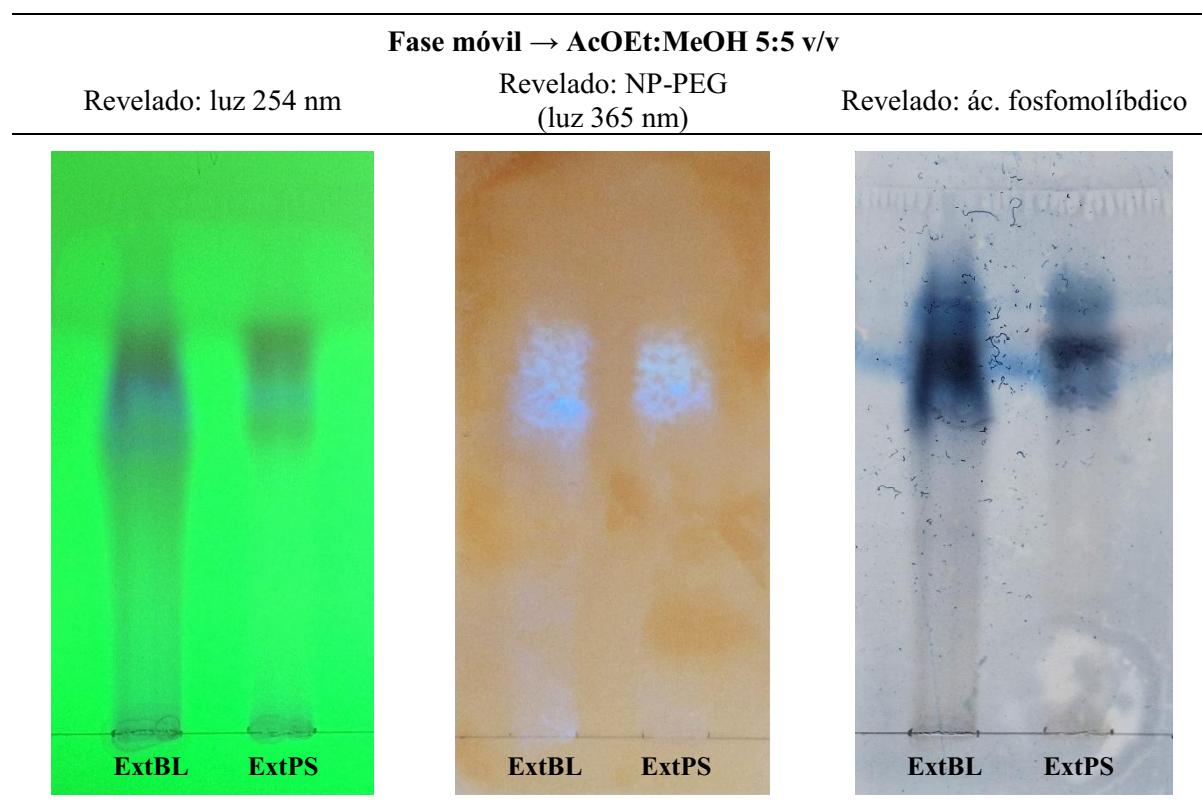
Anexo 2: ensayo antifúngico *ex vivo* de extractos bacterianos contra *B. cinerea*

Ref.: (Con+) control con agua; (Con-) control con fungicida comercial Carbendazim; (ExtBL) extracto de *B. licheniformis*; y (ExtPS) extracto de *P. stutzeri*. Los numeros 0-5 en los frutos indican la escala de infección de Romanazzi *et al.* (2001).



Anexo 3: Cromatografías en Capa Delgada (CCD) de los extractos

Extractos fijos del metabolismo bacteriano (acetato de etilo). Ref.: (ExtBL) extracto de *B. licheniformis*; (ExtPS) extracto de *P. stutzeri*.



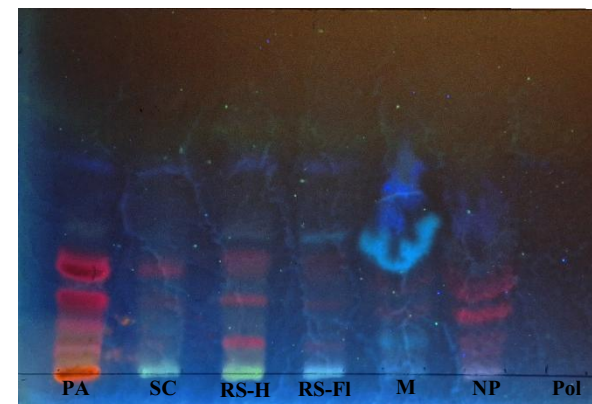
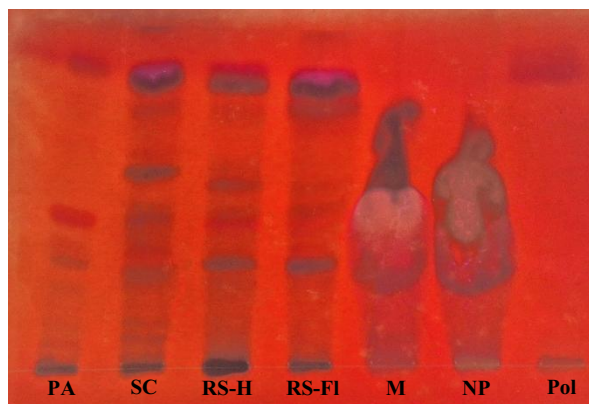
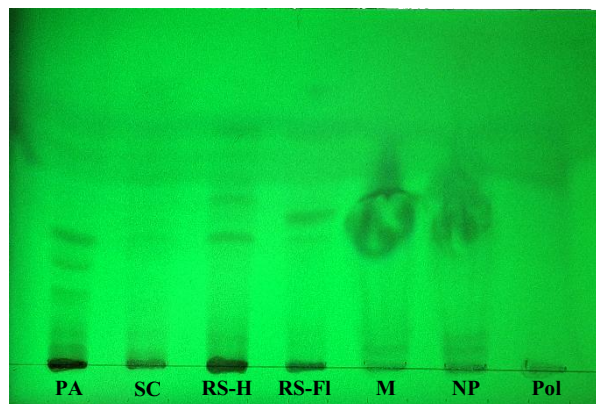
Extractos fijos hexánicos vegetales. Ref.: (PA) extracto de *P. acuminata*; (SC) extracto de *S. chilensis*; (RS) extracto de *R. sativus*, flor-F1 y hoja-H; (M) extracto de cáscaras de maní; (NP) extracto de cáscaras de nuez pecán; (Pol) polygodial.

Fase móvil → Hex:AcOEt 8:2 (v/v)

Revelado: luz 254 nm

Revelado: *p*-anisaldehído

Revelado: NP-PEG (luz 365 nm)

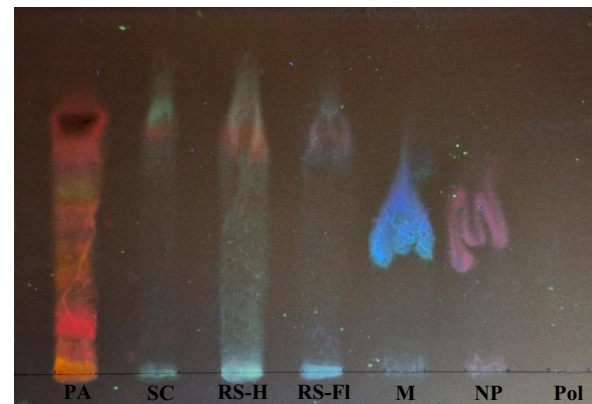
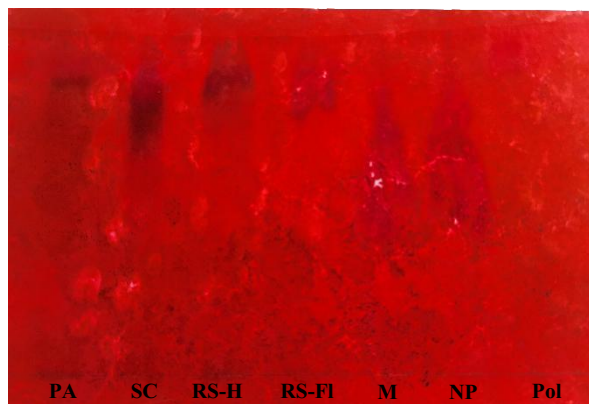
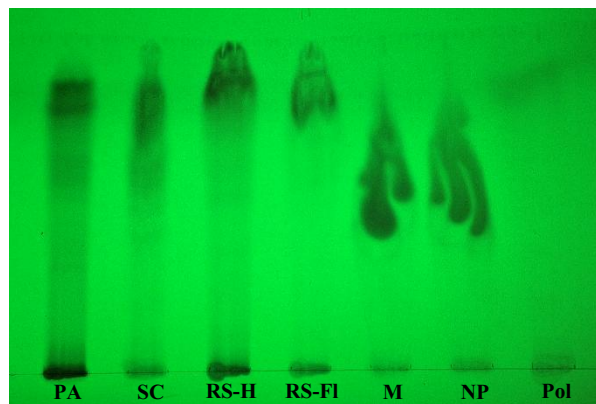


Fase móvil → Hex:AcOEt 2:8 (v/v)

Revelado: luz 254 nm

Revelado: *p*-anisaldehído

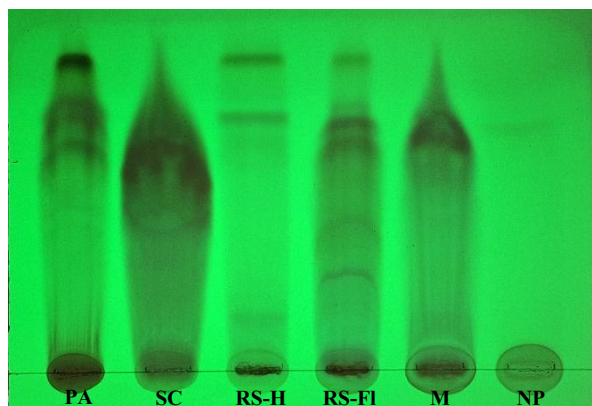
Revelado: NP-PEG (luz 365 nm)



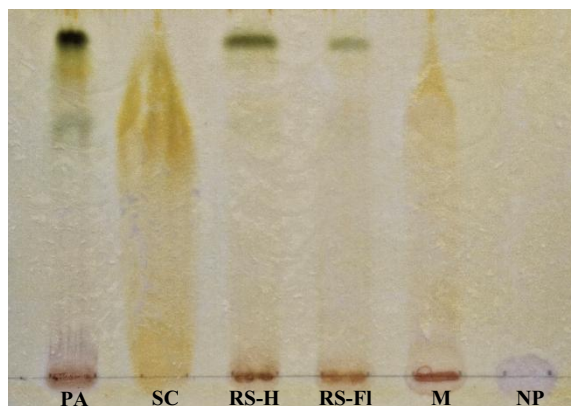
Extractos fijos metanólicos vegetales. Ref.: (PA) extracto de *P. acuminata*; (SC) extracto de *S. chilensis*; (RS) extracto de *R. sativus*, flor-FI y hoja-H; (M) extracto de cáscaras de maní; (NP) extracto de cáscaras de nuez pecán.

Fase móvil → AcOEt:MeOH 5:5 (v/v)

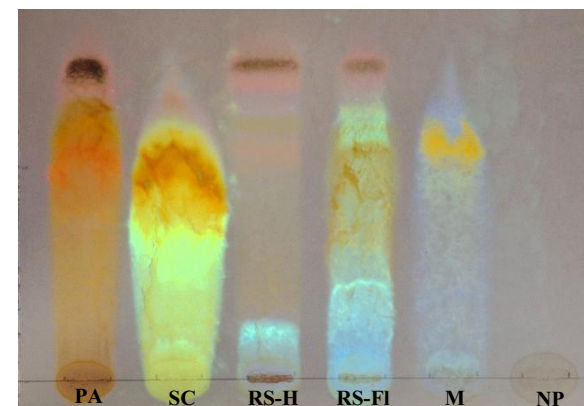
Revelado: luz 254 nm



Revelado: reactivo de Dragendorff

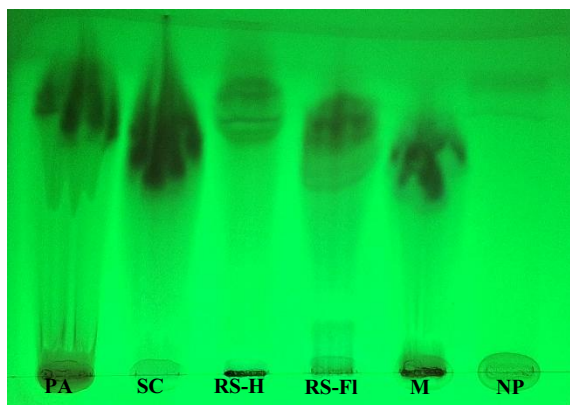


Revelado: NP-PEG (luz 365 nm)

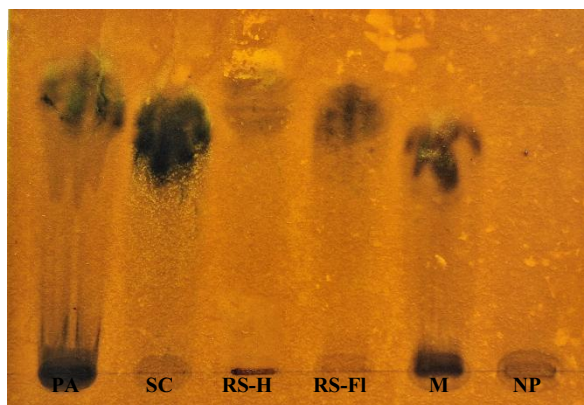


Fase móvil → MeOH 100%

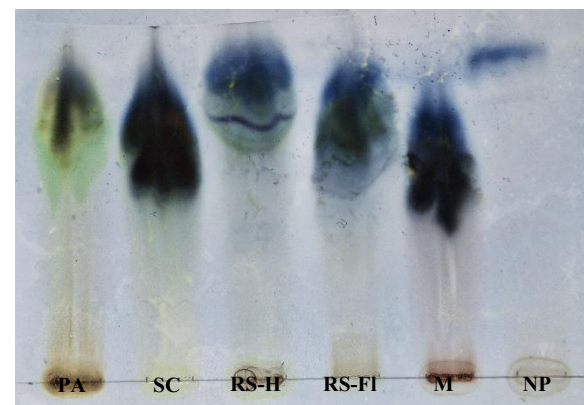
Revelado: luz 254 nm



Revelado: FeCl₃



Revelado: ác. fosfomolibdico



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abah, H.O., Nwankwo, A.U., & Orgem, C.M. (2019). Waste management practices in selected poultry farms and its effect on the environment and human health in Makurdi, Nigeria. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, 4(1), 121-127. [\[DOI\]](#)
- Abdel-Aal, E.S., & Hucl, P. (1999). A Rapid Method for Quantifying Total Anthocyanins in Blue Aleurone and Purple Pericarp Wheats. *Cereal Chemistry*, 76, 350-354. [\[DOI\]](#)
- Abdel-Nasser, A., Hathout, A.S., Badr, A.N., Barakat, O.S., & Fathy, H.M. (2023). Extraction and characterization of bioactive secondary metabolites from lactic acid bacteria and evaluating their antifungal and antiaflatoxigenic activity. *Biotechnology Reports*, 38, e00799. [\[DOI\]](#)
- Abubaker, S., Qrunfleh, I., Shatnawi, M., Ammari, T.G., Hasan, H., & Al-Tawaha, A.R. (2024). The effect of compost tea on some growth and yield parameters and soil chemical properties of greenhouse tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 25(6), 362-370. [\[DOI\]](#)
- Adebayo, J.O., Adebayo, A.O., & Obembe, A. (2014). Efficacy of organomineral fertilizer and unamended compost on the growth and yield of water melon (*Citrullus lanatus* Thumb) in Ilorin Southern Guinea Savanna zone of Nigeria. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 3(4), 121-125. [\[DOI\]](#)
- Adeleke, B.S., & Babalola, O.O. (2022). Roles of plant endosphere microbes in agriculture-a review. *Journal of Plant Growth Regulation*, 41(4), 1411-1428. [\[DOI\]](#)
- Adhikari, B., Dhungana, S.K., Ali, M.W., Adhikari, A., Kim, I.D., & Shin, D.H. (2019). Antioxidant activities, polyphenol, flavonoid, and amino acid contents in peanut shell. *Journal of Saudi Society of Agricultural Science*, 18:437-42. [\[DOI\]](#)
- Adnan, M., Fahad, S., Saleem, M.H., & Lal, R. (2025). Sustainable phosphorus management in calcareous soils: problems and prospects. *Journal of Plant Nutrition*, 48(13), 2179-2200. [\[DOI\]](#)
- Adugna, G. (2016). A review on impact of compost on soil properties, water use and crop productivity. *Academic Research Journal of Agricultural Science and Research*, 4(3), 93-104. [\[DOI\]](#)
- Agegnehu, G., Srivastava, A.K., & Bird, M.I. (2017). The role of biochar and biochar-compost in improving soil quality and crop performance: A review. *Applied Soil Ecology*, 119, 156-170. [\[DOI\]](#)
- Aguayo-Villarreal, I.A., Ramírez-Montoya, L.A., Hernández-Montoya, V., Bonilla-Petriciolet, A., Montes-Morán, M.A., & Ramírez-López, E.M. (2013). Sorption mechanism of anionic dyes on pecan nut shells (*Carya illinoensis*) using batch and continuous systems. *Industrial Crops and Products*, 48, 89-97. [\[DOI\]](#)
- Ahmad, M., Ishaq, M., Shah, W.A., Adnan, M., Fahad, S., Saleem, M.H., Khan, F.U., Mussarat, M., Khan, S., Ali, B., Mostafa, Y.S., Alamri, S., & Hashem, M. (2022). Managing phosphorus

- availability from organic and inorganic sources for optimum wheat production in calcareous soils. *Sustainability*, 14(13), 7669. [\[DOI\]](#)
- Ahmed, T., Shahid, M., Noman, M., Hussain, S., Khan, M. A., Zubair, M., Ismail, M., Manzoor, N., Shahzad, T., & Mahmood, F. (2019). Plant growth-promoting rhizobacteria as biological tools for nutrient management and soil sustainability. En: Kumar, A., & Singh, M.V. (eds.), *Plant Growth Promoting Rhizobacteria for Agricultural Sustainability: From Theory to Practices* (pp. 95-110). Springer, Singapur. [\[DOI\]](#)
- Ajayi, V.A., & Lateef, A. (2023). Biotechnological valorization of agrowastes for circular bioeconomy: melon seed shell, groundnut shell and groundnut peel. *Cleaner and Circular Bioeconomy*, 4, 100039. [\[DOI\]](#)
- Ajjah, N., Fiodor, A., Pandey, A.K., Rana, A., & Pranaw, K. (2023). Plant growth-promoting bacteria (PGPB) with biofilm-forming ability: a multifaceted agent for sustainable agriculture. *Diversity*, 15(1), 112. [\[DOI\]](#)
- Akhtar, S.S., Amby, D.B., Hegelund, J.N., Fimognari, L., Großkinsky, D.K., Westergaard, J.C., Müller, R., Moelbak, L., Liu, F., & Roitsch, T. (2020). *Bacillus licheniformis* FMCH001 increases water use efficiency via growth stimulation in both normal and drought conditions. *Frontiers in Plant Science*, 11, 297. [\[DOI\]](#)
- Al Aboody, M.S., & Mickymaray, S. (2020). Anti-fungal efficacy and mechanisms of flavonoids. *Antibiotics*, 9(2), 45. [\[DOI\]](#)
- Alagöz, Z., & Yilmaz, E. (2009). Effects of different sources of organic matter on soil aggregate formation and stability: A laboratory study on a Lithic Rhodoxeralf from Turkey. *Soil and Tillage Research*, 103(2), 419-424. [\[DOI\]](#)
- Almendro-Candel, M.B., Lucas, I.G., Navarro-Pedreño, J., & Zorpas, A.A. (2018). Physical properties of soils affected by the use of agricultural waste. En: Aladjadjiyan, A. (ed.), *Agricultural Waste and Residues* (pp. 77-99). IntechOpen, Londres, Reino Unido [\[DOI\]](#)
- Alonso, J., & Desmarchelier, C. (2015). *Plantas medicinales autóctonas de la Argentina: bases científicas para su aplicación en atención primaria de la salud*. 1° Ed. Corpus Libros Médicos y Científicos, Buenos Aires.
- Al-Shammary, A.A., Kouzani, A.Z., Kaynak, A., Khoo, S.Y., Norton, M., & Gates, W. (2018). Soil bulk density estimation methods: A review. *Pedosphere*, 28(4), 581-596. [\[DOI\]](#)
- Alvarado-Cepeda, Y., Mendoza, R., Sandoval, A., Vega, J., & Franco, I. (2021). Calidad fisicoquímica y sensorial de frutos de fresas obtenidos en dos sistemas de cultivo. *Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica*, 8(43), 18-29. [\[DOI\]](#)
- Ansorena, M.J. (1994). *Sustratos. Propiedades y caracterización*. Mundi Prensa, Madrid, España.
- Antonangelo, J.A., Culman, S., & Zhang, H. (2024). Comparative analysis and prediction of cation exchange capacity via summation: influence of biochar type and nutrient ratios. *Frontiers in Soil Science*, 4, 1371777. [\[DOI\]](#)

- Anuradha, R.K., Bishnoi, S., & Sindhu, S.S. (2022). Bio-inoculation of strawberry plants with *Bacillus* strains having promoting effect on growth, yield and quality. *Journal of Applied Horticulture*, 24(3), 278-281. [\[DOI\]](#)
- Arciello, A., Panzella, L., Dell'Olmo, E., Abdalrazeq, M., Moccia, F., Gaglione, R., Salazar, S.A., Napolitano, A., Mariniello, L., & Giosafatto, C. V. L. (2021). Development and characterization of antimicrobial and antioxidant whey protein-based films functionalized with Pecan (*Carya illinoensis*) nut shell extract. *Food Packaging and Shelf Life*, 29, 100710. [\[DOI\]](#)
- Arunrat, N., Sansupa, C., Sereenonchai, S., Hatano, R., & Lal, R. (2024). Fire-induced changes in soil properties and bacterial communities in rotational shifting cultivation fields in Northern Thailand. *Biology*, 13(6), 383. [\[DOI\]](#)
- Awasthi, M.K., Wang, Q., Awasthi, S.K., Wang, M., Chen, H., Ren, X., Zhao, J., & Zhang, Z. (2018). Influence of medical stone amendment on gaseous emissions, microbial biomass and abundance of ammonia oxidizing bacteria genes during biosolids composting. *Bioresource Technology*, 247, 970-979. [\[DOI\]](#)
- Azeez, J.O., Ibijola, T.O., Adetunji, M.T., Adebisi, M.A., & Oyekanmi, A.A. (2014). Chemical characterization and stability of poultry manure tea and its influence on phosphorus sorption indices of tropical soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 45(20), 2680-2696. [\[DOI\]](#)
- Azim, K., Soudi, B., Boukhari, S., Perissol, C., Roussos, S., & Thami Alami, I. (2018). Composting parameters and compost quality: a literature review. *Organic Agriculture*, 8(2), 141-158. [\[DOI\]](#)
- Baakza, A., Vala, A.K., Dave, B.P., & Dube, H.C. (2004). A comparative study of siderophore production by fungi from marine and terrestrial habitats. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 311, 1-9. [\[DOI\]](#)
- Babu, S., Rathore, S.S., Singh, R., Kumar, S., Singh, V.K., Yadav, S.K., Raj, R., Yadav, D., Shekhawat, K., Wani, O.A. (2022). Exploring agricultural waste biomass for energy, food and feed production and pollution mitigation: A review. *Bioresource Technology*, 360, 127566. [\[DOI\]](#)
- Badar, M.A., Mehmood, K., Hassan, I., Ahmed, M., Ahmad, I., Ahmad, N., & Hasan, M. U. (2022). Plant growth promoting bacteria (PGPB) enhance growth and yield of strawberry cultivars. *Applied Ecology & Environmental Research*, 20(3). [\[DOI\]](#)
- Bajaj, K., Adhikary, T., Gill, P.P., Kumar, A. (2023). Edible coatings enriched with plant-based extracts preserve postharvest quality of fruits: A review. *Progress in Organic Coating*, 182, 107669. [\[DOI\]](#)
- Bako, T., Ali, I.Z., & Aminu, J. (2024). Effect of compost tea on the quality promotion of sweet corn (*Zea mays* var. *Rugosa*) in organic cultivation. *Journal of Horticulture and Postharvest Research*, 7(2), 155-170. [\[DOI\]](#)
- Bako, T., Mamai, E.A., Istifanus, A.B. (2022). Effects of groundnut shells on soil properties, growth and yield of maize. *Agricultural Engineering International Journal*, 24(1): 1-12. [\[DOI\]](#)

- Barboza, G.E., Cantero J.J., Núñez C., Pacciaroni A., & Espinar L.A. (2009). Medicinal plants: A general review and a phytochemical and ethnopharmacological screening of the native Argentine Flora. *Kurtziana*, 34(1-2), 7-365. [\[DOI\]](#)
- Barkai-Golan, R. (2001). *Postharvest diseases of fruits and vegetables: development and control*. Elsevier, Amsterdam, Países Bajos.
- Baroncelli, R., Talhinas, P., Pensec, F., Sukno, S.A., Le Floch, G., & Thon, M.R. (2017). The *Colletotrichum acutatum* species complex as a model system to study evolution and host specialization in plant pathogens. *Frontiers in Microbiology*, 8, 2001. [\[DOI\]](#)
- Bennasar, A., Rossello-Mora, R., Lalucat, J., & Moore, E.R. (1996). 16S rRNA gene sequence analysis relative to genomovars of *Pseudomonas stutzeri* and proposal of *Pseudomonas balearica* sp. nov. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 46(1), 200-205. [\[DOI\]](#)
- Bera, S.P., & Tank, S.K. (2021). Bioremedial approach of *Pseudomonas stutzeri* SPM-1 for textile azo dye degradation. *Archives of Microbiology*, 203(5), 2669-2680. [\[DOI\]](#)
- Berza, B., Sekar, J., Vaiyapuri, P., Pagano, M.C., & Assefa, F. (2022). Evaluation of inorganic phosphate solubilizing efficiency and multiple plant growth promoting properties of endophytic bacteria isolated from root nodules *Erythrina brucei*. *BMC Microbiology*, 22(1), 276. [\[DOI\]](#)
- Bhatia, P., Harsh, N.S., Dubey, R.C., Kaushik, P.K. (2017). A comparative study of different carriers for bioinoculant preparation. *Indian Forester*, 143(4): 350-354. [\[DOI\]](#)
- Bhuyann, N., Narzari, R., Gogoi, L., Bordoloi, N., Hiloidhari, M., Palsaniya, D.R., Deb, U., Gogoi, N., Kataki, R. (2020). Valorization of agricultural wastes for multidimensional use. En: Kataki, R., Pandey, A., Khanal, S.K., & Pant, D. (eds.), *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering* (41-78). Elsevier, Amsterdam, Países Bajos. [\[DOI\]](#)
- [BLAST: https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi](https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi)
- Bolan, N.S., Szogi, A.A., Chuasavathi, T., Seshadri, B., Rothrock Jr, M.J., & Panneerselvam, P. (2010). Uses and management of poultry litter. *World's Poultry Science Journal*, 66(4), 673-698. [\[DOI\]](#)
- Bordé-Pavlicz, Á., Zhumakayev, A.R., Allaga, H., Vörös, M., Ramteke, P.W., Monostori, T., & Vágvölgyi, C. (2024). Characterisation of the Endophytic and Rhizospheric *Bacillus licheniformis* Strains Isolated from Sweet Potato with Plant Growth-Promoting and Yield Enhancing Potential. *Advances in Agriculture*, 2024(1), 4073275. [\[DOI\]](#)
- Bromilow, R.H., Evans, A.A., & Nicholls, P.H. (2003). The influence of lipophilicity and formulation on the distribution of pesticides in laboratory-scale sediment/water systems. *Pest Management Science*, 59(2), 238-244. [\[DOI\]](#)
- Caminiti, A. 2015. *Cultivo de frutillas en la provincia de Neuquén*. INTA Bariloche, Centro PyME y Universidad Nacional de Comahue.
- Campana, E., Ciriello, M., Lentini, M., Roupahel, Y., & De Pascale, S. (2025). Sustainable Agriculture Through Compost Tea: Production, Application, and Impact on Horticultural Crops. *Horticulturae*, 11(4), 433. [\[DOI\]](#)

- Cantillano, R.F., Ávila, J.M., Peralba, M.D., Pizzolato, T.M., & Toralles, R.P. (2012). Actividad antioxidante, compuestos fenólicos y ácido ascórbico de frutillas en dos sistemas de producción. *Horticultura Brasileira*, 30, 620-626. [\[DOI\]](#)
- Cao, H., Chen, Z., Li, X., Song, G., Wu, Y., Jin, J., Cui, F., Yuan, J., Qi, H., Wang, J., & Chen, J. (2024). Optimization of fermentation conditions for *Bacillus velezensis* TCS001 and evaluation of its growth promotion and disease prevention effects on strawberries. *Biological Control*, 198, 105632. [\[DOI\]](#)
- Capanoglu, E., Nemli, E., & Tomas-Barberan, F. (2022). Novel approaches in the valorization of agricultural wastes and their applications. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 70(23), 6787-6804. [\[DOI\]](#)
- Carranza-Téllez, J., Torres-Hernández, D.M., Contreras-Martínez, C.S., García-González, J.M., & Carranza-Concha, J. (2024). Influencia en la capacidad antioxidante de los fenoles totales, vitamina C y color en frutas. *Revista fitotecnia mexicana*, 47(1), 19-26. [\[DOI\]](#)
- Carrizo, E.D., Palacio, M.O., & Roic, L.D. (2002). Plantas de uso medicinal en la flora de los alrededores de la ciudad de Santiago del Estero (Argentina). *Dominguezia*, 18(1), 26-25. [\[DOI\]](#)
- Caxambu, S., Biondo, E., Kolchinski, E. M., Padilha, R. L., Brandelli, A., & Sant'Anna, V. (2016). Evaluation of the antimicrobial activity of pecan nut [*Carya illinoensis* (Wangenh) C. Koch] shell aqueous extract on minimally processed lettuce leaves. *Food Science and Technology*, 36, 42-45. [\[DOI\]](#)
- Cayci, G., Temiz, C., & Sözüdogru Ok, S. (2017). The effects of fresh and composted chicken manures on some soil characteristics. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 48(13), 1528-1538. [\[DOI\]](#)
- Cenobio-Galindo, A.D., Hernández-Fuentes, A.D., González-Lemus, U., Zaldívar-Ortega, A.K., González-Montiel, L., Madariaga-Navarrete, A., & Hernández-Soto, I. (2024). Biofungicides based on plant extracts: On the road to organic farming. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(13), 6879. [\[DOI\]](#)
- Cepeda-Siller, M., García-Calvario, J. M., Hernández-Juárez, A., Ochoa-Fuentes, Y. M., Garrido-Cruz, F., Cerna-Chávez, E., & Dávila-Medina, M. D. (2018). Toxicity of *Carya illinoensis* (Fágales: Juglandaceae) extracts against *Meloidogyne incognita* (Tylenchida: Heteroderidae) in tomato. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 5(13), 143-148. [\[DOI\]](#)
- Charbonneau, D.M., Meddeb-Mouelhi, F., Boissinot, M., Sirois, M., and Beauregard, M. (2012). Identification of thermophilic bacterial strains producing thermotolerant hydrolytic enzymes from manure compost. *Indian Journal of Microbiology*, 52, 41-47. [\[DOI\]](#)
- Chen, C., Kim, R. H., Hwang, K. T., & Kim, J. (2023). Chemical compounds and bioactivities of the extracts from radish (*Raphanus sativus*) sprouts exposed to red and blue light-emitting diodes during cultivation. *European Food Research and Technology*, 249(6), 1551-1562. [\[DOI\]](#)

- Chen, L., Lin, J., Pan, D., Ren, Y., Zhang, J., Zhou, B., Chen, L., & Lin, J. (2020). Ammonium removal by a newly isolated heterotrophic nitrification–aerobic denitrification bacteria *Pseudomonas stutzeri* SDU10 and its potential in treatment of piggery wastewater. *Current Microbiology*, 77(10), 2792-2801. [\[DOI\]](#)
- Chen, X., Wang, Y., Gao, Y., Gao, T., & Zhang, D. (2019). Inhibitory abilities of *Bacillus* isolates and their culture filtrates against the gray mold caused by *Botrytis cinerea* on postharvest fruit. *The Plant Pathology Journal*, 35(5), 425. [\[DOI\]](#)
- Chen, Z., & Jiang, X. (2014). Microbiological safety of chicken litter or chicken litter-based organic fertilizers: a review. *Agriculture*, 4(1), 1-29. [\[DOI\]](#)
- Chinivasagam, H.N., Redding, M., Runge, G., & Blackall, P.J. (2010). Presence and incidence of food-borne pathogens in Australian chicken litter. *British Poultry Science*, 51(3), 311-318. [\[DOI\]](#)
- Chrysargyris, A., Höfte, M., Tzortzakis, N., Petropoulos, S.A., & Di Gioia, F. (2022). Micronutrients: The borderline between their beneficial role and toxicity in plants. *Frontiers in Plant Science*, 13, 840624. [\[DOI\]](#)
- Chung, W.J., Chang, S.W., Chaudhary, D.K., Shin, J., Kim, H., Karmegam, N., Govarthan, M., Chandraskaran, M., & Ravindran, B. (2021). Effect of biochar amendment on compost quality, gaseous emissions and pathogen reduction during in-vessel composting of chicken manure. *Chemosphere*, 283, 131129. [\[DOI\]](#)
- Ciangherotti, C., Cegarra, J., Usbillaga, A., Rodríguez, M., Bermúdez, J., Mata, R., & Israel, A. (2016). Evaluación fitoquímica preliminar y actividad hipoglicemiante aguda del extracto acuoso de la raíz de *Ruellia tuberosa* L. en ratas con diabetes experimental. *Revista Facultad de Farmacia (Venezuela)*, 79(1-2), 36-44. [\[DOI\]](#)
- Cladera, A.M., Bennasar, A., Barceló, M., Lalucat, J., & García-Valdés, E. (2004). Comparative genetic diversity of *Pseudomonas stutzeri* genomovars, clonal structure, and phylogeny of the species. *Journal of Bacteriology*, 186(16), 5239-5248. [\[DOI\]](#)
- Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI). (2017). *Reference method for broth dilution antifungal susceptibility testing of filamentous fungi. CLSI standard M38*, 3rd ed.; Wayne, Pensilvania, Estados Unidos..
- Cocco, C., Magnani, S., Maltoni, M.L., Quacquarelli, I., Cacchi, M., Antunes, L.E., D'Antuono, L.F., Faedi, W., & Baruzzi, G. (2015). Effects of site and genotype on strawberry fruits quality traits and bioactive compounds. *Journal of Berry Research*, 5(3), 145-155. [\[DOI\]](#)
- Cömert, E.D., Mogol, B.A., & Gökmen, V. (2020). Relationship between color and antioxidant capacity of fruits and vegetables. *Current Research in Food Science*, 2, 1-10. [\[DOI\]](#)
- Corrales Ramirez, L.C., Arevalo Galvez, Z.Y., & Moreno Burbano, V.E. (2014). Solubilización de fosfatos: una función microbiana importante en el desarrollo vegetal. *Nova*, 12(21), 68-79. [\[DOI\]](#)

- Cotta, S.P., Marins, M.S., Marriel, I.E., Lana, U.D., Gomes, E.A., Figueiredo, J.E., & Oliveira-Paiva, C.A. (2023). Thermo-resistant enzyme-producing microorganisms isolated from composting. *Brazilian Journal of Biology*, 83, e244205. [\[DOI\]](#)
- Crippen, T.L., Sheffield, C.L., Singh, B., Byrd, J.A., Beier, R.C., & Anderson, R.C. (2021). Poultry litter and the environment: Microbial profile of litter during successive flock rotations and after spreading on pastureland. *Science of the Total Environment*, 780, 146413. [\[DOI\]](#)
- Damm, U., Cannon, P.F., Woudenberg, J.H., & Crous, P.W. (2012). The *Colletotrichum acutatum* species complex. *Studies in Mycology*, 73, 37-113. [\[DOI\]](#)
- Das, G., Nath, R., Das Talukdar, A., Ağagündüz, D., Yilmaz, B., Capasso, R., Shin, H., & Patra, J. K. (2023). Major bioactive compounds from java plum seeds: An investigation of its extraction procedures and clinical effects. *Plants*, 12(6), 1214. [\[DOI\]](#)
- de Barros, M., Mota da Silva, L., Boeing, T., Somensi, L. B., Cury, B. J., de Moura Burci, L., Santin, J.R., de Andrade, S.F., Delle Monache, F., & Cechinel-Filho, V. (2016). Pharmacological reports about gastroprotective effects of methanolic extract from leaves of *Solidago chilensis* (Brazilian arnica) and its components quercitrin and afzelin in rodents. *Naunyn-Schmiedeberg's Archives of Pharmacology*, 389, 403-417. [\[DOI\]](#)
- De Corato, U. (2020). Agricultural waste recycling in horticultural intensive farming systems by on-farm composting and compost-based tea application improves soil quality and plant health: A review under the perspective of a circular economy. *Science of the Total Environment*, 738, 139840. [\[DOI\]](#)
- De La Rosa, L.A., Alvarez-Parrilla, E., & Shahidi, F. (2011). Phenolic compounds and antioxidant activity of kernels and shells of Mexican pecan (*Carya illinoensis*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59, 152-162. [\[DOI\]](#)
- Derita, M.G., Leiva, M.L., & Zacchino, S. A. (2009). Influence of plant part, season of collection and content of the main active constituent, on the antifungal properties of *Polygonum acuminatum* Kunth. *Journal of Ethnopharmacology*, 124(3), 377-383. [\[DOI\]](#)
- Desnoues, N., Lin, M., Guo, X., Ma, L., Carreño-Lopez, R., & Elmerich, C. (2003). Nitrogen fixation genetics and regulation in a *Pseudomonas stutzeri* strain associated with rice. *Microbiology*, 149(8), 2251-2262. [\[DOI\]](#)
- Devi, S.I., Pooja Vashista, P.V., & Sharma, C.B. (2005). Purification to homogeneity and characterization of two antifungal proteins from the roots of *Arachis hypogaea* L. *National Academy Science Letters*, 28(1/2), 21-28. [\[DOI\]](#)
- Di Liberto, M.G., Seimandi, G.M., Fernández, L.N., Ruiz, V.E., Svetaz, L.A., Derita, M.G. (2021). Botanical control of citrus green mold and peach brown rot on fruits assays using a *Persicaria acuminata* phytochemically characterized extract. *Plants*, 10, 425. [\[DOI\]](#)
- Di Liberto, M.G., Stegmayer, M.I., Svetaz, L.A., & Derita, M.G. (2019). Evaluation of Argentinean medicinal plants and isolation of their bioactive compounds as an alternative for the control of postharvest fruits phytopathogenic fungi. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 29, 686-688. [\[DOI\]](#)

- do Prado, A.C., da Silva, H.S., da Silveira, S.M., Barreto, P.L., Vieira, C.R., Maraschin, M., Salvador Ferreira, S.R., & Block, J.M. (2014). Effect of the extraction process on the phenolic compounds profile and the antioxidant and antimicrobial activity of extracts of pecan nut [*Carya illinoensis* (Wangenh) C. Koch] shell. *Industrial Crops and Products*, 52, 552-561. [\[DOI\]](#)
- Domene, M.Á., Gómez, F., Soria, R., Villafuerte, A.B., Miralles, I., & Ortega, R. (2025). Comparative Analysis of Horticultural and Animal Waste Compost: Physicochemical Properties and Impact on Plant Growth. *Agronomy*, 15(3), 516. [\[DOI\]](#)
- Doran, J.W., & Zeiss, M.R. (2000). Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Applied Soil Ecology*, 15(1), 3-11. [\[DOI\]](#)
- Droby, S., & Lichter, A. (2007). Post-harvest *Botrytis* infection: etiology, development and management. En: Elad, Y., Williamson, B., Tudzynski, P., & Delen, N. (eds.), *Botrytis: Biology, pathology and control* (pp. 349-367). Springer, Dordrecht, Países Bajos [\[DOI\]](#)
- Du, Z., Xiao, Y., Qi, X., Liu, Y., Fan, X., & Li, Z. (2018). Peanut-shell biochar and biogas slurry improve soil properties in the North China Plain: a four-year field study. *Scientific Reports*, 8(1), 13724. [\[DOI\]](#)
- Dunford, N.T., Gumus, Z.P., & Gur, C.S. (2022). Chemical composition and antioxidant properties of pecan shell water extracts. *Antioxidants*, 11(6), 1127. [\[DOI\]](#)
- Dung, C.D., Wallace, H.M., Bai, S.H., Ogbourne, S.M., & Trueman, S.J. (2021). Cross-pollination affects fruit colour, acidity, firmness and shelf life of self-compatible strawberry. *PLOS One*, 16(9), e0256964. [\[DOI\]](#)
- Dunn, L.L., Sharma, V., Chapin, T.K., Friedrich, L.M., Larson, C.C., Rodrigues, C., Jay-Russell, M., Schneider, K.R., & Danyluk, M.D. (2022). The prevalence and concentration of *Salmonella enterica* in poultry litter in the southern United States. *PLOS One*, 17(5), e0268231. [\[DOI\]](#)
- Dutta, P., Deb, A., & Majumdar, S. (2016). Optimization of the medium for the production of extracellular amylase by the *Pseudomonas stutzeri* ISL B5 isolated from municipal solid waste. *International Journal of Microbiology*, 2016(1), 4950743. [\[DOI\]](#)
- Duy, H.H., Ngoc, P.T., Anh, L.T., Dao, D.T., Nguyen, D.C., & Than, V.T. (2019). In vitro antifungal efficacy of white radish (*Raphanus sativus* L.) root extract and application as a natural preservative in sponge cake. *Processes*, 7(9), 549. [\[DOI\]](#)
- Ekins, P., Domenech, T., Drummond, P., Bleischwitz, R., Hughes, N., & Lotti, L. (2019). The Circular Economy: What, Why, How and Where, Background paper for an OECD/EC Workshop on 5 July 2019 within the workshop series “Managing environmental and energy transitions for regions and cities”, Paris.
- Elbagory, M., Farrag, D.K., Hashim, A.M., & Omara, A.E. (2021). The combined effect of *Pseudomonas stutzeri* and biochar on the growth dynamics and tolerance of lettuce plants (*Lactuca sativa*) to cadmium stress. *Horticulturae*, 7(11), 430. [\[DOI\]](#)

- El-Gizawy, E., Shalaby, G., & Mahmoud, E. (2014). Effects of tea plant compost and mineral nitrogen levels on yield and quality of sugar beet crop. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 45(9), 1181-1194. [\[DOI\]](#)
- Elikara, A. U., Popescu, G.C., Demirel, S., Sümbül, A., Yaman, M., Demirel, F., Say, A., & Güneş, A. (2024). Effect of rhizobacteria application on nutrient content, bioactive compounds, antioxidant activity, color properties and fruit characteristics of strawberry cultivars. *Processes*, 12(10), 2242. [\[DOI\]](#)
- El-Naggar, A.G., Hedley, C.B., Roudier, P., Horne, D., & Clothier, B.E. (2021). Imaging the electrical conductivity of the soil profile and its relationships to soil water patterns and drainage characteristics. *Precision Agriculture*, 22(4), 1045-1066. [\[DOI\]](#)
- Elshaer, A., Imara, D., Soliman, M., Khafagi, E., El-Nahas, S. (2019). Potential antifungal activity of two plant extracts and jojoba oil against fungi causing strawberry crown and root-rots. *Egyptian Journal of Phytopathology*, 47(2), 121-140. [\[DOI\]](#)
- Embaby, M.A., Elsakhawy, T., Abd-Elfatah, S.I., & Yli-Mattila, T. (2024). Biological control of grey mould in strawberry fruits by soil Rhizosphere bacterial isolates. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 57(10), 758-775. [\[DOI\]](#)
- [EnBio: http://www.enbio.com.ar/](http://www.enbio.com.ar/)
- Esitken, A., Yildiz, H.E., Ercisli, S., Donmez, M.F., Turan, M., & Gunes, A. (2010). Effects of plant growth promoting bacteria (PGPB) on yield, growth and nutrient contents of organically grown strawberry. *Scientia Horticulturae*, 124(1), 62-66. [\[DOI\]](#)
- Esparza, I., Jiménez-Moreno, N., Bimbela, F., Ancín-Azpilicueta, C., & Gandía, L.M. (2020). Fruit and vegetable waste management: Conventional and emerging approaches. *Journal of Environmental Management*, 265, 110510. [\[DOI\]](#)
- Espino, J.J., Gutiérrez-Sánchez, G., Brito, N., Shah, P., Orlando, R., & González, C. (2010). The *Botrytis cinerea* early secretome. *Proteomics*, 10(16), 3020-3034. [\[DOI\]](#)
- Essén, S.A., Johnsson, A., Bylund, D., Pedersen, K., & Lundström, U.S. (2007). Siderophore production by *Pseudomonas stutzeri* under aerobic and anaerobic conditions. *Applied and Environmental Microbiology*, 73(18), 5857-5864. [\[DOI\]](#)
- Eudoxie, G., & Martin, M. (2019). Compost tea quality and fertility. En: Larramendy, M., & Soloneski, S. (eds.), *Organic fertilizers-history, production and applications* (pp. 79-104). IntechOpen, Londres, Reino Unido. [\[DOI\]](#)
- Fadiji, A.E., Adeniji, A., Lanrewaju, A.A., & Babalola, O.O. (2025). Dynamics of soil microbiome and allelochemical interactions: an overview of current knowledge and prospects. *Annals of Microbiology*, 75(1), 21. [\[DOI\]](#)
- Fall, D., Bakhoun, N., Fall, F., Diouf, F., Ndiaye, C., Faye, M. N., Hoher, V., & Diouf, D. (2018). Effect of peanut shells amendment on soil properties and growth of seedlings of *Senegalia senegal*

- (L.) Britton, *Vachellia seyal* (Delile) P. Hurter, and *Prosopis juliflora* (Swartz) DC in salt-affected soils. *Annals of Forest Science*, 75(1), 32. [\[DOI\]](#)
- Falodun, O.I., & Musa, I.B. (2020). *Pseudomonas* species from cattle dung producing extended spectrum and metallo beta-lactamases. *European Journal of Biological Research*, 10(1), 1-10. [\[DOI\]](#)
- Famiani, F., Battistelli, A., Moscatello, S., Cruz-Castillo, J.G., & Walker, R.P. (2015). The organic acids that are accumulated in the flesh of fruits: occurrence, metabolism and factors affecting their contents-a review. *Revista Chapingo. Serie Horticultura*, 21(2), 97-128. [\[DOI\]](#)
- Fan, L., Liu, S., Dai, H., Yuan, L., Yang, Z., & Jiao, X. A. (2024). Genotype-phenotype evaluation of the heterogeneity in biofilm formation by diverse *Bacillus licheniformis* strains isolated from dairy products. *International Journal of Food Microbiology*, 416, 110660. [\[DOI\]](#)
- FAO: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>.
- Farghly, K.A., Gomah, H.H., Ahmed, M.M., Abdalla, R.M., Eissa, M.A. (2020). Corn wastes and peanut shell as growing media for production of red radish plants in soilless system. *Communications in Soil Science Plant Analysis*, 51(13), 1799-1810. [\[DOI\]](#)
- Fariña, P.R., Roani, R., Mazero, H.M., Prado, L.L., Nadolny, G.K., Santos, J.B., & Auler, A.C. (2025). Accuracy assessment of bulk density measurement methods across different soil management practices: sample volume-and paraffin temperature-related errors. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 47, e69343. [\[DOI\]](#)
- Farr, D.F., & Rossman, A.Y. (2012). *Fungal Databases, Systematic Mycology and Microbiology Laboratory, ARS, USDA*.
- Fernandez, L.N., Maumary, R.L., Seimandi, G.M., Pernuzzi, C., Derita, M.G., & Favaro, M.A. (2024). First report of anthracnose caused by *Colletotrichum nymphaeae* on strawberry fruits in central Argentina. *Plant Disease*, 108(1), 221. [\[DOI\]](#)
- Flores-Estrada, R.A., Gámez-Meza, N., Medina-Juárez, L.A., Castellón-Campaña, L.G., Molina-Domínguez, C. C., Rascón-Valenzuela, L.A., & García-Galaz, A. (2020). Chemical composition, antioxidant, antimicrobial and antiproliferative activities of wastes from pecan nut [*Carya illinoensis* (Wagenh) K. Koch]. *Waste and Biomass Valorization*, 11, 3419-3432. [\[DOI\]](#)
- Freeman, S., Katan, T., & Shabi, E. (1998). Characterization of *Colletotrichum* species responsible for anthracnose diseases of various fruits. *Plant Disease*, 82(6), 596-605. [\[DOI\]](#)
- Gao, A.X., Xiao, J., Xia, T.C., Dong, T.T., & Tsim, K.W. (2022). The extract of peanut shell enhances neurite outgrowth of neuronal cells: Recycling of agricultural waste for development of nutraceutical products. *Journal of Functional Foods*, 91, 105023. [\[DOI\]](#)
- Gao, P., Qin, J., Li, D., & Zhou, S. (2018). Inhibitory effect and possible mechanism of a *Pseudomonas* strain QBA5 against gray mold on tomato leaves and fruits caused by *Botrytis cinerea*. *PLOS One*, 13(1), e0190932. [\[DOI\]](#)

- García, J.A., Probanza, A., Ramos, B., Palomino, M., & Mañero, F.J. (2004). Effect of inoculation of *Bacillus licheniformis* on tomato and pepper. *Agronomie*, 24(4), 169-176. [\[DOI\]](#)
- García, O.G., Alcántar, R., Cabrera, F., Gavi, R., & Volke, H. (2001). Evaluación de sustratos para la producción de *Epipremnum aureum* y *Spathiphyllum wallisii* cultivadas en maceta. *Terra*, 19(3): 249-258. [\[DOI\]](#)
- Garrido, C.F., González-Rodríguez, V.E., Carbú, M., Husaini, A.M., & Cantoral, J.M. (2016). Fungal diseases of strawberry and their diagnosis. En: Husaini, A.M., & Neri, D. (eds.), *Strawberry: Growth, development and diseases* (pp. 157-195). CABI, Wallingford, Estados Unidos. [\[DOI\]](#)
- Garrido, C.F., Cepeda, S.M., Hernández, C.F., Ochoa, F.Y., Cerna, C.E., Morales, A.D. (2014) Efectividad biológica de extractos de *Carya illinoensis*, para el control de *Meloidogyne incognita*. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5, 1317-1323. [\[DOI\]](#)
- Gastaldi, B., Catalan, C.A., Silva Sofrás, F., & González, S.B. (2018). *Solidago chilensis* Meyen (Asteraceae), a medicinal plant from South America. A comprehensive review: ethnomedicinal uses, phytochemistry and bioactivity. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 17(1), 17-29. [\[DOI\]](#)
- Gavrilescu, M. (2021). Water, soil, and plants interactions in a threatened environment. *Water*, 13(19), 2746. [\[DOI\]](#)
- Geries, L.S., & Elsadany, A.Y. (2021). Maximizing growth and productivity of onion (*Allium cepa* L.) by *Spirulina platensis* extract and nitrogen-fixing endophyte *Pseudomonas stutzeri*. *Archives of Microbiology*, 203(1), 169-181. [\[DOI\]](#)
- Ghoreishi, G., Barrena, R., & Font, X. (2023). Using green waste as substrate to produce biostimulant and biopesticide products through solid-state fermentation. *Waste Management*, 159, 84-92. [\[DOI\]](#)
- Giampieri, F., Tulipani, S., Alvarez-Suarez, J.M., Quiles, J.L., Mezzetti, B., & Battino, M. (2012). The strawberry: Composition, nutritional quality, and impact on human health. *Nutrition*, 28(1), 9-19. [\[DOI\]](#)
- Gil, S.P., Reyna, M.E., Seisdodos, L., Argüello, I.P. (2017). Reproducción de *Solidago chilensis*, asterácea autóctona apta para jardinería de bajo mantenimiento. *Phyton*, 86, 340-344. [\[DOI\]](#)
- Gomes, A., Furtado, G.D., & Cunha, R.L. (2018a). Bioaccessibility of lipophilic compounds vehiculated in emulsions: Choice of lipids and emulsifiers. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 67(1), 13-18. [\[DOI\]](#)
- Gomes, D.B., Zanchet, B., Locateli, G., Benvenuti, R.C., Vechia, C.A., Schönell, A.P., Diel, K.A., Zilli, G.L., Miorando, D., Ernetti, J., Oliverira, B., Zanotelli, P., Santos, M.F., Barisson, A., Banzato, T.P., Ruiz, A.L., Carvalho, J.E., Filho, V.C., García, P.A., San Feliciano, A., & Roman Junior, W. A. (2018b). Antiproliferative potential of solidagenone isolated of *Solidago chilensis*. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 28, 703-709. [\[DOI\]](#)

- González-Hernández, A.I., Gómez-Sánchez, M.Á., Pérez-Sánchez, R., & Morales-Corts, M.R. (2023). Garden waste compost tea: A horticultural alternative to promote plant growth and root traits in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plants. *Horticulturae*, 9(10), 1127. [\[DOI\]](#)
- Gorliczay, E., Boczonádi, I., Kiss, N.É., Tóth, F.A., Pabar, S.A., Biró, B., Kovács, L.R., & Tamás, J. (2021). Microbiological effectivity evaluation of new poultry farming organic waste recycling. *Agriculture*, 11(7), 683. [\[DOI\]](#)
- Goswami, D., Dhandhukia, P., Patel, P., & Thakker, J.N. (2014). Screening of PGPR from saline desert of Kutch: growth promotion in *Arachis hypogea* by *Bacillus licheniformis* A2. *Microbiological Research*, 169(1), 66-75. [\[DOI\]](#)
- Guan, J., Zeng, K., & Chen, Z. (2023). Postharvest disease management in fruits and vegetables: recent advances and mechanisms. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1203010. [\[DOI\]](#)
- Gunasekaran, V.V., Ranjani, S., & Hemalatha, S. (2025). Sustainable and eco-friendly silver nanoparticles synthesized from *Arachis hypogaea* nutshell extract to control phytopathogens. *Environmental Sciences Europe*, 37(1), 1-14. [\[DOI\]](#)
- Guo, X.X., Liu, H.T., & Wu, S.B. (2019). Humic substances developed during organic waste composting: Formation mechanisms, structural properties, and agronomic functions. *Science of the Total Environment*, 662, 501-510. [\[DOI\]](#)
- Gupta, R.K., & Abrol, I.P. (2008). Salt Leaching. En: Chesworth, W. (ed.), *Encyclopedia of Soil Science*. Springer, Dordrecht, Países Bajos.
- Gutiérrez, H.F., Seimandi, G.M., Getar, M.P., & Olivella, L. (2022). *Árboles urbanos de la ciudad de Santa Fe*. Ediciones UNL, Santa Fe, Argentina.
- Guttridge, C.G. (2019). *Fragaria* × *ananassa*. En: Halevy, A.H. (ed.), *Handbook of flowering* (16-33). CRC Press, Florida, Estados Unidos.
- Hao, X., & Benke, M.B. (2008). Nitrogen transformation and losses during composting and mitigation strategies. *Dynamic Soil, Dynamic Plant*, 2(1), 10-18. [\[DOI\]](#)
- Hargreaves, J.C., Adl, M.S., & Warman, P.R. (2009). Are compost teas an effective nutrient amendment in the cultivation of strawberries? Soil and plant tissue effects. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 89(3), 390-397. [\[DOI\]](#)
- Hashem, A., Tabassum, B., & Abd_Allah, E.F. (2019). *Bacillus subtilis*: A plant-growth promoting rhizobacterium that also impacts biotic stress. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 26(6), 1291-1297. [\[DOI\]](#)
- Hashim, A.F., Youssef, K., & Abd-Elsalam, K.A. (2019). Ecofriendly nanomaterials for controlling gray mold of table grapes and maintaining postharvest quality. *European Journal of Plant Pathology*, 154, 377-388. [\[DOI\]](#)
- Hassan, H., Mohamed, M.T., Yusoff, S.F., Hata, E.M., & Tajidin, N.E. (2021). Selecting antagonistic yeast for postharvest biocontrol of *Colletotrichum gloeosporioides* in papaya fruit and possible mechanisms involved. *Agronomy*, 11(4), 760. [\[DOI\]](#)

- He, H., Yu, Q., Ding, Z., Zhang, L., Shi, G., & Li, Y. (2023). Biotechnological and food synthetic biology potential of platform strain: *Bacillus licheniformis*. *Synthetic and Systems Biotechnology*, 8(2), 281-291. [\[DOI\]](#)
- Hernández, T., Chocano, C., Moreno, J.L., & García, C. (2016). Use of compost as an alternative to conventional inorganic fertilizers in intensive lettuce (*Lactuca sativa* L.) crops—Effects on soil and plant. *Soil and Tillage Research*, 160, 14-22. [\[DOI\]](#)
- Hernández-Castillo, F.D., Castillo-Reyes, F., Gallegos-Morales, G., Rodríguez-Herrera, R., & Aguilar-González, C.N. (2010). *Lippia graveolens* and *Carya illinoensis* organic extracts and there in vitro effect against *Rhizoctonia Solani* Kuhn. *American Journal of Agricultural and Biological Science*, 5:380-384. [\[DOI\]](#)
- Hernández-Montoya, V., Mendoza-Castillo, D.I., Bonilla-Petriciolet, A., Montes-Morán, M.A., & Pérez-Cruz, M.A. (2011). Role of the pericarp of *Carya illinoensis* as biosorbent and as precursor of activated carbon for the removal of lead and acid blue 25 in aqueous solutions. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 92(1), 143-151. [\[DOI\]](#)
- Hernández-Sánchez, L.Y., González-Trujano, M.E., Moreno, D.A., Vibrans, H., Castillo-Juárez, I., Dorazco-González, A., & Soto-Hernández, M. (2023). Pharmacological evaluation of the anxiolytic-like effects of an aqueous extract of the *Raphanus sativus* L. sprouts in mice. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 162, 114579. [\[DOI\]](#)
- Hirzel, J., & Morales, C.G. (2017). Fertilización. En: Morales, C.G (ed.), *Manual de manejo agronómico de la frutilla*. Boletín N° 17, Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Chile.
- Ho, K.K., Ferruzzi, M.G., & Wightman, J.D. (2020). Potential health benefits of (poly) phenols derived from fruit and 100% fruit juice. *Nutrition Reviews*, 78(2), 145-174. [\[DOI\]](#)
- Ho, T.T., Le, T.H., Tran, C.S., Nguyen, P.T., Vo, T.D., Thai, V.N., & Bui, X.T. (2022). Compost to improve sustainable soil cultivation and crop productivity. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 6, 100211. [\[DOI\]](#)
- Hodges, R.J., Buzby, J.C., & Bennett, B. (2011). Postharvest losses and waste in developed and less developed countries: opportunities to improve resource use. *The Journal of Agricultural Sciences*, 149, 37-45. [\[DOI\]](#)
- Hopkins, B., & Ellsworth, J. (2005). Phosphorus availability with alkaline/calcareous soil. *Western nutrient management conference*, 6(3-4), 83-93. Idaho Falls, ID: University of Idaho.
- Hu, M., & Chen, S. (2021). Non-target site mechanisms of fungicide resistance in crop pathogens: A review. *Microorganisms*, 9(3), 502. [\[DOI\]](#)
- Huwasquiche, L., Alejandro, L., Ccori, T., Cántaro-Segura, H., Samaniego, T., Quispe, K., & Solórzano, R. (2024a). *Bacillus subtilis* and *Rhizophagus intraradices* Improve Vegetative Growth, Yield, and Fruit Quality of *Fragaria* × *ananassa* var. San Andreas. *Microorganisms*, 12(9), 1816. [\[DOI\]](#)

- Huwasquiche, L., Ccori, T., Alejandro, L., Cántaro-Segura, H., Samaniego, T., & Solórzano, R. (2024b). Interaction between *Trichoderma* sp., *Pseudomonas putida*, and two organic amendments on the yield and quality of strawberries (*Fragaria x annanasa* cv. San Andreas) in the Huaral region, Peru. *Applied Microbiology*, 4(3), 1110-1123. [\[DOI\]](#)
- Idowu, O.J., Sanogo, S., Brewer, C.E. (2017). Short-term impacts of pecan waste by-products on soil quality in texturally different arid soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 48(15), 1781-1791. [\[DOI\]](#)
- Islam, T., Danishuddin, Tamanna, N.T., Matin, M.N., Barai, H.R., & Haque, M.A. (2024). Resistance mechanisms of plant pathogenic fungi to fungicide, environmental impacts of fungicides, and sustainable solutions. *Plants*, 13(19), 2737. [\[DOI\]](#)
- James, N., Umesh, M., Sarojini, S., Shanmugam, S., Nasif, O., Alharbi, S.A., Lan Chi, N.T., & Brindhadevi, K. (2023). Unravelling the potential plant growth activity of halotolerant *Bacillus licheniformis* NJ04 isolated from soil and its possible use as a green bioinoculant on *Solanum lycopersicum* L. *Environmental Research*, 216, 114620. [\[DOI\]](#)
- Jandaghi, M., Hasandokht, M.R., Abdossi, V., & Moradi, P. (2020). The effect of chicken manure tea and vermicompost on some quantitative and qualitative parameters of seedling and mature greenhouse cucumber. *Journal of Applied Biology & Biotechnology*, 8(1), 33-37. [\[DOI\]](#)
- Javid, A., & Bashir, A. (2015). Radish extracts as natural fungicides for management of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*, the cause of tomato wilt. *Pakistan Journal of Botany*, 47(SI), 321-324. [\[DOI\]](#)
- Jeong, M.H., Lee, Y.S., Cho, J.Y., Ahn, Y.S., Moon, J.H., Hyun, H.N., Cha, G.S., & Kim, K.Y. (2017). Isolation and characterization of metabolites from *Bacillus licheniformis* MH48 with antifungal activity against plant pathogens. *Microbial Pathogenesis*, 110, 645-653. [\[DOI\]](#)
- Jin, Y.S. (2019). Recent advances in natural antifungal flavonoids and their derivatives. *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*, 29(19), 126589. [\[DOI\]](#)
- Jiang, S., Li, J., Wang, Q., Yin, C., Zhan, Y., Yan, Y., Lin, M., & Ke, X. (2022). Maize growth promotion by inoculation with an engineered ammonium-excreting strain of nitrogen-fixing *Pseudomonas stutzeri*. *Microorganisms*, 10(10), 1986. [\[DOI\]](#)
- Jović, M.D., Agatonovic-Kustrin, S., Ristivojević, P.M., Trifković, J.Đ., & Morton, D.W. (2023). Bioassay-guided assessment of antioxidative, anti-inflammatory and antimicrobial activities of extracts from medicinal plants via high-performance thin-layer chromatography. *Molecules*, 28(21), 7346. [\[DOI\]](#)
- Karimi, K., Amini, J., Harighi, B., & Bahramnejad, B. (2012). Evaluation of biocontrol potential of *Pseudomonas* and *Bacillus* spp. against fusarium wilt of chickpea. *Australian Journal of Crop Science*, 6(4), 695-703. [\[DOI\]](#)

- Karri, V., & Bharadwaja, K.P. (2013). Tandem combination of *Trigonella foenum-graecum* defensin (Tfgd2) and *Raphanus sativus* antifungal protein (RsAFP2) generates a more potent antifungal protein. *Functional and Integrative Genomics*, 13(4), 435-443. [\[DOI\]](#)
- Kasim, N., Mustari, K., Iswari, I., Padjung, R., & Widiyani, N. (2021). Effect of the application of chicken manure compost tea on the growth of certified cocoa (*Theobroma cacao* L.) seedlings. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 807(4), 042050. [\[DOI\]](#)
- Kaymak, H.C., Ozturk, S., Ercisli, S., & Guvenc, I. (2015). In vitro antibacterial activities of black and white radishes (*Raphanus sativus* L.). *Comptes Rendus de l'Academie Bulgare Des Sciences*, 68, 201-208. [\[DOI\]](#)
- Kazemi, R., Mirmohamadsadeghi, S., & Amiri, H. (2024). Efficient bio-hydrogen production by dark co-fermentation of food-rich municipal solid waste and urban pruning wastes of pine, cypress, and berry. *Process Safety and Environmental Protection*, 187, 398-407. [\[DOI\]](#)
- Ke, X., Feng, S., Wang, J., Lu, W., Zhang, W., Chen, M., & Lin, M. (2019). Effect of inoculation with nitrogen-fixing bacterium *Pseudomonas stutzeri* A1501 on maize plant growth and the microbiome indigenous to the rhizosphere. *Systematic and Applied Microbiology*, 42(2), 248-260. [\[DOI\]](#)
- Kenneth, O.C., Nwadike, E.C., Kalu, A.U., & Unah, U.V. (2019). Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): a novel agent for sustainable food production. *American Journal of Agricultural and Biological Science*, 14(35), 54. [\[DOI\]](#)
- Kerovuo, J., Lauraeus, M., Nurminen, P., Kalkkinen, N., & Apajalahti, J. (1998). Isolation, characterization, molecular gene cloning, and sequencing of a novel phytase from *Bacillus subtilis*. *Applied and Environmental Microbiology*, 64(6), 2079-2085. [\[DOI\]](#)
- Khan, N., Clark, I., Sánchez-Monedero, M.A., Shea, S., Meier, S., & Bolan, N. (2014). Maturity indices in co-composting of chicken manure and sawdust with biochar. *Bioresource Technology*, 168, 245-251. [\[DOI\]](#)
- Kim, H.J., Lee, S.H., Kim, C.S., Lim, E.K., Choi, K.H., Kong, H.G., Kim, D.W., Lee, S.W., & Moon, B.J. (2007). Biological control of strawberry gray mold caused by *Botrytis cinerea* using *Bacillus licheniformis* N1 formulation. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 17(3), 438. [\[DOI\]](#)
- Kim, J., Diao, J., Shepherd Jr, M.W., Singh, R., Heringa, S.D., Gong, C., & Jiang, X. (2012). Validating thermal inactivation of *Salmonella* spp. in fresh and aged chicken litter. *Applied and Environmental Microbiology*, 78(4), 1302-1307. [\[DOI\]](#)
- Kim, K.H., Moon, E., Lee, S.R., Park, K.J., Kim, S.Y., Choi, S.U., & Lee, K.R. (2015). Chemical constituents of the seeds of *Raphanus sativus* and their biological activity. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 26, 2307-2312. [\[DOI\]](#)
- Kim, M., Jung, J. M., Jung, S., Kim, J., Bhatnagar, A., Tsang, Y. F., Lin, K.A., & Kwon, E. E. (2022a). Biochar as a catalyst in the production of syngas and biodiesel from peanut waste. *International Journal of Energy Research*, 46(13), 19287-19299. [\[DOI\]](#)

- Kim, M., Lee, D.J., Jung, S., Chang, S.X., Lin, K.Y., Bhatnagar, A., Kwon, E.E., & Tsang, Y.F. (2022b). Valorization of peanut wastes into a catalyst in production of biodiesel. *International Journal of Energy Research*, 46(2), 1299-1312. [\[DOI\]](#)
- Kirschenmann, F. (2010). Alternative agriculture in an energy-and resource-depleting future. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 25(2), 85-89. [\[DOI\]](#)
- Klein, B.P., & Perry, A.K. (1982). Ascorbic acid and vitamin A activity in selected vegetables from different geographical areas of the United States. *Journal of Food Science*, 47, 941–945. [\[DOI\]](#)
- Kong, C.H., Li, Z., Li, F.L., Xia, X.X., & Wang, P. (2024). Chemically mediated plant–plant interactions: Allelopathy and allelobiosis. *Plants*, 13(5), 626. [\[DOI\]](#)
- Kong, H.G., Kim, J.C., Choi, G.J., Lee, K.Y., Kim, H.J., Hwang, E.C., Moon, B.J., & Lee, S.W. (2010). Production of surfactin and iturin by *Bacillus licheniformis* N1 responsible for plant disease control activity. *The Plant Pathology Journal*, 26(2), 170-177. [\[DOI\]](#)
- Koul, B., Yakoob, M., & Shah, M.P. (2022). Agricultural waste management strategies for environmental sustainability. *Environmental Research*, 206, 112285. [\[DOI\]](#)
- Kour, D.O., Rana, K.L., Tanvir, K.A., Yadav, N., Yadav, A.N., Kumar, M., Dhaliwal, H.S., & Saxena, A.K. (2021). Biodiversity, current developments and potential biotechnological applications of phosphorus-solubilizing and-mobilizing microbes: a review. *Pedosphere*, 31(1), 43-75. [\[DOI\]](#)
- Kumar, N., Singh, H.K., & Mishra, P.K. (2015). Impact of organic manures and biofertilizers on growth and quality parameters of strawberry cv. Chandler. *Indian Journal of Science and Technology*, 8(15), 1-6. [\[DOI\]](#)
- Kureck, I., Policarpi, P.D., Toaldo, I.M., Maciel, M.V., Bordignon-Luiz, M.T., Barreto, P.L., & Block, J.M. (2018). Chemical characterization and release of polyphenols from pecan nut shell [*Carya illinoensis* (Wangenh) C. Koch] in zein microparticles for bioactive applications. *Plant Foods for Human Nutrition*, 73, 137-145. [\[DOI\]](#)
- Kwon, J.H., Won, S.J., Moon, J.H., Lee, U., Park, Y.S., Maung, C.E., Ajuna, H.B., & Ahn, Y.S. (2021). *Bacillus licheniformis* PR2 controls fungal diseases and increases production of jujube fruit under field conditions. *Horticulturae*, 7(3), 49. [\[DOI\]](#)
- Kyei, S.K., Akaranta, O., & Darko, G. (2020). Synthesis, characterization and antimicrobial activity of peanut skin extract-azo-compounds. *Scientific African*, 8, e00406. [\[DOI\]](#)
- Lackner, M., & Besharati, M. (2025). Agricultural waste: challenges and solutions, a review. *Waste*, 3(2), 18. [\[DOI\]](#)
- Lahitte, H.B., Hurrell, J.A., Belgrano, M.J., Jankowski, L.S., Haloua, M.P., & Mehlreter, K. (1998). *Plantas medicinales rioplatenses: plantas nativas y naturalizadas utilizadas en medicina popular en la región del Delta del Paraná, Isla Martín García y Ribera Platense*. L.O.L.A, Argentina.
- Lakhdar, A., Rabhi, M., Ghnaya, T., Montemurro, F., Jedidi, N., & Abdelly, C. (2009). Effectiveness of compost use in salt-affected soil. *Journal of Hazardous Materials*, 171(1-3), 29-37. [\[DOI\]](#)

- Lallana, V.H. (2005). Lista de malezas del cultivo de arroz en Entre Ríos, Argentina. *Revista Ecosistemas*, 14(2), 162-167. [\[DOI\]](#)
- Lalucat, J., Bennasar, A., Bosch, R., García-Valdés, E., & Palleroni, N.J. (2006). Biology of *Pseudomonas stutzeri*. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 70(2), 510-547. [\[DOI\]](#)
- Lami, M.J., Adler, C., Caram-Di Santo, M.C., Zenoff, A.M., de Cristobal, R.E., Espinosa-Urgel, M., & Vincent, P.A. (2020). *Pseudomonas stutzeri* MJL19, a rhizosphere-colonizing bacterium that promotes plant growth under saline stress. *Journal of Applied Microbiology*, 129(5), 1321-1336. [\[DOI\]](#)
- Lane, D., Shah, J., Buharin, A., Weisburg, W.G. 1995. Universal eubacteria nucleic acid probes and assay methods. U.S. Patent No. 5,401,631. *Biotechnology Advances*, 13(3), 595. [\[DOI\]](#)
- Lazo, P., Lazo, A., Hansen, H.K., Ortiz-Soto, R., Hansen, M.E., Arévalo, F., & Gutiérrez, C. (2023). Removal of heavy metals from mine tailings in central Chile using *Solidago chilensis* Meyen, *Haplopappus foliosus* DC, and *Lycium chilense* Miers ex Bertero. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(3), 2749. [\[DOI\]](#)
- Lazo, P., Lazo, A. (2020). Assessment of native and endemic Chilean plants for removal of Cu, Mo and Pb from mine tailings. *Minerals*, 10(11), 1020. [\[DOI\]](#)
- Lee, J.P., Lee, S.W., Kim, C.S., Son, J.H., Song, J.H., Lee, K.Y., Kim, H.J., Jung, S.J., & Moon, B.J. (2006). Evaluation of formulations of *Bacillus licheniformis* for the biological control of tomato gray mold caused by *Botrytis cinerea*. *Biological Control*, 37(3), 329-337. [\[DOI\]](#)
- Lee, S.H., Oh, Y.T., Lee, D.Y., Cho, E., Hwang, B.S., & Jeon, J. (2022). Large-scale screening of the plant extracts for antifungal activity against the plant pathogenic fungi. *The Plant Pathology Journal*, 38(6), 685. [\[DOI\]](#)
- Lee, Y., Robbins, N., & Cowen, L.E. (2023). Molecular mechanisms governing antifungal drug resistance. *npj Antimicrobials and Resistance*, 1(1), 5. [\[DOI\]](#)
- Leyva, S.L., Baldoquín, A., & Reyes, M. (2018). Propiedades de los suelos en diferentes usos agropecuarios, Las Tunas, Cuba. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 35(1), 36-47. [\[DOI\]](#)
- Li, Q., Yang, X., Li, J., Li, M., Li, C., & Yao, T. (2023). In-depth characterization of phytase-producing plant growth promotion bacteria isolated in alpine grassland of Qinghai-Tibetan Plateau. *Frontiers in Microbiology*, 13, 1019383. [\[DOI\]](#)
- Li, Q., Zhang, D., Song, Z., Ren, L., Jin, X., Fang, W., Yan, D., Li, Y., Wang, Q., & Cao, A. (2022). Organic fertilizer activates soil beneficial microorganisms to promote strawberry growth and soil health after fumigation. *Environmental Pollution*, 295, 118653. [\[DOI\]](#)
- Li, Y., Yang, T., Lin, X., Huang, J., Zeng, J., Cai, Q., Zhang, Y., Rong, J., Yu, W., Qiu, J., Pang, Y., & Zhou, J. (2024). Isolation, identification, and optimization of conditions for the degradation of four sulfonamide antibiotics and their metabolic pathways in *Pseudomonas stutzeri* strain DLY-21. *Heliyon*, 10(7), e29123. [\[DOI\]](#)

- Liu, B., Cai, Z., Zhang, Y., Liu, G., Luo, X., Zheng, H. (2019). Comparison of efficacies of peanut shell biochar and biochar-based compost on two leafy vegetable productivity in an infertile land. *Chemosphere*, 224, 151-161. [\[DOI\]](#)
- Liu, L., Li, X., Li, T., Xie, Y., Cao, Z., & Fang, P. (2022). Bio-organic fertilizer with *Bacillus subtilis* F2 promotes strawberry plant growth and changes rhizosphere microbial community. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 22(3), 3045-3055. [\[DOI\]](#)
- Liu, Z., Jia, M., Li, Q., Lu, S., Zhou, D., Feng, L., Hou, Z., & Yu, J. (2023). Comparative analysis of the properties of biochars produced from different pecan feedstocks and pyrolysis temperatures. *Industrial Crops and Products*, 197, 116638. [\[DOI\]](#)
- Loera-Muro, A., & Caamal-Chan, M.G. (2023). Biopelículas en la rizósfera y su papel en la producción de compuestos antimicrobiales en el suelo. *Terra Latinoamericana*, 41, e1733. [\[DOI\]](#)
- Lujan, P., Dura, S., Guzman, I., Grace, M., Lila, M.A., Steiner, R., & Sanogo, S. (2021). Efficacy of pecan husk and shell phenolic extracts against *Phytophthora blight* in chile pepper. *Plant Health Progress*, 22(3), 342-347. [\[DOI\]](#)
- Luo, T., Min, T., Ru, S., & Li, J. (2022). Response of cotton root growth and rhizosphere soil bacterial communities to the application of acid compost tea in calcareous soil. *Applied Soil Ecology*, 177, 104523. [\[DOI\]](#)
- Ma, Y., Zhang, Q.L., Yun, L.I., Zhang, L.W., Min, L.I., & Wei, L.U. (2016). Identification of the nitrogen-fixing *Pseudomonas stutzeri* major flagellar gene regulator FleQ and its role in biofilm formation and root colonization. *Journal of Integrative Agriculture*, 15(2), 339-348. [\[DOI\]](#)
- Ma, Y., Li, Y.X., Chang, Z.Z., Xu, Y.D., & Zhang, J.Y. (2010). Biological characteristics of organic liquid fertilizer and its control effect on soil-borne diseases of cucumber and strawberry. *Soil and Fertilizer Sciences in China*, 5, 71-76. [\[DOI\]](#)
- Macias-Corral, M.A., Cueto-Wong, J.A., Morán-Martínez, J., & Reynoso-Cuevas, L. (2019). Effect of different initial C/N ratio of cow manure and straw on microbial quality of compost. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 8(1), 357-365. [\[DOI\]](#)
- Magaldi, S., Mata-Essayag, S., De Capriles, C.H., Pérez, C., Colella, M.T., Olaizola, C., & Ontiveros, Y. (2004). Well diffusion for antifungal susceptibility testing. *International Journal of Infectious Diseases*, 8(1), 39-45. [\[DOI\]](#)
- Mahajan, S.G., Nandre, V.S., Kodam, K.M., & Kulkarni, M.V. (2021). Desferrioxamine E produced by an indigenous salt tolerant *Pseudomonas stutzeri* stimulates iron uptake of *Triticum aestivum* L. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 35, 102057. [\[DOI\]](#)
- Mahajan, S.G., Nandre, V. S., Salunkhe, R.C., Shouche, Y.S., & Kulkarni, M. V. (2020). Chemotaxis and physiological adaptation of an indigenous abiotic stress tolerant plant growth promoting *Pseudomonas stutzeri*: Amelioration of salt stress to *Cicer arietinum*. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 27, 101652. [\[DOI\]](#)

- Mahdi, I., Fahsi, N., Hafidi, M., Allaoui, A., & Biskri, L. (2020). Plant growth enhancement using rhizospheric halotolerant phosphate solubilizing bacterium *Bacillus licheniformis* QA1 and *Enterobacter asburiae* QF11 isolated from *Chenopodium quinoa* willd. *Microorganisms*, 8(6), 948. [\[DOI\]](#)
- Mamarasulov, B., Davranov, K., Umruzaqov, A., Ercisli, S., Alharbi, S.A., Ansari, M.J., Krivosudská, E., Datta, R., & Jabborova, D. (2023). Evaluation of the antimicrobial and antifungal activity of endophytic bacterial crude extracts from medicinal plant *Ajuga turkestanica* (Rgl.) Brig (Lamiaceae). *Journal of King Saud University-Science*, 35(4), 102644. [\[DOI\]](#)
- Manivannan, A., Kim, J.H., Kim, D.S., Lee, E.S., & Lee, H.E. (2019). Deciphering the nutraceutical potential of *Raphanus sativus*-A comprehensive overview. *Nutrients*, 11(2), 402. [\[DOI\]](#)
- Martinez, J.A. (2012). Natural Fungicides Obtained from Plants. En: Dhanasekaran, D. (ed.), *Fungicides for Plant and Animal Diseases* (pp. 1-28). InTech Open, Londres, Reino Unido [\[DOI\]](#)
- Matrose, N.A., Obikeze, K., Belay, Z.A., & Caleb, O. J. (2021). Plant extracts and other natural compounds as alternatives for post-harvest management of fruit fungal pathogens: A review. *Food Bioscience*, 41, 100840. [\[DOI\]](#)
- Medison, R.G., Jiang, J., Medison, M.B., Tan, L.T., Kayange, C.D., Sun, Z., & Zhou, Y. (2023). Evaluating the potential of *Bacillus licheniformis* YZCUO202005 isolated from lichens in maize growth promotion and biocontrol. *Heliyon*, 9(10), e20204. [\[DOI\]](#)
- Mehdizadeh, M., Darbandi, E.I., Naseri-Rad, H., & Tobeh, A. (2013). Growth and yield of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) as influenced by different organic fertilizers. *International Journal of Agronomy and Plant Production*, 4(4), 734-738. [\[DOI\]](#)
- Mei, C., Amaradasa, B.S., Chretien, R.L., Liu, D., Snead, G., Samtani, J.B., & Lowman, S. (2021). A potential application of endophytic bacteria in strawberry production. *Horticulturae*, 7(11), 504. [\[DOI\]](#)
- Meng, W., Shi, J., Zhang, X., Lian, H., Wang, Q., & Peng, Y. (2020). Effects of peanut shell and skin extracts on the antioxidant ability, physical and structure properties of starch-chitosan active packaging films. *International Journal of Biological Macromolecules*, 152, 137-146. [\[DOI\]](#)
- Mercandeli, A.A., Bessa, G.P., Ronchi, S.N., Segato, T.P., & da Silva, A.G. (2012). Evidence for the safe use of the extract from the Brazilian arnica, *Solidago chilensis* Meyen, in primary health care. *Chinese Medicine*, 3, 4-8. [\[DOI\]](#)
- Mfon, E.I. (2024). Microbial biotechnology: application of bacteria in various industrial processes and environment remediation. *International Journal of Development Sustainability and Environmental Management*, 4(1), 25-33. [\[DOI\]](#)
- Miller, N.J., Rice-Evans, C., Davies, M.J., Gopinathan, V., & Milner, A. (1993). A novel method for measuring antioxidant capacity and its application to monitoring the antioxidant status in premature neonates. *Clinical Science*, 84, 407-412. [\[DOI\]](#)

- Ministerio de Economía Argentina. (2023). Producción de frutilla en Argentina. Secretaria de Agricultura, Ganadería y Pesca. [\[Enlace de informe\]](#)
- Ministerio de Economía Argentina. (2024). Informe síntesis: Economía Regional – Frutillas. Informe de la Secretaria de Bioeconomía del Ministerio de Economía Argentina. [\[Enlace de informe\]](#)
- Moccia, F., Agustin-Salazar, S., Berg, A. L., Setaro, B., Micillo, R., Pizzo, E., Weber, F., Gamez-Meza, N., Schieber, A., Cerruti, P., Panzella, L., & Napolitano, A. (2020). Pecan (*Carya illinoensis* (Wagenh.) K. Koch) nut shell as an accessible polyphenol source for active packaging and food colorant stabilization. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 8(17), 6700-6712. [\[DOI\]](#)
- Mohamed, F., & Gabr, S.M. (2002). Effects of organic manure and chemical fertilization on the growth, yield and quality characteristics of strawberries. *Journal of Plant Production*, 27(1), 561-572. [\[DOI\]](#)
- Mohammadi Torkashvand, A., Alidoust, M., & Mahboub Khomami, A. (2015). The reuse of peanut organic wastes as a growth medium for ornamental plants. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 4, 85-94. [\[DOI\]](#)
- Mohammed, S.B., Dzidzienyo, D.K., Yahaya, A., Umar, M.L., Ishiyaku, M.F., Tongoona, P.B., & Gracen, V. (2021). High soil phosphorus application significantly increased grain yield, phosphorus content but not zinc content of cowpea grains. *Agronomy*, 11, 802. [\[DOI\]](#)
- Mohanty, P., Singh, P.K., Chakraborty, D., Mishra, S., & Pattnaik, R. (2021). Insight into the role of PGPR in sustainable agriculture and environment. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, 667150. [\[DOI\]](#)
- Mohd Zaini, N.A., Azizan, N.A., Abd Rahim, M.H., Jamaludin, A.A., Raposo, A., Raseetha, S., Zandonadi, R.P., BinMowyna, M.N., Raheem, D., Lho, L.H., Han, H., & Wan-Mohtar, W.A. (2023). A narrative action on the battle against hunger using mushroom, peanut, and soybean-based wastes. *Frontiers in Public Health*, 11, 1175509. [\[DOI\]](#)
- Molina, N.A. (2020). Tendencia, ciclo y estacionalidad de la frutilla (*Fragaria ananassa*) en el mercado de concentración de Corrientes. *Revista de la Facultad de Ciencias Económicas UNNE*, 24(1), 191-215. [\[DOI\]](#)
- Moon, J.H., Won, S.J., Choub, V., Choi, S.I., Yun, J.Y., Ajuna, H.B., & Ahn, Y.S. (2025). Biological control of anthracnose (*Colletotrichum gloeosporioides*) and high-quality walnut production in walnut (*Juglans regia* L.) trees by *Bacillus licheniformis* PR2. *Biological Control*, 209, 105871. [\[DOI\]](#)
- Morais, M.C., Mucha, Â., Ferreira, H., Gonçalves, B., Bacelar, E., & Marques, G. (2019). Comparative study of plant growth-promoting bacteria on the physiology, growth and fruit quality of strawberry. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(12), 5341-5349. [\[DOI\]](#)
- Morales-Cedeño, L.R., del Carmen Orozco-Mosqueda, M., Loeza-Lara, P.D., Parra-Cota, F.I., de Los Santos-Villalobos, S., & Santoyo, G. (2021). Plant growth-promoting bacterial endophytes as biocontrol agents of pre-and post-harvest diseases: Fundamentals, methods of application and future perspectives. *Microbiological Research*, 242, 126612. [\[DOI\]](#)

- Morgan, C., Poor, C., Giudice, B., & Bibb, J. (2020). Agricultural byproducts as amendments in bioretention soils for metal and nutrient removal. *Journal of Environmental Engineering*, 146(6), 04020029. [\[DOI\]](#)
- Mueller, B. (2015). Experimental interactions between clay minerals and bacteria: a review. *Pedosphere*, 25(6), 799-810. [\[DOI\]](#)
- Mulet, M., Bennasar, A., Lalucat, J., & García-Valdés, E. (2009). An rpoD-based PCR procedure for the identification of *Pseudomonas* species and for their detection in environmental samples. *Molecular and Cellular Probes*, 23(3-4), 140-147. [\[DOI\]](#)
- Mulet, M., Gomila, M., Gruffaz, C., Meyer, J.M., Palleroni, N.J., Lalucat, J., & García-Valdés, E. (2008). Phylogenetic analysis and siderotyping as useful tools in the taxonomy of *Pseudomonas stutzeri*: description of a novel genomovar. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 58(10), 2309-2315. [\[DOI\]](#)
- Muras, A., Romero, M., Mayer, C., & Otero, A. (2021). Biotechnological applications of *Bacillus licheniformis*. *Critical Reviews in Biotechnology*, 41(4), 609-627. [\[DOI\]](#)
- Murray, A., Skene, K., & Haynes, K. (2017). The circular economy: an interdisciplinary exploration of the concept and application in a global context. *Journal of Business Ethics*, 140(3), 369-380. [\[DOI\]](#)
- Murray, R., Candan, A.P., & Vázquez, D. (2019). *Manual de poscosecha de frutas: manejo integrado de patógenos. 2da Edicion*. INTA Ediciones, Buenos Aires, Argentina.
- Mussa, L.A., Yadetie, D.M., Temesgen, E.A., Tefera, A.T., & Gemed, M.T. (2023). Isolation and in-vitro characterization of extracellular phytase producing bacterial isolates for potential application in poultry feed. *BMC Microbiology*, 23(1), 296. [\[DOI\]](#)
- Muthuraja, R., & Muthukumar, T. (2022). Co-inoculation of halotolerant potassium solubilizing *Bacillus licheniformis* and *Aspergillus violaceofuscus* improves tomato growth and potassium uptake in different soil types under salinity. *Chemosphere*, 294, 133718. [\[DOI\]](#)
- Naing, K.W., Anees, M., Kim, S.J., Nam, Y., Kim, Y.C., & Kim, K.Y. (2014). Characterization of antifungal activity of *Paenibacillus ehimensis* KWN38 against soilborne phytopathogenic fungi belonging to various taxonomic groups. *Annals of Microbiology*, 64(1), 55-63. [\[DOI\]](#)
- Nalluri, N., & Karri, V.R. (2018). Use of groundnut shell compost as a natural fertilizer for the cultivation of vegetable plants. *International Journal of Advance Research in Science and Engineering*, 7(1), 97-104. [\[DOI\]](#)
- Nam, J.H., Thibodeau, A., Qian, Y.L., Qian, M.C., & Park, S.H. (2023). Multidisciplinary evaluation of plant growth promoting rhizobacteria on soil microbiome and strawberry quality. *AMB Express*, 13(18), 1-14. [\[DOI\]](#)
- Nasef, M.A., Shaban, K.A., El-Hamid, A., & Amal, F. (2009). Effect of compost, compost tea and bio-fertilizer application on some chemical soil properties and rice productivity under saline soil condition. *Journal of Agricultural Chemistry and Biotechnology*, 34(4), 2609-2623. [\[DOI\]](#)

- Naveed, T., Ali, S., & Summer, M. (2025). Bioactive compounds in *Raphanus sativus*: mechanisms of apoptosis, anti-angiogenesis, cell cycle arrest and beyond in cancer prevention and treatment. *Medical Oncology*, 42(8), 328. [\[DOI\]](#)
- Nawaz, H.H., Rajaofera, M.N., He, Q., Anam, U., Lin, C., & Miao, W. (2018). Evaluation of antifungal metabolites activity from *Bacillus licheniformis* OE-04 against *Colletotrichum gossypii*. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 146, 33-42. [\[DOI\]](#)
- Naz, I., & Bano, A. (2010). Biochemical, molecular characterization and growth promoting effects of phosphate solubilizing *Pseudomonas* sp. isolated from weeds grown in salt range of Pakistan. *Plant and Soil*, 334(1), 199-207. [\[DOI\]](#)
- Nazir, A., Laila, U.E., Barea, F.E., Hameed, E., & Shafiq, M. (2021). Sustainable management of peanut shell through biochar and its application as soil ameliorant. *Sustainability*, 13(24), 13796. [\[DOI\]](#)
- [NCBI: www.ncbi.nlm.nih.gov](http://www.ncbi.nlm.nih.gov)
- Ngangyo Heya, M., Romo Hernández, A.L., Foroughbakhch Pournavab, R., Ibarra Pintor, L.F., Díaz-Jiménez, L., Heya, M.S., Salas Cruz, L.R., & Carrillo Parra, A. (2022). Physicochemical characteristics of biofuel briquettes made from pecan (*Carya illinoensis*) pericarp wastes of different particle Sizes. *Molecules*, 27(3), 1035. [\[DOI\]](#)
- Ni, S., Wu, Y., Zhu, N., Leng, F., & Wang, Y. (2024). *Bacillus licheniformis* YB06: A Rhizosphere-Genome-Wide analysis and Plant Growth-Promoting Analysis of a Plant Growth-Promoting Rhizobacterium isolated from *Codonopsis pilosula*. *Microorganisms*, 12(9), 1861. [\[DOI\]](#)
- Nikolova, M.T., Yordanov, P., Slavov, S., & Berkov, S. (2017). Antifungal activity of plant extracts against phytopathogenic fungi: Antifungal activity of plant extracts. *Journal of Bioscience and Biotechnology*, 6(2), 155-161. [\[DOI\]](#)
- Novak, J.M., Busscher, W.J., Laird, D.L., Ahmedna, M., Watts, D.W., & Niandou, M.A. (2009). Impact of biochar amendment on fertility of a southeastern coastal plain soil. *Soil Science*, 174(2), 105-112. [\[DOI\]](#)
- Nunes, P.S., De Medeiros, F.H., De Oliveira, T.S., de Almeida Zago, J.R., & Bettiol, W. (2023). *Bacillus subtilis* and *Bacillus licheniformis* promote tomato growth. *Brazilian Journal of Microbiology*, 54(1), 397-406. [\[DOI\]](#)
- O'driscoll, C.M., & Griffin, B.T. (2008). Biopharmaceutical challenges associated with drugs with low aqueous solubility-The potential impact of lipid-based formulations. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 60(6), 617-624. [\[DOI\]](#)
- Omeira, N., Barbour, E.K., Nehme, P.A., Hamadeh, S.K., Zurayk, R., & Bashour, I. (2006). Microbiological and chemical properties of litter from different chicken types and production systems. *Science of the Total Environment*, 367(1), 156-162. [\[DOI\]](#)

- Onajobi, I.B., Samson, O.J., Fagade, O.E., & Ogunjobi, A.A. (2023). Bioaugmentation approach using *Pseudomonas* and *Bacillus* for malodour reduction in poultry fecal waste management. *Microbes, Infection and Chemotherapy*, 3, e1840-e1840. [\[DOI\]](#)
- Orhan, D.D., Özçelik, B., Özgen, S., & Ergun, F. (2010). Antibacterial, antifungal, and antiviral activities of some flavonoids. *Microbiological Research*, 165(6), 496-504. [\[DOI\]](#)
- Osorio, E., Flores, M., Hernández, D., Ventura, J., Rodríguez, R., & Aguilar, C.N. (2010). Biological efficiency of polyphenolic extracts from pecan nuts shell (*Carya Illinoensis*), pomegranate husk (*Punica granatum*) and creosote bush leaves (*Larrea tridentata* Cov.) against plant pathogenic fungi. *Industrial Crops and Products*, 31(1), 153-157. [\[DOI\]](#)
- Oulidi, O., Nakkabi, A., Boukhelifi, F., Fahim, M., Lgaz, H., Alrashdi, A.A., & Elmoualij, N. (2022). Peanut shell from agricultural wastes as a sustainable filler for polyamide biocomposites fabrication. *Journal of King Saud University-Science*, 34(6), 102148. [\[DOI\]](#)
- Ozcariz-Fermoselle, M.V., Fraile-Fabero, R., Girbés-Juan, T., Arce-Cervantes, O., de Rueda-Salgueiro, J.A., & Azul, A.M. (2018). Use of lignocellulosic wastes of pecan (*Carya illinoensis*) in the cultivation of *Ganoderma lucidum*. *Revista Iberoamericana de Micología*, 35(2), 103-109. [\[DOI\]](#)
- Özdemir, N., Öztürk, E., & Ekberli, İ. (2015). Effects of organic and inorganic amendments on soil erodibility. *Eurasian Journal of Soil Science*, 4(4), 266-271. [\[DOI\]](#)
- Palacios-Peralta, C., Ruiz, A., Ercoli, S., Reyes-Díaz, M., Bustamante, M., Muñoz, A., Osorio, P., & Ribera-Fonseca, A. (2023). Plastic covers and potassium pre-harvest sprays and their influence on antioxidant properties, phenolic profile, and organic acids composition of sweet cherry fruits cultivated in Southern Chile. *Plants*, 12(1), 50. [\[DOI\]](#)
- Pandey, R., Vengavasi, K., & Hawkesford, M.J. (2021). Plant adaptation to nutrient stress. *Plant Physiology Reports*, 26(4), 583-586. [\[DOI\]](#)
- Pandey, R., Chavan, P.N., Walokar, N.M., Sharma, N., Tripathi, V., & Khetmalas, M.B. (2013). *Pseudomonas stutzeri* RP1: a versatile plant growth promoting endorhizospheric bacteria inhabiting sunflower (*Helianthus annus*). *Research Journal of Biotechnology*, 8(7), 48-55. [\[DOI\]](#)
- Pane, C., Palese, A.M., Celano, G., & Zaccardelli, M. (2014). Effects of compost tea treatments on productivity of lettuce and kohlrabi systems under organic cropping management. *Italian Journal of Agronomy*, 9(3), 596. [\[DOI\]](#)
- Pang, F., Li, Q., Solanki, M.K., Wang, Z., Xing, Y.X., & Dong, D.F. (2024). Soil phosphorus transformation and plant uptake driven by phosphate-solubilizing microorganisms. *Frontiers in Microbiology*, 15, 1383813. [\[DOI\]](#)
- Pant, A.P., Radovich, T.J., Hue, N.V., & Paull, R.E. (2012). Biochemical properties of compost tea associated with compost quality and effects on pak choi growth. *Scientia Horticulturae*, 148, 138-146. [\[DOI\]](#)

- Pappalettere, L., Bartolini, S., & Toffanin, A. (2024). Auxin-producing bacteria used as microbial biostimulants improve the growth of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) seedlings in hydroponic systems. *BioTech*, 13(3), 32. [\[DOI\]](#)
- Park, J.H., Shin, K.K., & Hwang, C.W. (2001). New antimicrobial activity from Korean radish seeds (*Raphanus sativus* L.). *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 11(2), 337-341. [\[DOI\]](#)
- Pastor, J., & Narciso, J. (1999). Use of growing mediums in the nursery production. *Terra Latinoamericana*, 17(3), 231-35.
- Paulin, B., & O'Malley, P. (2008). Compost production and use in horticulture. Department of Primary Industries and Regional Development, Western Australia, Perth. Bulletin 4746.
- Pernuzzi, C., Sordo, M.H., Travadelo, M., Maina, M., & Acetta, P. (2017). Evaluación de la conveniencia de los macrotúneles en comparación con microtúneles para el cultivo de frutilla en Coronda. *Revista FAVE, Sección Ciencias Agrarias*, 16(1), 163-175. [\[DOI\]](#)
- Petropoulos, S.A., Fernandes, Â., Plexida, S., Pereira, C., Dias, M.I., Calhelha, R., Chrysargyris, A., Tzortzakis N., Petrović, J., Soković, M.D., Ferreira, I.C., & Barros, L. (2020). The sustainable use of cotton, hazelnut and ground peanut waste in vegetable crop production. *Sustainability*, 12(20), 8511. [\[DOI\]](#)
- Piao, J., Che, W., Li, X., Li, X., Zhang, C., Wang, Q., Jin, F., & Hua, S. (2023). Application of peanut shell biochar increases rice yield in saline-alkali paddy fields by regulating leaf ion concentrations and photosynthesis rate. *Plant and Soil*, 483(1), 589-606. [\[DOI\]](#)
- Pilla, N., Tranchida-Lombardo, V., Gabrielli, P., Aguzzi, A., Caputo, M., Lucarini, M., Durazzo, A., & Zaccardelli, M. (2023). Effect of compost tea in horticulture. *Horticulturae*, 9(9), 984. [\[DOI\]](#)
- Plaza, C., Giannetta, B., Fernández, J.M., López-de-Sá, E.G., Polo, A., Gascó, G., Méndez, A., & Zaccone, C. (2016). Response of different soil organic matter pools to biochar and organic fertilizers. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 225, 150-159. [\[DOI\]](#)
- Polyak, Y.M., & Sukcharevich, V.I. (2019). Allelopathic interactions between plants and microorganisms in soil ecosystems. *Biology Bulletin Reviews*, 9(6), 562-574. [\[DOI\]](#)
- Porto, F.L., Calado, R.V., Priscila, T., Souza, M., Ferro, J.N., Barreto, E., & Reis, M.D. (2023). The pharmacological properties of Brazilian Arnica (*Solidago chilensis* Meyen). En: Pullaiah, T. (ed.), *Phytochemistry and Pharmacology of Medicinal Plants* (pp. 15-23). CRC Press, Florida, Estados Unidos. [\[DOI\]](#)
- Prashanth, S., & Mathivanan, N. (2010). Growth promotion of groundnut by IAA producing rhizobacteria *Bacillus licheniformis* MML2501. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 43(2), 191-208. [\[DOI\]](#)
- Qaswar, M., Jing, H., Ahmed, W., Dongchu, L., Shujun, L., Lu, Z., Cai, A., Lisheng, L., Yongmei, X, Jusheng, G., & Huimin, Z. (2020). Yield sustainability, soil organic carbon sequestration and nutrients balance under long-term combined application of manure and inorganic fertilizers in acidic paddy soil. *Soil and Tillage Research*, 198, 104569. [\[DOI\]](#)

- Qian, Y., Shi, J., Chen, Y., Lou, L., Cui, X., Cao, R., Li, P., & Tang, J. (2010). Characterization of phosphate solubilizing bacteria in sediments from a shallow eutrophic lake and a wetland: isolation, molecular identification and phosphorus release ability determination. *Molecules*, 15(11), 8518-8533. [\[DOI\]](#)
- Qiu, J., Chen, L., Zhu, Q., Wang, D., Wang, W., Sun, X., Liu, X., & Du, F. (2012). Screening natural antioxidants in peanut shell using DPPH–HPLC–DAD–TOF/MS methods. *Food Chemistry*, 135, 2366–71. [\[DOI\]](#)
- Quiroz, M.P., Blanco, V., Zoffoli, J.P., & Ayala, M. (2023). Study of mineral composition and quality of fruit using vascular restrictions in branches of sweet cherry. *Plants*, 12(10), 1922. [\[DOI\]](#)
- Ravindran, A.P., Lajapathy, J.M., Lalithakumari, S.G., Mohan, A.K., Cyriac, T., & Usha, S.S. (2023). Efficacy of *Bacillus licheniformis*: a biocontrol agent against *Colletotrichum gloeosporioides* Penz. (Penz. & Sacc.) causing anthracnose in greater yam (*Dioscorea alata* L.). *Egyptian Journal of Biological Pest Control*, 33(1), 112. [\[DOI\]](#)
- Ravindran, B., & Mnkeni, P.N. (2016). Bio-optimization of the carbon-to-nitrogen ratio for efficient vermicomposting of chicken manure and waste paper using *Eisenia fetida*. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(17), 16965-16976. [\[DOI\]](#)
- Ravindran, R., Hassan, S.S., Williams, G.A., & Jaiswal, A.K. (2018). A review on bioconversion of agro-industrial wastes to industrially important enzymes. *Bioengineering*, 5(4), 93. [\[DOI\]](#)
- Rawat, P., Sharma, A., Shankhdhar, D., & Shankhdhar, S.C. (2022). Comparative response of phosphate solubilizing indigenous *Bacillus licheniformis*, *Pantoea dispersa* and *Staphylococcus* sp. from rice rhizosphere for their multifarious growth promoting characteristics. *Geomicrobiology Journal*, 39(6), 445-452. [\[DOI\]](#)
- Redondo-Blanco, S., Fernández, J., López-Ibáñez, S., Miguélez, E.M., Villar, C.J., & Lombó, F. (2020). Plant phytochemicals in food preservation: Antifungal bioactivity: A review. *Journal of Food Protection*, 83(1), 163-171. [\[DOI\]](#)
- Rehrah, D., Reddy, M.R., Novak, J.M., Bansode, R.R., Schimmel, K.A., Yu, J., Watts, D.W., & Ahmedna, M. (2014). Production and characterization of biochars from agricultural by-products for use in soil quality enhancement. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 108, 301-309. [\[DOI\]](#)
- Riera, N.I., Della Torre, V., Rizzo, P.F., Butti, M., Bressan, F.M., Zarate, N., Weigandt, C., & Crespo, D.E. (2014). Evaluación del proceso de compostaje de dos mezclas de residuos avícolas. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias, UNCuyo*, 46(1), 195-203. [\[DOI\]](#)
- Rivilli, P.L., Alarcón, R., Isasmendi, G.L., & Pérez, J.D. (2012). Stepwise isothermal fast pyrolysis (SIFP). Part II. SIFP of peanut shells-Antifungal properties of phenolic fractions. *BioResources*, 7(1), 0112-0117. [\[DOI\]](#)
- Rizwanuddin, S., Kumar, V., Singh, P., Naik, B., Mishra, S., Chauhan, M., Saris, P.E., Verma, A., & Kumar, V. (2023). Insight into phytase-producing microorganisms for phytate solubilization and soil sustainability. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1127249. [\[DOI\]](#)

- Roberts, M.S., Nakamura, L.K., & Cohan, F.M. (1994). *Bacillus mojavensis* sp. nov., distinguishable from *Bacillus subtilis* by sexual isolation, divergence in DNA sequence, and differences in fatty acid composition. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 44(2), 256-264. [\[DOI\]](#)
- Rodríguez, L.G., Gasga, V.M., Pescuma, M., Van Nieuwenhove, C., Mozzi, F., & Burgos, J.A. (2021). Fruits and fruit by-products as sources of bioactive compounds. Benefits and trends of lactic acid fermentation in the development of novel fruit-based functional beverages. *Food Research International*, 140, 109854. [\[DOI\]](#)
- Roidaki, A., Kollia, E., Panagopoulou, E., Chiou, A., Varzakas, T., & Markaki, P. (2016). Super foods and super herbs: Antioxidant and antifungal activity. *Current Research in Nutrition and Food Science Journal*, 4, 138-145. [\[DOI\]](#)
- Rojas-Solís, D., & Santoyo, G. (2018). Data on the effect of *Pseudomonas stutzeri* E25 and *Stenotrophomonas maltophilia* CR71 culture supernatants on the mycelial growth of *Botrytis cinerea*. *Data in Brief*, 17, 234-236. [\[DOI\]](#)
- Rojas-Solís, D., Zetter-Salmón, E., Contreras-Pérez, M., del Carmen Rocha-Granados, M., Macías-Rodríguez, L., & Santoyo, G. (2018). *Pseudomonas stutzeri* E25 and *Stenotrophomonas maltophilia* CR71 endophytes produce antifungal volatile organic compounds and exhibit additive plant growth-promoting effects. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 13, 46-52. [\[DOI\]](#)
- Romanazzi, G., Smilanick, J.L., Feliziani, E. & Droby, S. (2016). Integrated management of postharvest gray mold on fruit crops. *Postharvest Biology and Technology*, 113, 69-76. [\[DOI\]](#)
- Romanazzi, G., Nigro, F., Ippolito, A., & Salerno, M. (2001). Effect of short hypobaric treatments on postharvest rots of sweet cherries, strawberries and table grapes. *Postharvest Biology and Technology*, 22(1), 1-6. [\[DOI\]](#)
- Ros, M., Hurtado-Navarro, M., Giménez, A., Fernández, J.A., Egea-Gilabert, C., Lozano-Pastor, P., & Pascual, J.A. (2020). Spraying agro-industrial compost tea on baby spinach crops: Evaluation of yield, plant quality and soil health in field experiments. *Agronomy*, 10(3), 440. [\[DOI\]](#)
- Rossi, C.A., De Magistris, A.A., González, G.L., Carou, N.E., & De Loof, E.P. (2014). *Plantas de interés ganadero de la región del bajo Delta del Paraná (Argentina)*. Editorial UNLZ, Lomas de Zamora, Argentina. [\[DOI\]](#)
- Ruzicka, F., Hola, V., Votava, M., & Tekkalova, R. (2007). Importance of biofilm in *Candida parapsilosis* and evaluation of its susceptibility to antifungal agents by colorimetric method. *Folia Microbiologica*, 52, 209-214. [\[DOI\]](#)
- Saifuzzaman, M., Shamim, M.S., Mahaldar, K., Ali, E.S., & Islam, M.A. (2013). Antinociceptive activity of the ethanolic extract of *Persicaria acuminata* Sach. *Journal of Pharmacy Research*, 6(7), 753-755. [\[DOI\]](#)

- Sakurai, N. (2002). Physical properties of fruit firmness and chemical structure of cell walls during fruit softening. En: Blahovec, J., & Kutílek, M. (eds.), *Physical Methods in Agriculture: Approach to Precision and Quality* (pp. 311-341). Springer, Boston, Estados Unidos. [\[DOI\]](#)
- Sallam, B.N., Lu, T., Yu, H., Li, Q., Sarfraz, Z., Iqbal, M.S., Khan, S., Wang, H., Liu, P., & Jiang, W. (2021). Productivity enhancement of cucumber (*Cucumis sativus* L.) through optimized use of poultry manure and mineral fertilizers under greenhouse cultivation. *Horticulturae*, 7(8), 256. [\[DOI\]](#)
- Sánchez-Monedero, M.A., Cayuela, M.L., Sánchez-García, M., Vandecasteele, B., D'Hose, T., López, G., Martínez-Gaitán, C., Kuikman, P.J., Sinicco, T., & Mondini, C. (2019). Agronomic evaluation of biochar, compost and biochar-blended compost across different cropping systems: Perspective from the European project FERTIPLUS. *Agronomy*, 9(5), 225. [\[DOI\]](#)
- Sangiorgio, D., Cellini, A., Spinelli, F., & Donati, I. (2023). Promoting strawberry (*Fragaria× ananassa*) stress resistance, growth, and yield using native bacterial biostimulants. *Agronomy*, 13(2), 529. [\[DOI\]](#)
- Santoyo, G., Orozco-Mosqueda, M.D., & Govindappa, M. (2012). Mechanisms of biocontrol and plant growth-promoting activity in soil bacterial species of *Bacillus* and *Pseudomonas*: a review. *Biocontrol Science and Technology*, 22(8), 855-872. [\[DOI\]](#)
- Sarhan, T., Mohamed, G.H., & Teli, J.A. (2011). Effect of bio and organic fertilizer on growth, yield and fruit quality of squash plants. *Sarhad Journal of Agriculture*, 27(3), 377-383. [\[DOI\]](#)
- Savary, S., Ficke, A., Aubertot, J.N., & Hollier, C. (2012). Crop losses due to diseases and their implications for global food production losses and food security. *Food Security*, 4(4), 519-537. [\[DOI\]](#)
- Saygi, H. (2022). Effects of organic fertilizer application on strawberry (*Fragaria vesca* L.) cultivation. *Agronomy*, 12(5), 1233. [\[DOI\]](#)
- Saygi, H. (2021). Effects of green manure and poultry manure on strawberry production and soil fertility. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 10(4), 439-448. [\[DOI\]](#)
- Schoch, C.L., Seifert, K.A., Huhndorf, S., Robert, V., Spouge, J.L., Levesque, C.A., Chen, W., & White, M.M. (2012). Nuclear ribosomal internal transcribed spacer (ITS) region as a universal DNA barcode marker for Fungi. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(16), 6241-6246. [\[DOI\]](#)
- Schwyn, B., & Neilands, J.B. (1987). Universal chemical assay for the detection and determination of siderophores. *Analytical Biochemistry*, 60, 47-56. [\[DOI\]](#)
- Seema, K., Mehta, K., & Singh, N. (2018). Studies on the effect of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on growth, physiological parameters, yield and fruit quality of strawberry cv. chandler. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(2), 383-387. [\[DOI\]](#)
- Seimandi, G.M., Fernández, L.N., Ruiz, V.E., Favaro, M.A., & Derita, M.G. (2025). Peanut and pecan nut shell extracts reduced disease incidence and severity caused by grey mold in postharvest strawberries. *Horticulturae*, 11(6), 690. [\[DOI\]](#)

- Seimandi, G.M., Imhoff, S.C., & Derita, M.G. (2024). Bioactivity of *Raphanus* species against agricultural phytopathogens and its role in soil remediation: a review. *Combinatorial Chemistry & High Throughput Screening*, 27(4), 516-544. [\[DOI\]](#)
- Seimandi, G., Álvarez, N., Stegmayer, M.I., Fernández, L., Ruiz, V., Favaro, M.A., & Derita, M. (2021). An update on phytochemicals and pharmacological activities of the genus *Persicaria* and *Polygonum*. *Molecules*, 26(19), 5956. [\[DOI\]](#)
- Shafeek, M.R., Shaheen, A.M., Abd El-Samad, E.H., Fatma, A.R., & Faten, S.A. (2015). Response of growth, yield and fruit quality of cantaloupe plants (*Cucumis melo* L.) to organic and mineral fertilization. *Middle East Journal of Applied Sciences*, 5(1), 76-82. [\[DOI\]](#)
- Shaheen, A.M., Rizk, F.A., Abd El-Samad, E.H., Mahmoud, S.H., & Salama, D.M. (2018). Chicken manure tea and effective micro-organisms enhanced growth and productivity of common bean plants. *Middle East Journal Agriculture Research*, 7(4), 1419-1430. [\[DOI\]](#)
- Shanmugapriya, R., Nareshkumar, A., Meenambigai, K., Kokila, R., Shebriya, A., Chandhirasekar, K., Thendral Manikandan, A., & Munusamy, C. (2017). Antifungal and insecticidal activities of *Raphanus sativus* mediated AgNPs against mango leafhopper, *Amritodus brevistylus* and its associated fungus, *Aspergillus niger*. *Journal of Entomological and Acarological Research*, 49(1), 13-21. [\[DOI\]](#)
- Shepherd Jr, M.W., Liang, P., Jiang, X., Doyle, M.P., & Erickson, M.C. (2010). Microbiological analysis of composts produced on South Carolina poultry farms. *Journal of Applied Microbiology*, 108(6), 2067-2076. [\[DOI\]](#)
- Shternshis, M.V., Belyaev, A.A., Shpatova, T.V., & Lelyak, A.A. (2015). Influence of *Bacillus* spp. on strawberry gray-mold causing agent and host plant resistance to disease. *Contemporary Problems of Ecology*, 8(3), 390-396. [\[DOI\]](#)
- Shuai, L., & Xudong, W. (2017). Nitrogen transformation and loss during the composting process of livestock and poultry manure with or without bio-fermentation agent. *Nature Environment and Pollution Technology*, 16(4), 1003-1010. [\[DOI\]](#)
- Singh, R., Jiang, X., & Luo, F. (2010). Thermal inactivation of heat-shocked *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella*, and *Listeria monocytogenes* in dairy compost. *Journal of Food Protection*, 73(9), 1633-1640. [\[DOI\]](#)
- Singh, S., Kumar, A., Thakur, N., Bisht, A., Anmol, Singh, S.K., & Bakshi, M. (2025). Calcium dynamics in strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) plant: from soil to fruit. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 25, 6413–6427. [\[DOI\]](#)
- Singh, V., & Deverall, B.J. (1984). *Bacillus subtilis* as a control agent against fungal pathogens of citrus fruit. *Transactions of the British Mycological Society*, 83, 487-490. [\[DOI\]](#)
- Singleton, V.L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventos, R.M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin Ciocalteu reagent. *Method in Enzymology*, 299, 152-178. [\[DOI\]](#)

- SISA (Sistema de Informacion Simplificado Agricola). Informe maní 2021-2022. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pescan. Argentina.
- Sobolev, V.S., Khan, S.I., Tabanca, N., Wedge, D.E., Manly, S.P., Cutler, S.J., Coy, M.R., Becnel, J.J., Neff, S.A., & Gloer, J.B. (2011). Biological activity of peanut (*Arachis hypogaea*) phytoalexins and selected natural and synthetic stilbenoids. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(5), 1673-1682. [\[DOI\]](#)
- Soliman, S.A., Khaleil, M.M., & Metwally, R.A. (2022). Evaluation of the antifungal activity of *Bacillus amyloliquefaciens* and *B. velezensis* and characterization of the bioactive secondary metabolites produced against plant pathogenic fungi. *Biology*, 11(10), 1390. [\[DOI\]](#)
- Song, Z., Massart, S., Yan, D., Cheng, H., Eck, M., Berhal, C., Ouyang, C., Li, Y., Wang, Q., & Cao, A. (2020). Composted chicken manure for anaerobic soil disinfection increased the strawberry yield and shifted the soil microbial communities. *Sustainability*, 12(16), 6313. [\[DOI\]](#)
- Soto-Bravo, F., & Betancourt-Flores, A. (2022). Evaluación de metodologías para determinar las características físicas de un sustrato de fibra de coco. *Agronomía Costarricense*, 46(2), 29-42. [\[DOI\]](#)
- Souza, D.M., Sa, R.D., Araujo, E.L., & Randau, K.P. (2018). Anatomical, phytochemical and histochemical study of *Solidago chilensis* Meyen. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 90, 2107-2120. [\[DOI\]](#)
- Staats, M., Van Baarlen, P., & Van Kan, J.A. (2005). Molecular phylogeny of the plant pathogenic genus *Botrytis* and the evolution of host specificity. *Molecular Biology and Evolution*, 22(2), 333-346. [\[DOI\]](#)
- Stafne, E.T., Rohla, C.T., & Carroll, B.L. (2009). Pecan shell mulch impact on ‘Loring’ peach tree establishment and first harvest. *Horttechnology*, 19(4), 775-780. [\[DOI\]](#)
- Stanojević, O., Milijašević-Marčić, S., Potočnik, I., Stepanović, M., Dimkić, I., Stanković, S., & Berić, T. (2016). Isolation and identification of *Bacillus* spp. from compost material, compost and mushroom casing soil active against *Trichoderma* spp. *Archives of Biological Sciences*, 68(4), 845-852. [\[DOI\]](#)
- Suchoszek-Lukaniuk, K., Jaromin, A., Koryciniska, M., & Kozubek, A. (2011). Health benefits of peanut (*Arachis hypogaea* L.) sedes and peanut oil consumption. En: Preddy, V., Watson Ross, R., Patel, V. (eds.), *Nuts and seeds in health and disease prevention* (pp. 873-880). Academic Press, Cambridge, Estados Unidos. [\[DOI\]](#)
- Sun, X., Xu, Z., Xie, J., Hesselberg-Thomsen, V., Tan, T., Zheng, D., Strube, M.L., Dragoš, A., Shen, Q., Zhang, R., & Kovács, Á. T. (2022). *Bacillus velezensis* stimulates resident rhizosphere *Pseudomonas stutzeri* for plant health through metabolic interactions. *The ISME Journal*, 16(3), 774-787. [\[DOI\]](#)
- Szilagyi-Zecchin, V.J., Mógor, Á.F., & Figueiredo, G.G. (2016). Strategies for characterization of agriculturally important bacteria. En: Singh, D., Singh, H., Prabha, R. (eds.), *Microbial Inoculants in Sustainable Agricultural Productivity* (pp. 1-21). Springer, Nueva Delhi, India. [\[DOI\]](#)

- Tariq, M., Zahoor, M., Yasmeen, T., Naqqash, T., Rashid, M.A., Abdullah, M., Rafiq, A.R., Zafar, M., Irfan, I., & Rasul, I. (2025). Biocontrol efficacy of *Bacillus licheniformis* and *Bacillus amyloliquefaciens* against rice pathogens. *PeerJ*, 13, e18920. [\[DOI\]](#)
- Temirov, Y.V., Esikova, T.Z., Kashparov, I.A., Balashova, T.A., Vinokurov, L.M., & Alakhov, Y.B. (2003). A catecholic siderophore produced by the thermoresistant *Bacillus licheniformis* VK21 strain. *Russian Journal of Bioorganic Chemistry*, 29(6), 542-549. [\[DOI\]](#)
- Terea, H., Selloum, D., Rebiai, A., Bouafia, A., & Ben Mya, O. (2023). Preparation and characterization of cellulose/ZnO nanoparticles extracted from peanut shells: Effects on antibacterial and antifungal activities. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 14, 19489-19500. [\[DOI\]](#)
- Thepbandit, W., & Athinuwat, D. (2024). Rhizosphere microorganisms supply availability of soil nutrients and induce plant defense. *Microorganisms*, 12(3), 558. [\[DOI\]](#)
- Thomas, S., Mathew, L., & Rishad, K. (2018). Isolation and molecular identification of phosphate solubilizing bacteria, *Bacillus licheniformis* UBPSB-07 capable of enhancing seed germination in *Vigna radiata* L. *Phytomorphology*, 68(1-2), 13-18. [\[DOI\]](#)
- Thorat, D.S., Ushir, Y.V., & Singh, S. (2025). Value-added-peanut shell as potential source for biofilters: an eco-friendly way to clean water and manage nutrients. *Biotechnology for Sustainable Materials*, 2(12), 1-18. [\[DOI\]](#)
- Timofeeva, A., Galyamova, M., & Sedykh, S. (2022). Prospects for using phosphate-solubilizing microorganisms as natural fertilizers in agriculture. *Plants*, 11(16), 2119. [\[DOI\]](#)
- Toledo, M., Gutiérrez, M.M., Siles, J.A., & Martín, M.A. (2018). Full-scale composting of sewage sludge and market waste, Stability monitoring and odor dispersion modeling, *Environmental Research*, 167, 739-750. [\[DOI\]](#)
- Törün, B., Çoban, E.P., Biyik, H.H., & Barisik, E. (2017). Antimicrobial activity of *Echinophora tenuifolia* L. and *Raphanus sativus* L. extracts. *Indian Journal of Pharmaceutical Education and Research*, 51(1), 136-143. [\[DOI\]](#)
- Ungureanu, C., Fierascu, I., Fierascu, R.C., Costea, T., Avramescu, S.M., Călinescu, M.F., Somoghi, R., & Pirvu, C. (2021). In vitro and in vivo evaluation of silver nanoparticles phytosynthesized using *Raphanus sativus* L. waste extracts. *Materials*, 14(8), 1845. [\[DOI\]](#)
- Urta, J., Alkorta, I., & Garbisu, C. (2019). Potential benefits and risks for soil health derived from the use of organic amendments in agriculture. *Agronomy*, 9(9), 542. [\[DOI\]](#)
- [USDA: www.usda.gov](http://www.usda.gov)
- Valenzuela, O.R., Gallardo, C.S., Carponi, M.S., Aranguren, M.E., Tabares, H.R., & Barrera, M.C. (2014). PID 2117 Manejo de las propiedades físicas en sustratos regionales para el cultivo de plantas en contenedores. *Ciencia, Docencia y Tecnología Suplemento*, 4(4), 1-19. [\[DOI\]](#)
- Valverde, S.S., Souza, S.P., Oliveira, T.B., Kelly, A.M., Costa, N.F., Calheiros, A.S., dos Santos Cople Lima, K., da Silva Frutuoso, V., & Lima, A.L. (2020). Chemical composition and antinociceptive

- activity of volatile fractions of the aerial parts of *Solidago chilensis* (compositae). *Rodriguésia*, 71, e00862019. [\[DOI\]](#)
- Velmurugan, P., Sivakumar, S., Young-Chae, S., Seong-Ho, J., Pyoung-In, Y., Jeong-Min, S., & Sung-Chul, H. (2015). Synthesis and characterization comparison of peanut shell extract silver nanoparticles with commercial silver nanoparticles and their antifungal activity. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 31, 51-54. [\[DOI\]](#)
- Vero, S., Garmendia, G., González, M.B., Bentancur, O., & Wisniewski, M. (2013). Evaluation of yeasts obtained from Antarctic soil samples as biocontrol agents for the management of postharvest diseases of apple (*Malus × domestica*). *FEMS Yeast Research*, 13(2), 189-199. [\[DOI\]](#)
- Vigneshwaran, C., Shanmugam, S., & Kumar, T.S. (2010). Screening and characterization of keratinase from *Bacillus licheniformis* isolated from Namakkal poultry farm. *Researcher*, 2(4), 89-96.
- Vignoni, L.A., Césari, R.M., Forte, M., & Mirábile, M.L. (2006). Determinación de índice de color en ajo picado. *Información Tecnológica*, 17(6), 63-67. [\[DOI\]](#)
- Vila, R., Mundina, M., Tomi, F., Furlán, R., Zacchino, S., Casanova, J., & Cañigüeral, S. (2002). Composition and antifungal activity of the essential oil of *Solidago chilensis*. *Planta Medica*, 68(02), 164-167. [\[DOI\]](#)
- Villanueva-Tiburcio, J.E., Condezo-Hoyos, L.A., & Asquiere, E.R. (2010). Antocianinas, ácido ascórbico, polifenoles totales y actividad antioxidante, en la cáscara de camu-camu (*Myrciaria dubia* (HBK) McVaugh). *Food Science and Technology*, 30, 151-160. [\[DOI\]](#)
- Vodnar, D.C., Călinoiu, L.F., Dulf, F.V., Ștefănescu, B.E., Crișan, G., & Socaciu, C. (2017). Identification of the bioactive compounds and antioxidant, antimutagenic and antimicrobial activities of thermally processed agro-industrial waste. *Food Chemistry*, 231, 131-140. [\[DOI\]](#)
- Wagener, E.A., & Kerr, W.L. (2018). Effects of oil content on the sensory, textural, and physical properties of pecan butter (*Carya illinoensis*). *Journal of Texture Studies*, 49(3), 286-292. [\[DOI\]](#)
- Wagner, H., Bauer, R., Melchart, D., Xiao, P. G., & Staudinger, A. (2011). *Chromatographic fingerprint analysis of herbal medicines, Volume III*. Springer, Berlin, Alemania. [\[DOI\]](#)
- Waksmundzka-Hajnos, M., Hawrył, M., Hawrył, A., & Józwiak, G. (2022). Thin layer chromatography in phytochemical analysis. En: Buszewski, B., & Baranowska, I. (eds.), *Handbook of Bioanalytics* (pp. 1-31). Springer, Cham, Suiza. [\[DOI\]](#)
- Waldrip, H.M., He, Z., & Erich, M.S. (2011). Effects of poultry manure amendment on phosphorus uptake by ryegrass, soil phosphorus fraction and phosphatase activity. *Biology and Fertility of Soils*, 47(4), 407-418. [\[DOI\]](#)
- Walia, A., Putatunda, C., Sharma, R., Sharma, S., & Thakur, A. (2021). Biocontrol: a sustainable agricultural solution for management of plant diseases. En: Manoj, K., & Ram, P. (eds.), *Microbial biotechnology in crop protection* (pp. 1-54). Springer, Singapur. [\[DOI\]](#)

- Wang, Q., Chu, C., Zhao, Z., Wu, S., & Zhou, D. (2024). *Pseudomonas fluorescens* enriched by *Bacillus velezensis* containing agricultural waste promotes strawberry growth by microbial interaction in plant rhizosphere. *Land Degradation & Development*, 35(7), 2476-2488. [\[DOI\]](#)
- Wang, W., Zhang, P., He, H., Liu, H., Yan, J., He, H., Wen, B., & Yuan, X. (2025). Effects of chicken manure combinations on compost maturity and microbial community dynamics in industrial-scale composting. *Waste and Biomass Valorization*, 2025, 1-10. [\[DOI\]](#)
- Wang, X., Wei, Q., Zhao, Q., Liu, X., Deng, H., & Li, Z. (2023). Short-chain fatty acid producers in compost tea as affected by brewing time and aeration condition. *Journal of Soils and Sediment*, 23, 3096-3107. [\[DOI\]](#)
- Wang, Z., Wang, Y., Zheng, L., Yang, X., Liu, H., & Guo, J. (2014). Isolation and characterization of an antifungal protein from *Bacillus licheniformis* HS10. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 454(1), 48-52. [\[DOI\]](#)
- Wasule, D.L., Shinde, R.M., Shingote, P.R., & Parlawar, N.D. (2023). Characterization of phosphate solubilizing *Pseudomonas stutzeri* for nodulation in chickpea. *Journal of Plant Nutrition*, 46(13), 3018-3030. [\[DOI\]](#)
- Wee, J.H., Moon, J.H., Eun, J.B., Chung, J.H., Kim, Y.G., & Park, K.H. (2007). Isolation and identification of antioxidants from peanut shells and the relationship between structure and antioxidant activity. *Food Science and Biotechnology*, 16(1), 116-122. [\[DOI\]](#)
- Wharton, P.S., & Diéguez-Urbeondo, J. (2004). The biology of *Colletotrichum acutatum*. *Anales del jardín botánico de Madrid*, 61(1), 3-22. [\[DOI\]](#)
- Wilkinson, K.G., Tee, E., Tomkins, R.B., Hepworth, G., & Premier, R. (2011). Effect of heating and aging of poultry litter on the persistence of enteric bacteria. *Poultry Science*, 90(1), 10-18. [\[DOI\]](#)
- Williamson, B., Tudzynski, B., Tudzynski, P., & Van Kan, J.A. (2007). *Botrytis cinerea*: the cause of grey mould disease. *Molecular Plant Pathology*, 8(5), 561-580. [\[DOI\]](#)
- Woźdyło, A., Oszmianski, J., & Czemerys, R. (2007). Antioxidant activity and phenolic compounds in 32 selected herbs. *Food Chemistry*, 105, 940-949. [\[DOI\]](#)
- Wondu, G.Z., & Sasi Kumar, J.M. (2020). Hydroponic growing of lettuce (*Lactuca sativa* L.) using bioorganic liquid fertilizer from groundnut husk and onion bulbs. *Advance Research of Journal of Microbiology*, 6(2), 308-313. [\[DOI\]](#)
- Wu, J., Jiang, Y., Zhao, F., He, X., Liu, H., & Yu, K. (2020). Increased organic fertilizer application and reduced chemical fertilizer application affect the soil properties and bacterial communities of grape rhizosphere soil. *Scientific Reports*, 10(1), 9568. [\[DOI\]](#)
- Wyatt, T.T., Wösten, H.A., & Dijksterhuis, J. (2013). Fungal spores for dispersion in space and time. *Advances in Applied Microbiology*, 85, 43-91. [\[DOI\]](#)
- Xia, H., Riaz, M., Liu, B., Li, Y., El-Desouki, Z., & Jiang, C. (2022). Peanut shell biochar in acidic soil increases nitrogen absorption and photosynthesis characteristics of maize under different nitrogen levels. *Environment, Development and Sustainability*, 25, 8957-8974. [\[DOI\]](#)

- Xiao, R., Li, L., Zhang, Y., Fang, L., Li, R., Song, D., Liang, T., & Su, X. (2024). Reducing carbon and nitrogen loss by shortening the composting duration based on seed germination index (SCD@ GI): Feasibilities and challenges. *Science of the Total Environment*, 933, 172883. [\[DOI\]](#)
- Xie, Y., Zhou, L., Dai, J., Chen, J., Yang, X., Wang, X., Wang, Z., & Feng, L. (2022). Effects of the C/N ratio on the microbial community and lignocellulose degradation, during branch waste composting. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 45(7), 1163-1174. [\[DOI\]](#)
- Xu, C.Y., Bai, S.H., Hao, Y., Rachaputi, R.C., Xu, Z., & Wallace, H.M. (2015). Peanut shell biochar improves soil properties and peanut kernel quality on a red Ferrosol. *Journal of Soils and Sediments*, 15, 2220-2231. [\[DOI\]](#)
- Xu, Y., Wang, J., & Zhou, H. (2022). Effect of organic ecological soilless culture substrate on tomato fruit. *E3S Web of Conferences*, 338, 01032. [\[DOI\]](#)
- Xue, Y., Yan, W., Gao, Y., Zhang, H., Jiang, L., Qian, X., Cui, Z., Zhang, C., Liu, S., Wang, H., Li, Z., & Liu, K. (2021). Interaction effects of nitrogen rates and forms combined with and without zinc supply on plant growth and nutrient uptake in maize seedlings. *Frontiers in Plant Science*, 12, 722752. [\[DOI\]](#)
- Yadav, C., Yadav, P., Joshi, A., Meena, M., Harish, & Arora, J. (2024). Agricultural waste and its impact on the environment. En: Jaya, A., Abhishek, J., & Ramesh, C.R. (eds.), *Transforming Agriculture Residues for Sustainable Development: From Waste to Wealth* (pp. 3-19). Springer Cham, Suiza. [\[DOI\]](#)
- Yang, M., Zhou, D., Hang, H., Chen, S., Liu, H., Su, J., Lv, H., Jia, H., & Zhao, G. (2024). Effects of balancing exchangeable cations Ca, Mg, and K on the growth of tomato seedlings (*Solanum lycopersicum* L.) based on increased soil cation exchange capacity. *Agronomy*, 14(3), 629. [\[DOI\]](#)
- Yemmireddy, V.K., Cason, C., Moreira, J., & Adhikari, A. (2020). Effect of pecan variety and the method of extraction on the antimicrobial activity of pecan shell extracts against different foodborne pathogens and their efficacy on food matrices. *Food Control*, 112, 107098. [\[DOI\]](#)
- Yin, J., Wang, J., Zhao, L., Cui, Z., Yao, S., Li, G., & Yuan, J. (2025). Compost tea: Preparation, utilization mechanisms, and agricultural applications potential-A comprehensive review. *Environmental Technology & Innovation*, 38, 104137. [\[DOI\]](#)
- Yousuf, J., Thajudeen, J., Rahiman, M., Krishnankutty, S.P. Alikunj, A., & Abdulla, M.H. (2017). Nitrogen fixing potential of various heterotrophic *Bacillus* strains from a tropical estuary and adjacent coastal regions. *Journal of Basic Microbiology*, 57(11), 922-932. [\[DOI\]](#)
- Yu, J., Ahmedna, M., Goktepe, I., & Dai, J. (2006). Peanut skin procyanidins: Composition and antioxidant activities as affected by processing. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19(4), 364-371. [\[DOI\]](#)
- Zaccardelli, M., Pane, C., Villecco, D., Palese, A.M., & Celano, G. (2018). Compost tea spraying increases yield performance of pepper (*Capsicum annuum* L.) grown in greenhouse under organic farming system. *Italian Journal of Agronomy*, 13(3), 229-234. [\[DOI\]](#)

- Zainudin, M.H., Singam, J.T., Sazili, A Q., Shirai, Y., & Hassan, M.A. (2022). Indigenous cellulolytic aerobic and facultative anaerobic bacterial community enhanced the composting of rice straw and chicken manure with biochar addition. *Scientific Reports*, 12(1), 5930. [\[DOI\]](#)
- Zeliou, K., Papisotiropoulos, V., Manoussopoulos, Y., & Lamari, F.N. (2018). Physical and chemical quality characteristics and antioxidant properties of strawberry cultivars (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) in Greece: Assessment of their sensory impact. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(11), 4065-4073. [\[DOI\]](#)
- Zhan, Y., Chang, Y., Tao, Y., Zhang, H., Lin, Y., Deng, J., Ma, T., Ding, G., Wei, Y., & Li, J. (2023). Insight into the dynamic microbial community and core bacteria in composting from different sources by advanced bioinformatics methods. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(4), 8956-8966. [\[DOI\]](#)
- Zhang, D., Yan, D., Cheng, H., Fang, W., Huang, B., Wang, X., Yan, Y., Ouyang, C., Li, Y., Wang, Q., & Cao, A. (2020a). Effects of multi-year biofumigation on soil bacterial and fungal communities and strawberry yield. *Environmental Pollution*, 256, 113415. [\[DOI\]](#)
- Zhang, G., Hu, M., He, L., Fu, P., Wang, L., & Zhou, J. (2013). Optimization of microwave-assisted enzymatic extraction of polyphenols from waste peanut shells and evaluation of its antioxidant and antibacterial activities in vitro. *Food and Bioproducts Processing*, 91(2), 158-168. [\[DOI\]](#)
- Zhang, J., Wu, P., Hao, B., & Yu, Z. (2011). Heterotrophic nitrification and aerobic denitrification by the bacterium *Pseudomonas stutzeri* YZN-001. *Bioresource Technology*, 102(21), 9866-9869. [\[DOI\]](#)
- Zhang, L., Li, L., Pan, X., Shi, Z., Feng, X., Gong, B., Li, J., & Wang, L. (2018). Enhanced growth and activities of the dominant functional microbiota of chicken manure composts in the presence of maize straw. *Frontiers in Microbiology*, 9, 1131. [\[DOI\]](#)
- Zhang, W., Yu, C., Wang, X., & Hai, L. (2020b). Increased abundance of nitrogen transforming bacteria by higher C/N ratio reduces the total losses of N and C in chicken manure and corn stover mix composting. *Bioresource Technology*, 297, 122410. [\[DOI\]](#)
- Zhang, X., Zhan, Y., Zhang, H., Wang, R., Tao, X., Zhang, L., Zuo, Y., Zhang, L., Wei, Y., & Li, J. (2021). Inoculation of phosphate-solubilizing bacteria (*Bacillus*) regulates microbial interaction to improve phosphorus fractions mobilization during kitchen waste composting. *Bioresource Technology*, 340, 125714. [\[DOI\]](#)
- Zhang, Y., Miao, S., Song, Y., Wang, X., & Jin, F. (2024). Biochar application reduces saline–alkali stress by improving soil functions and regulating the diversity and abundance of soil bacterial community in highly saline–alkali paddy field. *Sustainability*, 16(3), 1001. [\[DOI\]](#)
- Zhao, X., Chen, J., & Du, F. (2012). Potential use of peanut by-products in food processing: a review. *Journal of Food Science and Technology*, 49, 521-529. [\[DOI\]](#)

- Zhou, J., Hong, W., Feng, J., Song, L., Li, X., Xu, S., & Zhou, S. (2023). Effects of applying peanut shell and its biochar on the microbial activity and community structure of dryland red soil. *Heliyon*, 9(2), e12604. [\[DOI\]](#)
- Zohora, K.F., Saha, A.K., Biswas, A., Ali, N.M., Chowdhury, F.J., & Das, S. (2022). Performance of poultry litter compost on physiochemical properties of soil and yield of mature tea. *International Journal of Tea Science*, 16(02), 33-38. [\[DOI\]](#)
- Zouari, I., Masmoudi, F., Medhioub, K., Tounsi, S., & Trigui, M. (2020). Biocontrol and plant growth-promoting potentiality of bacteria isolated from compost extract. *Antonie Van Leeuwenhoek*, 113(12), 2107-2122. [\[DOI\]](#)