



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS**



**SITUACIÓN FITOSANITARIA DE TUBÉRCULOS DE PAPA**  
**PRODUCIDOS EN TRES LOCALIDADES DEL MUNICIPIO DE**  
**CALIMAYA, ESTADO DE MÉXICO**

**TESIS**

QUE COMO TRÁMITE PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO  
DE INGENIERO AGRÓNOMO FITOTECNISTA

**PRESENTAN:**

LIZETH ANAHÍ SUÁREZ PÉREZ  
JUAN JOSÉ MALVÁEZ SÁNCHEZ

**Modalidad de Tesis:** Colectiva

**ASESORES:**

DR. JESÚS RICARDO SÁNCHEZ PALE  
DR. FRANCISCO XAVIER FLORES GUTIÉRREZ  
DR. ÁLVARO CASTAÑEDA VILDOZOLA

## CONTENIDO

	Página
NDICE DE CUADROS .....	8
ÍNDICE DE FIGURAS .....	10
RESUMEN.....	12
ABSTRACT .....	14
I. INTRODUCCION .....	16
II. OBJETIVOS .....	18
2.1. Objetivo general.....	18
2.2. Objetivos específicos.....	18
III. HIPÓTESIS .....	19
IV. REVISIÓN DE LITERATURA .....	20
4.1. Origen e importancia de la papa .....	20
4.2. Problemática de plagas y enfermedades .....	22
4.3. Costra negra ( <i>Rhizoctonia solani</i> Kühn).....	24
4.4. Pudrición seca ( <i>Fusarium</i> spp.) .....	27
4.5. Sarna común ( <i>Streptomyces</i> spp.).....	31
4.6. Pierna negra [ <i>Pectobacterium atrosepticum</i> (van Hall, 1902) Gardan <i>et al.</i> , 2003] .....	34
4.7. Pudrición blanda [ <i>Pectobacterium carotovorum</i> subsp. <i>carotovorum</i> (Jones) Waldee].....	37
4.8. Paratrioza ( <i>Bactericera cockerelli</i> Sulc) .....	39
4.9. Gallina ciega ( <i>Phyllophaga</i> spp..).....	42
V. MATERIALES Y MÉTODOS .....	46
5.1. Descripción de la zona de estudio .....	46
5.2. Cultivar de papa .....	51
5.3. Manejo de los cultivos de papa.....	52
5.4. Muestreo de cultivos comerciales de papa .....	56
5.5. Diagnóstico fitosanitario.....	58
5.6. Variables de estudio .....	6165
5.7. Análisis de resultados .....	70

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	71
6.1. Incidencia de enfermedades en tubérculos de papa .....	71
6.2. Incidencia de plagas en tubérculos de papa .....	71
6.3. Severidad del daño de enfermedades en tubérculos de papa .....	73
6.4. Severidad del daño de plagas en tubérculos de papa .....	83
6.5. Rendimiento comercial de tubérculos.....	87
VII. CONCLUSIONES .....	89
VIII. LITERATURA CITADA .....	6790
IX. ANEXOS .....	108

## ÍNDICE DE CUADROS

	Página
1. Datos del productor cooperante y de la semilla de papa sembrada en la parcela de Zaragoza de Guadalupe, Calimaya .....	48
2. Datos del productor cooperante y de la semilla de papa sembrada en la localidad de Santa Cruz Pueblo Nuevo, Calimaya .....	49
3. Datos del productor cooperante y de la semilla de papa sembrada en la localidad San Lorenzo Cuauhtenco, Calimaya . .....	50
4. Tratamiento de fertilización y aportación de nutrimentos en el cultivo de papa de la parcela de Zaragoza de Guadalupe, Calimaya, México .....	53
5. Tratamiento de fertilización y aportación de nutrimentos en el cultivo de papa de la parcela de Santa Cruz Pueblo Nuevo, Calimaya, México .....	54
6. Tratamiento de fertilización y aportación de nutrimentos en el cultivo de papa de la parcela de San Lorenzo Cuauhtenco, Calimaya, México .....	54
7. Plaguicidas aplicados para el control de plagas y enfermedades de la papa en la parcela de Zaragoza, Calimaya, México. Ciclo primavera-verano 2021.....	59
8. Plaguicidas aplicados para el control de plagas y enfermedades de la papa en la parcela de Santa Cruz Pueblo Nuevo, Calimaya, México. Ciclo primavera-verano 2021. ....	61
9. Plaguicidas aplicados para el control de plagas y enfermedades de la papa en la parcela de San Lorenzo Cuauhtenco, Calimaya, México. Ciclo primavera-verano 2021.....	62
10. Escala visual de severidad para evaluar el daño de <i>Rhizoctonia solani</i> en tubérculos de papa ( <i>Solanum tuberosum</i> L.) .....	67
11. Escala visual de severidad para evaluar el daño de <i>Streptomyces</i> spp. en tubérculos de papa ( <i>Solanum tuberosum</i> L.) .....	68

12. Incidencia promedio de enfermedades fungosas y bacterianas en tubérculos de papa de tres localidades de Calimaya, México .....	72
13. Incidencia promedio de plagas insectiles en tubérculos de papa de tres localidades de Calimaya, México .....	73
14. V Severidad promedio del daño de enfermedades fungosas y bacterianas en tubérculos de papa de tres localidades de Calimaya, México .....	75
15. Severidad promedio del daño de plagas insectiles en tubérculos de papa de tres localidades de Calimaya, México .....	85
16. Rendimiento comercial de tubérculos de papa en tres localidades de la zona papera de Calimaya, México .....	88

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
1. Mapa de Calimaya, Estado de México .....	46
2. Localización satelital de la parcela 1 en Zaragoza de Guadalupe, Calimaya ...	48
3. Localización satelital de la parcela 2 de Santa Cruz Pueblo Nuevo, Calimaya	49
4. Localización satelital de la parcela 3 de San Lorenzo Cuauhtenco, Calimaya	50
5. Localización geográfica de las parcelas de papa en las tres localidades seleccionadas .....	51
6. Tubérculos de papa variedad Fianna .....	52
7. Cultivo comercial de papa en condiciones para la cosecha de tubérculos .....	57
8. Croquis de método de muestreo de cinco de oros para la detección plagas y enfermedades del tubérculo de papa en cada localidad en estudio .....	57
9. Muestreo, lavado y agrupamiento de tubérculos en base a síntomas y daños al final del ciclo vegetativo del cultivo de papa .....	58
10. Síntomas de costra negra ( <i>Rhizoctonia solani</i> ) y pudrición seca ( <i>Fusarium</i> spp.) en tubérculos de papa .....	65
11. Síntomas de sarna común ( <i>Streptomyces scabiei</i> ) común y pudrición blanda ( <i>Pectobacterium</i> spp.) en tubérculos de papa .....	66
12. Síntomas y daños por paratrioza ( <i>Bactericera cockerelli</i> ) y gallina ciega ( <i>Phyllophaga</i> spp.) en tubérculos de papa .....	66
13. Separación de tubérculos en comerciales y no comerciales .....	69
Figura 14. Incidencia de plagas y enfermedades en tubérculos de papa cv. Fianna en tres localidades de la zona papera de Calimaya, México .....	74
Figura 15. Severidad del daño de plagas y enfermedades en tubérculos de papa cv. Fianna en tres localidades de la zona papera de Calimaya, México .....	77

16. Tubérculo con necrosis reticulada y tubérculo con costra negra por el ataque de <i>Rhizoctonia solani</i> .....	78
17. Tubérculo de papa con síntomas de pudrición seca y cavidades con micelio de <i>Fusarium</i> spp. ....	79
18. Tubérculos de papa con síntomas iniciales y avanzados de sarna común por <i>Streptomyces</i> spp. ....	81
19. Tubérculo con pudrición blanda por <i>Pectobacterium</i> spp. y secreción bacteriana .....	82
20. Corte transversal de tubérculos con necrosis parcial y necrosis total de la medula por el ataque de paratrioza ( <i>Bactericera cockerelli</i> ) .....	85
21. Planta con tubérculos aéreos por el ataque de ninfas de paratrioza.....	86
22. Tubérculos de papa con daños de “gallina ciega” y larva de <i>Phyllophaga</i> spp. ....	87

## RESUMEN

En la región agrícola del Valle de Toluca, Estado de México, el cultivo de papa es atacado por plagas insectiles y enfermedades causadas por hongos, bacterias, nematodos y virus, que afectan los tubérculos ocasionando la disminución del rendimiento y la calidad de éstos. Esta investigación se desarrolló durante el ciclo agrícola primavera-verano 2021 en tres plantaciones comerciales de papa cv. Fianna en las localidades de Zaragoza de Guadalupe, Santa Cruz Pueblo Nuevo y San Lorenzo Cuauhtenco, municipio de Calimaya, México, con el objetivo de determinar la situación fitosanitaria de los tubérculos producidos en la zona papera de este municipio. Después del desecamiento de follaje de las plantas y suberización del tubérculo, se realizó un muestreo en cada parcela empleando el método de cinco deoros, colectando 80 tubérculos por punto de muestreo para un total de 400 por predio. Estos se procesaron *in situ*, se lavaron con agua limpia para eliminar la tierra adherida a la piel y poder observar los síntomas y daños ocasionados por plagas y enfermedades. Se cuantificaron los tubérculos con síntomas de “costra negra”, “pudrición seca”, “sarna común” y “pudrición blanda”; asimismo, se contaron los tubérculos con daños externos e internos por las plagas insectiles “paratrioza” y “gallina ciega”. Con estos datos se determinó la incidencia y la severidad de cada una de las enfermedades y plagas evaluadas, y se estimó el rendimiento comercial de tubérculos cosechados por parcela.

Las cuatro enfermedades y dos plagas estudiadas solo se presentaron en tubérculos de papa de la parcela comercial de San Lorenzo Cuauhtenco, Calimaya, Estado de México. De las cuatro enfermedades evaluadas, la más importante en la zona papera de Calimaya, fue la “sarna común” por *Streptomyces* spp., ya que se presentó en las tres localidades con una incidencia y severidad promedio de 42.34 y 20.04%, respectivamente. La enfermedad con menor incidencia y severidad en la zona fue la “costra negra” con 8.96 y 5.15% en promedio, respectivamente. Los daños ocasionados en los tubérculos por el ataque de paratrioza y gallina ciega fueron relativamente bajos, ya que la



incidencia y severidad de las dos plagas no rebasó el 14 y 10%, respectivamente. En conjunto, la incidencia y severidad de las plagas y enfermedades del tubérculo, afectó el rendimiento comercial de papa cv. Fianna en la zona productora de Calimaya, ya que este fue de 28,333 t ha<sup>-1</sup>, y resultó inferior al rendimiento promedio estatal (29,560 kg ha<sup>-1</sup>) y nacional (31,780 kg ha<sup>-1</sup>).

## ABSTRACT

In the agricultural region of Valle de Toluca, State of Mexico, the potato crop is attacked by insect pests and diseases caused by fungi, bacteria, nematodes and viruses, which affect the tubers, causing a decrease in yield and quality. This research was carried out during the spring-summer 2021 agricultural cycle in three commercial plantations of potato cv. Fianna in the localities of Zaragoza de Guadalupe, Santa Cruz Pueblo Nuevo and San Lorenzo Cuauhtenco, municipality of Calimaya, Mexico, with the objective of determining the phytosanitary situation of the tubers produced in the potato zone of this municipality. After the desiccation of the foliage of the plants and suberization of the tuber, a sampling was carried out in each plot using the method of five golds, collecting 80 tubers per sampling point for a total of 400 per plot. These were processed in situ, washed with clean water to remove the dirt adhered to the skin and to be able to observe the symptoms and damage caused by pests and diseases. The tubers with symptoms of "black scab", "dry rot", "common scab" and "soft rot" were quantified; likewise, the tubers with external and internal damage by the insect pests "paratrioza" and "gallina ciega" were counted. With these data, the incidence and severity of each of the evaluated diseases and pests was determined, and the commercial yield of harvested tubers per plot was estimated

The four diseases and two pests studied only occurred in potato tubers from the commercial plot of San Lorenzo Cuauhtenco, Calimaya, State of Mexico. Of the four diseases evaluated, the most important in the Calimaya potato zone was "common scab" caused by *Streptomyces* spp., since it occurred in the three locations with an average incidence and severity of 42.34 and 20.04%, respectively. The disease with the lowest incidence and severity in the area was the "black scab" with 8.96 and 5.15% on average, respectively. The damage caused to the tubers by the attack of paratrioza and blind chicken were relatively low, since the incidence and severity of the two pests did not exceed 14 and 10%, respectively. Overall, the incidence and severity of tuber pests and diseases

affected the commercial yield of potato cv. Fianna in the producing area of Calimaya, since this was 28,333 t ha<sup>-1</sup>, and it was lower than the state (29,560 kg ha<sup>-1</sup>) and national (31,780 kg ha<sup>-1</sup>) average yield.

## I. INTRODUCCION

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es un cultivo que se clasifica dentro de las hortalizas de raíz y tubérculo. Se produce en todo el mundo y ha llegado a ser parte de la alimentación básica de la población y su importancia se refleja no solo por la superficie que anualmente se destina a su cultivo, sino también por la cantidad de carbohidratos que aporta a la dieta de los consumidores. Gran parte de su producción se destina al abasto de consumo en fresco y el resto es empleado por la industria de frituras y botanas; además, se usa como materia prima para la obtención de almidón y alcohol (FAO, 2008).

La papa es el cuarto cultivo más importante del mundo después del trigo (*Triticum aestivum* L.), arroz (*Oryza sativa* L.) y maíz (*Zea mays* L.) (SIAP, 2020). Se cultiva en más de 20 millones de hectáreas en 150 países y su producción mundial asciende a 359 millones de toneladas (Velázquez, 2020). En México, es uno de los cultivos hortícolas más importantes al grado que en el año 2021 se sembraron 61,292.51 hectáreas cuya producción fue de 1'947,760 toneladas con un rendimiento promedio de 31.78 t ha<sup>-1</sup> y un valor de la producción de 16'380,260.39 miles de pesos (SIAP, 2022). Los estados de Sonora (24.17%), Sinaloa (21.80%), Veracruz (10.33%), Puebla (10.25%), México (7.48%) y Nuevo León (4.62%), son las entidades donde la producción del tubérculo reviste mayor importancia debido a sus niveles de intercambio comercial (SIAP, 2020).

En el 2021 se sembraron en el estado de México alrededor de 4,583.30 hectáreas de papa con una producción de 135,484.83 toneladas y un valor de la producción de 907,418.39 miles de pesos; el rendimiento promedio fue de 29.56 t ha<sup>-1</sup> (SIAP, 2022). Las principales zonas paperas de la entidad, se encuentran en los municipios de Villa Victoria, San José del Rincón, San Felipe del Progreso, Tenango del Valle, Zinacantepec, Temascaltepec, Juchitepec y Calimaya, ya que son lugares que poseen las condiciones de suelo y clima propias para el desarrollo del cultivo.

La calidad de la semilla es muy importante en cuanto a pureza genética, sanidad y madurez fisiológica; además, los tubérculos-semilla deben estar libres de enfermedades de tipo viral. Uno de los factores que limitan la producción agrícola y la calidad de la cosecha son las plagas y las enfermedades que afectan a los cultivos; estas atacan desde que las plantas inician su crecimiento hasta la época de cosecha, y aun durante el almacenamiento de los productos vegetales (Aquino, 2014).

La papa es una de las hortalizas mayormente afectadas por plagas y enfermedades, pero también es la especie más estudiada hasta el momento en relación a la etiología, epidemiología y control de enfermedades que limitan su producción. A pesar de esto, nuevos agentes patogénicos aparecen cada día y la lucha contra ellos se ha convertido en un esfuerzo permanente. Las enfermedades son causadas por microorganismos patógenos, como hongos, bacterias, nematodos y virus, de los cuales una gran cantidad se propagan a través de los tubérculos-semilla; mientras que, la mayoría de las plagas son insectos que se alimentan del follaje y de los tubérculos (INIFAP, 2000). Para el manejo de plagas y enfermedades, es indispensable realizar el monitoreo biológico y ambiental para auxiliarse en la toma de decisiones al elegir la estrategia de control más conveniente, ya sea legal, cultural, biológico, genético o químico (INIFAP, 2015). Es por ello, que en la presente investigación se plantea realizar el muestreo y diagnóstico de las principales enfermedades y plagas que afectan a los tubérculos de papa, así como determinar su incidencia y la severidad del daño provocado por estas en la zona productora de papa de Calimaya, Estado de México.

## II. OBJETIVOS

### 2.1. Objetivo general

Determinar la situación fitosanitaria de los tubérculos de papa producidos en la zona productora del municipio de Calimaya, Estado de México.

### 2.2. Objetivos específicos

- Realizar muestreos fitosanitarios en tres parcelas comerciales de papa ubicadas en las localidades de Zaragoza de Guadalupe, Santa Cruz Pueblo Nuevo y San Lorenzo Cuauhtenco, respectivamente.
- Cuantificar la incidencia y severidad de las enfermedades fungosas y bacterianas más importantes del tubérculo de papa: costra negra (*Rhizoctonia solani*), pudrición seca (*Fusarium* spp.), roña común (*Streptomyces scabiei*), pierna negra y pudrición blanda (*Pectobacterium* spp.) al momento de la cosecha.
- Cuantificar la incidencia y daño de las plagas del tubérculo: gallina ciega (*Phyllophaga* spp.) y paratrioza (*Bactericera Cockerelli*) al momento de la cosecha.
- Determinar el rendimiento comercial de tubérculos y relacionarlo con la incidencia y daños de plagas y enfermedades del tubérculo.

### **III. HIPÓTESIS DE TRABAJO**

La incidencia y severidad de daño de enfermedades y plagas en tubérculos de papa es diferente en al menos una de las tres localidades productoras del municipio de Calimaya, México, en respuesta a las condiciones físicas, de manejo fitosanitario, de suelo y ecológicas de cada zona.

## IV. REVISIÓN DE LITERATURA

### 4.1. Origen e importancia de la papa

La historia de la papa inicia hace unos 8000 años, cerca del Lago Titicaca, que está localizado a 3,800 msnm en la cordillera de Los Andes, América del Sur, en la frontera entre Bolivia y Perú (FAO, 2008). Las comunidades de cazadores y recolectores que habían poblado el sur del continente por lo menos unos 7000 años antes, comenzaron a domesticar las plantas silvestres de papa que se daban en abundancia en los alrededores de dicho lago. Las culturas indígenas desarrollaron más de 200 variedades 2000 años antes de la llegada de los españoles al continente americano. Los restos arqueológicos en honor a la papa demuestran la gran importancia que tuvo su cultivo para los Incas, los cuales se incluían en sus ceremonias religiosas; sin embargo, los conquistadores le dieron importancia únicamente como curiosidad botánica (Limas, 1996).

Los tubérculos de las plantas descritas por Clusius y Bahuin correspondían a diferentes variedades de papa; los tubérculos descritos por Bahuin eran de color café claro y los descritos por Clusius eran rojizos, lo cual permite suponer que debido a la selección artificial ejercida entre 1570 a 1750, la papa pudo variar de una región a otra. Existe evidencia de que los españoles la llevaron por primera vez de Sudamérica a España alrededor de 1580. Los primeros tubérculos que llegaron a España fueron de la especie *Solanum andigenum*, que no se adaptaron a las condiciones de días largos de Europa. Posteriormente, los españoles encontraron en Chile papa de la especie *S. tuberosum* que si se adaptó a las condiciones de España por ser un cultivo de días largos. Fueron los españoles quienes introdujeron la papa a Irlanda, en donde se transformó en un cultivo muy importante, demostrando por primera vez el alto valor comercial de una planta (Limas, 1996).



Durante el siglo XIX, la papa fue el alimento más importante de Irlanda, siendo considerado un alimento vital hasta que en 1840 se presentó una enfermedad llamada “tizón tardío” causada por *Phytophthora infestans*, que debido a la falta de variabilidad genética de la planta y condiciones ambientales desfavorables para el cultivo, provocó pérdidas importantes en la producción y la muerte de millones de personas. A mediados de ese siglo, se hicieron investigaciones genéticas de las plantas y se desarrolló un gran número de variedades productivas, resistentes a enfermedades y de calidad superior. Además, hubo un constante progreso en lo que se refiere al procesamiento del tubérculo, una nueva rama de la industria de alimentos y comenzó a desarrollarse la manufactura de productos alimenticios a partir de la misma (Rowe, 1993).

La historia de la papa en México data de 500 años A.C., donde Villareal señala que nuestros antepasados del altiplano consumían papas silvestres. La papa comenzó a cultivarse a gran escala desde hace aproximadamente 250 años, es decir después de la conquista, sobre todo en la parte alta de las sierras, ya que son lugares que presentan las mejores condiciones climáticas para el buen desarrollo del cultivo. No obstante, la importancia de este cultivo data de 1950 a la fecha; a partir de entonces se abrieron nuevas zonas al cultivo y se formaron nuevas variedades con mejores características de adaptación a las condiciones de nuestro país (Morales, 2012).

En nuestro país, la papa se ha convertido en uno de los productos más importantes cosechados, gracias a las condiciones climatológicas favorables para su cultivo. El 28% de la producción de tubérculos se destina a la industria de las frituras, el 15% a la producción especializada de semilla y el 57% al mercado de consumo en fresco; esto se debe a que los productores de papa han mejorado sustancialmente los procesos de producción, los aspectos de responsabilidad social y el cuidado del ambiente, además es un cultivo de fuerte impacto en las comunidades rurales. En promedio, 8,700 productores se dedican a este cultivo,

que generan aproximadamente 17,500 empleos directos y 51,600 empleos indirectos (SADER, 2020).

## 4.2. Problemática de plagas y enfermedades

Tanto las enfermedades como las plagas y las condiciones ambientales desfavorables, producen pérdidas económicas en el cultivo de papa. La prevención de la aparición de una enfermedad, así como de su desarrollo y dispersión, es un factor de vital importancia para tener éxito en la producción de esta hortaliza (Mendoza, 2015). La presencia de una enfermedad se expresa en diferentes términos: endémica, epidémica y esporádica (Hodkinson, 2009).

**Plagas.** Dentro de las principales plagas de la papa, están: gallina ciega (*Phyllophaga* spp.), gusano de alambre (*Agriotes* spp.), pulga saltona o gusano rayador (*Epitrix cucumeris*), picudo de la papa (*Epicaerus cognatus*), gusano trozador (*Agrotis ipsilon*), palomilla de la papa (*Phthorimaea operculella*), gusano soldado (*Spodoptera* spp.), chicharritas (*Empoasca* spp.), mosquita blanca (*Bemisia tabaci* y *B. argentifolii*), pulgones (*Myzus persicae*, *Aphis gossypii* y *Macrosiphum euphorbiae*) (CIP, 1996; INIFAP, 2000), y paratrioza o psylido de la papa (*Bactericera cockerelli*) (Hodkinson, 2009; CESAVEM, 2014; Bujanos y Ramos, 2015). Pero, solamente la gallina ciega, gusano de alambre, picudo de la papa, palomilla de la papa y paratrioza, ocasionan daños en los tubérculos.

**Enfermedades.** A nivel mundial se han reportado alrededor de 70 enfermedades y desordenes fisiológicos que afectan al cultivo de papa y ocasionan daños severos especialmente a los tubérculos (Herrera y Scott, 1993; Stevenson *et al.*, 2001). Los síntomas de las enfermedades que afectan a los tubérculos de la papa se reconocen como agallas, manchas y pudriciones (Fiers *et al.*, 2012); estos pueden ser ocasionados por hongos, bacterias, nematodos y virus. Sin embargo, el cultivo es atacado principalmente por hongos patógenos que producen enfermedades,

como: tizón tardío (*Phytophthora infestans*), tizón temprano o alternariosis (*Alternaria solani* y *A. alternata*), sarna plateada (*Helminthosporium solani*), costra negra (*Rhizoctonia solani*), sarna verrugosa (*Synchytrium endobioticum*), roña polvorienta (*Spongospora subterranea*), marchitez y pudrición seca del tubérculo (*Fusarium* spp.), gangrena (*Phoma exigua*), verticilliosis o marchitez (*Verticillium albo-atrum* y *V. dahliae*), pudrición blanca (*Sclerotinia sclerotiorum*) y moho gris (*Botrytis cinerea*) (Hooker, 1980; CIP, 1996; Stevenson *et al.*, 2001).

La papa también es afectada por enfermedades producidas por bacterias, tales como: pudrición blanda del tubérculo (*Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum*), pierna negra (*Pectobacterium atrosepticum*), marchitez bacteriana (*Ralstonia solanacearum*, ex *Pseudomonas solanacearum*), cáncer bacteriano (*Clavibacter michiganensis* ssp. *sepedonicus*), sarna común (*Streptomyces scabies*) (Hooker, 1980; Stevenson *et al.*, 2001), y punta morada (*Candidatus Liberibacter solanacearum*, ex Fitoplasma de la Punta Morada de la Papa) (Brown *et al.*, 2010; CABI, 2015).

Entre los principales fitonematodos que atacan a la papa, están los siguientes: nematodo agallador de la raíz o nematodo del mezquino del tubérculo (*Meloidogyne incognita*, *M. hapla* y *M. chitwoodii*), nematodo dorado de la papa (*Globodera rostochiensis*), nematodo falso nodulador de la raíz (*Nacobbus aberrans*), nematodo lesionante (*Pratylenchus* spp.) y nematodo de la pudrición seca del tubérculo (*Ditylenchus destructor* y *D. dipsaci*) (Hooker, 1980; CIP, 1996).

Las virosis más importantes son causadas por: Virus enrollamiento de la hoja de la papa (PLRV por sus siglas en inglés), Virus Y de la papa o “mosaico rugoso” (PVY), Virus Y necrótico de la papa (PVYN); “mosaico latente o suave” causado por varios virus (PVA, PVX, PVM y PVS), y “cálculo de la papa” ocasionado por el Virus Mosaico de la Alfalfa (AMV, por sus siglas en inglés) (Hooker, 1980; Salazar, 1995; González-Franco *et al.*, 2020).

Por otra parte, los hongos y bacterias fitopatógenos en la etapa de cosecha, son: *Fusarium oxysporum*, *F. solani*, *F. verticillioides* (ex. *Fusarium moniliforme*), *Rhizoctonia solani*, *Alternaria* sp., *Colletotrichum* sp., *Spongospora subterranea* f. sp. *subterranea* y *Streptomyces* sp. (García-Ávila et al., 2018).

### **4.3. Costra negra (*Rhizoctonia solani* Kühn)**

**Importancia.** El hongo *Rhizoctonia solani* se encuentra distribuido en todo el mundo (Hooker, 1980; Torres, 2002). Los síntomas que provoca en las plantas dependen del cultivo e incluso de la misma planta hospedante. Los síntomas más frecuentes provocados por este patógeno son ahogamiento de plántulas, pudrición de raíz y pudrición del tallo de plantas adultas; además, causa la pudrición de frutos o vainas que están en contacto con el suelo (Garrido, 2016). En la papa, ocasiona la enfermedad llamada rizoctonia, rizoctoniasis, cáncer de tallos, cáncer de brotes y costra negra (O'Brien y Rich, 1976).

*R. solani* es un hongo muy destructivo y causa pérdidas económicas elevadas en la agricultura (Garrido, 2016); ocasiona daños en la papa y otros cultivos, ya que reduce las plantaciones, producción, calidad y precio (O'Brien y Rich, 1976). La costra negra afecta la apariencia externa de los tubérculos, pero en cuanto a rendimiento del cultivo, varios investigadores reportan que la enfermedad demerita los rendimientos y otros dicen que no es un problema serio (Castro, 1989). La producción en siembras tempranas puede verse afectada gravemente y en la madurez, las plantas atacadas por el patógeno pueden producir hasta un 10% menos que las plantas sanas (Smith, 1992).

**Síntomas.** *R. solani* no solo ataca los tubérculos de la papa causando la "costra negra", sino que también afecta tallos, estolones, brotes y hojas. En los tallos las lesiones producidas por el hongo son canchales de color café a negro con

hendiduras; estos canchros pueden avanzar y llegar a estrangular los tallos en plantas nuevas. Las infecciones tardías causan canchros en los tallos principales induciendo la formación de tubérculos aéreos, amarillamiento del follaje, enroscamiento de hojas y a veces, coloración púrpura de los ápices. Estas lesiones se pueden presentar en la zona del tallo que está a nivel del suelo o debajo de éste. Bajo condiciones de alta humedad del suelo, se puede formar una capa de micelio blanco en la base del tallo, como una especie de fieltro (Hooker, 1980; Montessoro, 2001; Agrios, 2005). El patógeno también ocasiona lesiones en los brotes, lo que puede retrasar o simplemente impedir su emergencia (ICA, 2011).

El síntoma más conocido de la rizoctoniasis es la “costra negra”, la cual se forma por la presencia de estructuras de resistencia del hongo llamados esclerocios sobre la superficie del tubérculo. Los esclerocios pueden variar en tamaño desde muy pequeños, como punteado negro hasta grandes masas irregulares que cubren una gran parte del tubérculo. Muchas veces la costra negra se confunde con tierra negra. Los esclerocios son una fuente importante de transmisión de la enfermedad a través de la semilla. Además, las plantas infectadas tienden a producir una gran cantidad de tubérculos deformes, protuberantes y partidos (Méndez y Gaete, 2000). Algunas veces no se observan esclerocios en el tubérculo, pero el hongo se encuentra en forma de trozos de micelio en los ojos de este (Hooker, 1980; Castro y Contreras, 2011).

### **Clasificación**

Dominio: Eukaryota

Reino: Fungi

Phylum: Basidiomycota

Subphylum: Agaricomycotina

Clase: Agaricomycetes

Subclase: Agaricomycetidae

Orden: Ceratobasidiales

Familia: Ceratobasidiaceae

Género: *Rhizoctonia*

Especie: *R. solani*

Nombre científico: *Rhizoctonia solani* Kühn (CABI, 2021a).

**Epidemiología.** La rizoctoniasis se desarrolla adecuadamente en suelos fríos y húmedos, y puede afectar la emergencia de los brotes y el desarrollo de la planta, reduciendo de forma importante el rendimiento comercial del cultivo (Méndez y Gaete, 2000). El hongo persiste en los restos de plantas en forma de micelio o como esclerocios, así como en el suelo y tubérculos enfermos. Cuando los tubérculos-semilla son sembrados, el hongo germina infectando los brotes, estolones y tallos. Al final de la temporada se forman los esclerocios sobre tubérculos, inducido por la senescencia natural de las plantas. El hongo puede sobrevivir por largos períodos de tiempo en el suelo, ya sea en tubérculos que quedan en el campo o por colonizaciones saprofitas en restos de plantas u otros hospederos del patógeno como las malezas. La temperatura óptima para el desarrollo de *R. solani* es de 18°C, favoreciéndole las condiciones de alta humedad del suelo y del ambiente (Agrios, 2005).

**Medidas de control.** Las prácticas culturales para la prevención de la enfermedad consisten en usar tubérculos-semilla sanos, libres de esclerocios (grupo de anastomosis AG3 por sus siglas en inglés), para evitar la infección de los brotes en pre-emergencia. La rotación de cultivos es una práctica eficiente para controlar el AG3 de *R. solani*, porque este grupo de anastomosis solo afecta a la papa y la cebada, pero no es eficiente para el grupo AG4 que ataca a muchos otros cultivos. La eliminación y quema de los restos de cosecha, es una práctica válida para eliminar el micelio del hongo que se encuentra en los restos de tallos, estolones y tubérculos infectados en campo después de la cosecha (Asociación Andes, 2019).

Los esclerocios son la principal fuente de infección temprana; los riesgos de infección se reducen sembrando a temperaturas del suelo mayores a 10°C, y a una profundidad no mayor de 10 cm. La aplicación de fungicidas al suelo o como desinfectantes de los tubérculos-semilla, no incrementa los rendimientos, pero si la calidad fitosanitaria de los tubérculos cosechados (Torres, 2002). Para lograr un buen control de la enfermedad se recomienda la aplicación de fungicidas al momento de la siembra, sobre los tubérculos y el suelo; los más usados por los productores, son: pentacloronitrobenzeno (PCNB o quintozeno), pencycurón, tolclofos metil, thifluzamide, TCMTB (Montessoro, 2001), azoxystrobin y fluoxastrobin (PLM-DEAQ, 2022). El pencycuron es un fungicida específico para el combate de *R. solani* del grupo de anastomosis AG-3 (Chávez, 2009).

En cuanto al biocontrol, se ha demostrado que varias especies de la bacteria *Bacillus* (Hernández-Castillo *et al.*, 2008; Villarreal-Delgado *et al.*, 2018; Pedraza *et al.* 2020), y del hongo *Trichoderma* (Martínez *et al.*, 2013), poseen actividad antifúngica contra este patógeno. Actualmente existe una amplia gama de formulados comerciales a base de *Bacillus* spp. y *Trichoderma* spp. para el biocontrol de *R. solani* en papa y otras hortalizas (PLM-DIPO, 2019). También, los extractos vegetales de gobernadora (*Larrea tridentata*) poseen actividad antifúngica contra *R. solani* (Hernández-Castillo *et al.*, 2008).

#### **4.4. Pudrición seca (*Fusarium* spp.)**

**Importancia.** La papa es atacada por diferentes especies de *Fusarium*. Algunas ocasionan el marchitamiento vascular de la planta, como *Fusarium oxysporum* y *F. solani*; mientras que, otras causan la pudrición seca del tubérculo, como *F. graminearum* (ex. *F. roseum*), *F. avenaceum*, *F. sambucinum* (= *F. sulphureum*) y *F. coeruleum* (Montessoro, 2001). Otra especie asociada a la pudrición seca del tubérculo es *F. verticillioides* (ex. *Fusarium moniliforme*) (García-Ávila, 2018). La

podrición seca es una enfermedad que afecta los tubérculos de papa en almacén y los que se emplean como semilla vegetativa. En campo, los tubérculos con arrugamiento de la epidermis pueden pasar desapercibidos, pero la semilla fraccionada con cavidades son síntomas muy evidentes en almacén (Hooker, 1980; INIFAP, 2000).

**Sintomatología.** El hongo puede infectar la planta a través de heridas o directamente por la punta de las raíces. Después de atravesar los tejidos del córtex comienza a colonizar el xilema de las raíces para llegar a la raíz principal. La producción de micro conidios permite que el hongo avance hacia la parte superior de la planta cuando estas son llevadas por el torrente de savia ascendente para colonizar nuevos tejidos; ya en la fase terminal, el hongo puede invadir los tejidos de la médula de la raíz y el tallo. Los primeros indicios de la enfermedad se manifiestan en el follaje ya avanzado el ciclo del cultivo (Agrios, 2005).

Las hojas de las plantas afectadas presentan una decoloración amarillenta de los tejidos, en forma de manchas cercanas al borde o en la punta de la hoja. La parte central de las lesiones cambia a un color café rojizo. La lesión avanza en forma intervenal hacia la nervadura central; finalmente las hojas cuelgan y quedan adheridas a la planta (Montessoro, 2001)

Las plantas que emergen de un tubérculo enfermo, pueden presentar tallos con lesiones hundidas y alargadas de color marrón. También se puede observar una decoloración de los tejidos vasculares. Bajo condiciones húmedas, el tallo se pudre y la planta muere rápidamente, mientras que bajo condiciones secas, la marchitez se desarrolla más lentamente, provocando una extensa decoloración vascular del tallo y de los tubérculos nuevos. En un corte longitudinal del tallo y raíz se aprecia una decoloración café de los haces vasculares, la cual se extiende hacia la parte central en la porción más dañada (Mulder y Turkensteen, 2005).



La pudrición seca del tubérculo se presenta en almacén y alcanza de 3 a 5 cm. El tubérculo presenta primero lesiones oscuras, ligeramente hundidas, que luego se extienden superficialmente con pudrición interior, dejando cavidades internas; luego, el tubérculo se deshidrata; el borde de la pudrición es claramente definido. Al cortar el tubérculo, se observa internamente la pulpa de color castaño a chocolate oscuro, con bordes más o menos definidos y la presencia de cavidades tapizadas de micelio del hongo. En un corte tangencial de lesiones jóvenes se notan los tejidos de un color similar al que resulta de los golpes; a medida que la lesión progresa, el tejido sano se separa por una capa de células suberizadas de color café rojizo que contrasta fuertemente con el color blanco cremoso del tejido sano. Con el tiempo las lesiones aumentan de tamaño y se forman cavidades dentro del tubérculo; sobre las lesiones se presenta el micelio del hongo cuyo color depende de cada especie. Finalmente, los tubérculos podridos se endurecen y se momifican, o pueden ser invadidos por patógenos secundarios como la bacteria *Pectobacterium* spp. (ex *Erwinia* spp.). En este caso, se mezcla la pudrición seca con la pudrición blanda acuosa y la apariencia del tubérculo cambia, predominando la pudrición acuosa. Si los tubérculos enfermos son usados como semilla, producen plantas débiles y pálidas que pueden llegar a marchitarse y morir (Agrios, 2005).

### **Clasificación**

Dominio: Eukaryota

Reino: Fungi

Phylum: Ascomycota

Subphylum: Pezizomycotina

Clase: Sordariomycetes

Orden: Hypocreales

Familia: Nectriaceae

Género: *Fusarium*

Especies: *F. oxysporum*, *F. solani*, *F. graminearum*, *F. avenaceum*, *F. sambucinum* y *F. coeruleum* (CABI, 2022).

**Epidemiología.** Las especies de *Fusarium* pueden sobrevivir varios años en el suelo, desde donde pueden infectar a la planta y a los tubérculos. La mayor parte de la infección de los tubérculos se presenta durante la cosecha, penetrando a través de heridas (Monreal, 2001). Las especies de este patógeno necesitan heridas para poder penetrar en los tejidos y la infección se lleva a cabo por heridas durante la cosecha de los tubérculos. La pudrición se desarrolla rápidamente a temperaturas entre 15 a 20°C, combinadas con alta humedad relativa (Montessoro, 2001).

**Medidas de control.** Eliminación de posibles fuentes de inóculo del hongo mediante el uso de tubérculos-semilla de papa certificada, destrucción de restos de papas de almacenamiento y rotación de cultivos. Prevenir las heridas en los tubérculos; las magulladuras, golpes y heridas durante la cosecha y selección de la semilla son puntos de infección del hongo. Temperaturas moderadas de 10-13°C, alta humedad relativa (80 a 90%) y buena ventilación por lo menos 10-14 días post-cosecha. Evitar suelos muy fríos, calientes, saturados o muy secos al momento de la plantación y la cosecha. Tratamiento de la semilla con fungicidas para proteger las heridas de la entrada del patógeno (Acuña *et al.*, 2015).

Durante el almacenamiento, los tubérculos pueden ser tratados con fungicidas, como tiofanato metílico, fludioxonil o tiabendazol (Montessoro, 2001); otros fungicidas recomendados para el control de *Fusarium*, son: benomilo, carbendazim, procloraz e himexazol (PLM-DEAQ, 2022). Para el control biológico del patógeno se recomienda la aplicación de hongos micoparásitos como *Trichoderma* spp. (Aquino-Martínez *et al.*, 2008; Michel-Aceves *et al.*, 2009; Wang *et al.*, 2015), o de bacterias antagonistas como *Bacillus* spp. (Villarreal-Delgado *et al.*, 2018; Pedraza *et al.* 2020). Estos dos agentes de biocontrol vienen incluidos en múltiples productos biológicos comerciales (PLM-DIPO, 2019).

#### 4.5. Sarna común (*Streptomyces* spp.)

**Importancia.** La sarna común está presente en la mayoría de las zonas productoras de papa más importantes del mundo (Hooker, 1981; Loria *et al.*, 1997; Torres, 2002). Esta enfermedad reduce la calidad comercial de los tubérculos que se emplean como semilla (INIFAP, 2000; Torres, 2002) y para consumo en fresco (Ramírez y Sainz, 2022); está considerada por los agricultores de EUA como la cuarta enfermedad más importante de la papa en ese país (Loria *et al.*, 1997). En algunos campos de cultivo de Chile, los tubérculos infectados llegan al 80%, pero no se producen pérdidas en el rendimiento (Torres, 2002). En la zona productora de papa del centro de México, la enfermedad se encuentra ampliamente distribuida, por lo que se deben desinfectar los tubérculos-semilla y el suelo al momento de la siembra (INIFAP, 2000). En Sinaloa, en la mayoría de los casos hay incidencias del 100%, ocasionando pérdidas económicas considerables (Ramírez y Sainz, 2022).

La sarna o roña común de la papa, es una enfermedad importante causada por un complejo de especies del género *Streptomyces*, cuyo representante más antiguo es *Streptomyces scabiei* (ex. *Streptomyces scabies*) (Hooker, 1980; Loria *et al.*, 1997; Moreno, 2020). La enfermedad es grave desde el punto de vista de calidad del producto, pero respecto al rendimiento del cultivo y a la conservación, los daños que se pueden derivar no son importantes. El patógeno está presente en todos los suelos en los que se cultiva papa debido al uso de semilla infectada, aunque también existen evidencias de que éste ya forma parte de la flora nativa en muchos suelos (Palacio y Cambra, 2004).

**Síntomas.** Esta enfermedad se caracteriza por lesiones necróticas, reticuladas, corchosas y profundas en la superficie del tubérculo. La presencia de síntomas de roña reduce la calidad comercial de los tubérculos y sanitaria de la papa (Moreno, 2020). En casos muy severos de ataque, las plantas detienen su crecimiento y pueden marchitarse. Los tubérculos son los más afectados, los síntomas de la

sarna son muy diversos, pero generalmente se presentan como lesiones corchosas irregulares, de color café, de tamaño variable que se desarrollan en cualquier lugar de la superficie del tubérculo. Los tubérculos maduros ya no son susceptibles a la infección, pero las lesiones formadas pueden seguir expandiéndose a medida que el tubérculo crece, aumentando la severidad del daño. Los síntomas de sarna son más severos cuando el tubérculo se desarrolla bajo condiciones templadas y secas. Aquellos suelos que se secan rápidamente son más conductivos de la enfermedad (Méndez y Gaete, 2000); también los aquellos con pH de reacción neutra a alcalina (Herbario Virtual Fitopatología, 2022).

### **Clasificación**

La primera especie de *Streptomyces* identificada como agente causal de la sarna común de la papa fue *Streptomyces scabiei* (Sin. *Streptomyces scabies*) (Lambert y Loria, 1989), siendo la predominante en EUA (Flores-González *et al.*, 2008; Dees *et al.*, 2013; Leiminger *et al.*, 2013). El cambio de nombre de *S. scabies* a *S. scabiei* se dio en 1997, pero el nombre original sigue siendo el más aceptado por investigadores en fitomejoramiento y manejo de enfermedades (Braun *et al.*, 2017). Existen otras especies asociadas a la enfermedad en el cultivo de papa, tales como *S. turgidiscabies* (Montessoro, 2001; Ramírez y Sáinz, 2022), *S. acidiscabies* (Montessoro, 2001; Zhao, 2010; Lapaz, 2014), *S. europaeiscabiei* (Bouchek-Mechiche *et al.*, 2000; Flores-González *et al.*, 2008; Lapaz, 2014), y *S. stilliscabiei* (Leiminger *et al.*, 2013). La clasificación del agente causal más frecuente de la sarna común, es la siguiente:

Dominio: Bacterias

Phylum: Actinobacteria

Clase: Actinobacteria

Subclase: Actinobacteridae

Orden: Actinomycetales

Suborden: Streptomycineae

Familia: Streptomycetaceae

Género: *Streptomyces*

Especie: *S. scabiei*

Nombre científico: *Streptomyces scabiei* [(ex Thaxter 1892) Lambert & Loria, 1989] (CABI, 2021b).

**Epidemiología.** La bacteria se encuentra en los tubérculos infectados y en el suelo en donde persiste por más de 10 años. La infección de las plantas de papa se realiza por medio de las esporas de reposo que se hallan en el suelo y en los tubérculos infectados usados como semilla. Una humedad suficiente en el suelo y una temperatura entre 16 a 20°C son condiciones necesarias para que se produzca la infección. Bajo estas condiciones, la sarna se forma en menos de tres semanas desde el momento de la infección (Torres, 2002). *S. acidiscabies* se desarrolla en suelos ácidos (hasta un pH de 4.5) y *S. scabiei* en suelos con pH de 5.2 o más. *S. scabiei* produce dos fitotoxinas: thaxtomin A y thaxtomin B. Thaxtomin A produce los síntomas iniciales en los tubérculos en desarrollo (Castro y Contreras, 2011).

**Medidas de control.** Usar tubérculos-semilla sanos, procedentes de campos limpios; rotación del cultivo con maíz, trigo, cebada, avena y alfalfa. Mantener el pH del suelo entre 5 a 5.2, usando fertilizantes de reacción ácida como sulfato de amonio y urea, especialmente para controlar *S. scabiei*. Sembrar variedades tolerantes o resistentes a la enfermedad. Muy pocos fungicidas son efectivos contra los patógenos del suelo que afectan a la papa, incluyendo a *S. scabiei* (Torres, 2002); sin embargo, la desinfección de los tubérculos-semilla, primero con hipoclorito de sodio al 1% y luego con fungicidas como mancozeb o mancozeb + carbendazim, es un tratamiento eficiente que reduce. Otros productos que han dado buenos resultados en tratamiento a la semilla son fluazinam, oxitetraciclina + estreptomicina, clorotalonil y mancozeb (Leyva-Mir *et al.*, 2014).

Las aplicaciones al suelo de pentacloronitrobencono (PCNB o quintozeno) controlan la sarna común durante el primer año, pero dejan de ser eficaces en los siguientes años. También el empleo de urea formaldehida líquida ha resultado exitosa en algunos ensayos (Hooker, 1981). La combinación de hipoclorito de sodio más tiofanato metílico o benomilo puede reducir la presencia de la enfermedad en los tejidos vegetales que cuando se aplican por separado (Ramírez y Sainz, 2022). Otros productos recomendados son fluazinam y fluoxystrobin (Herbario Virtual Fitopatología, 2022).

En cuanto al control biológico de la sarna común, la aplicación de la bacteria *Bacillus subtilis*, sola o en mezcla con el hongo *Trichoderma* spp., puede ayudar a disminuir la incidencia y severidad de la enfermedad (Mendoza, 2015). Por otra parte, experimentos *in vitro* demuestran que el control biológico de *S. turgidiscabies* es posible con cepas de *Streptomyces* no patogénicas, pero las interacciones pueden ser complicadas (Hiltunen *et al.*, 2009).

#### **4.6. Pierna negra [*Pectobacterium atrosepticum* (van Hall, 1902) Gardan *et al.*, 2003]**

**Importancia.** La pierna negra, pata negra o pío negro de la papa es una enfermedad bacteriana causada por varias especies de *Pectobacterium*, pero solo *Pectobacterium atrosepticum* (ex. *Erwinia atroseptica*), es un patógeno exclusivo de la papa (Montessoro, 2001; Palacio y Cambra, 2004). Esta bacteria ocasiona daños a la planta en campo como pierna negra y ataca a los tubérculos en almacén como pudrición blanda (Hooker, 1980; Montessoro, 2001).

**Síntomas.** La pierna negra causada por *P. atrosepticum* se presenta cuando la planta es joven y apenas comienza a desarrollar tubérculos, causa un marchitamiento que inicia en los brotes apicales y posteriormente invade el resto del follaje. Las hojas pierden turgencia y el tallo subterráneo cambia de color y se

putrefacción. Las plantas afectadas detienen su desarrollo, son de crecimiento erecto y envarado, particularmente en su primera etapa de crecimiento. El follaje se vuelve clorótico, los folíolos inicialmente tienden a enrollarse con los márgenes laterales hacia arriba, luego se marchitan y mueren. Posteriormente, la planta puede marchitarse lentamente y eventualmente morir. Los retoños o brotes pequeños, de ser invadidos pueden morir antes de emerger (Trujillo y Perera, 2019).

En la parte subterránea y base del tallo se observa un ennegrecimiento que se transforma en un definido color negro. Los tejidos invadidos por las bacterias terminan por resquebrajarse. Una vez desintegrado el tallo, la planta se marchita y muere. Las bacterias pasan a los tubérculos a través de los tejidos vasculares, produciendo una pudrición húmeda cuyo color puede variar desde el ligeramente blanco cremoso hasta el castaño oscuro (Trujillo y Perera, 2019).

### **Clasificación**

Dominio: Bacterias

Phylum: Proteobacterias

Clase: Gammaproteobacteria

Orden: Enterobacteriales

Familia: Enterobacteriaceae

Género: *Pectobacterium*

Especies: *P. atrosepticum*

Nombre científico: *Pectobacterium atrosepticum* [(van Hall, 1902) Gardan *et al.*, 2003] (CABI, 2021c).

**Epidemiología.** Las condiciones adecuadas para el desarrollo de la enfermedad en campo son temperaturas relativamente bajas (15-19°C) y alta humedad del suelo (Montessoro, 2001). Los suelos húmedos y fríos durante la época de siembra y luego temperatura alta después de la emergencia de la planta, favorecen la presencia de pierna negra post-emergente. La principal fuente de infección son los tubérculos-semilla infectados (Asociación Andes, 2019). Cuando

los tubérculos contaminados se siembran, la bacteria puede infectar a la planta y los tubérculos hijos; la infección progresa hacia el tallo causándole una pudrición negra conocida como pierna negra. La enfermedad se extiende a las plantas vecinas y distancias más grandes a través del agua de riego o de la lluvia. En campo, las bacterias invernan en los residuos de la cosecha anterior, plantas aventureras, plantas silvestres, dentro del cuerpo de insectos vectores, especialmente larvas y pupas (Montessoro, 2001).

**Medidas de control.** La manera más práctica de prevenir la enfermedad es el empleo de semilla sana y la rotación de cultivos. Durante el desarrollo del cultivo es de suma importancia descartar las plantas enfermas, así como aquellas que las rodean. En lotes de producción de semilla, es importante cosechar al último las parcelas donde se detectó la enfermedad y bajo condiciones de humedad mínima (Montessoro, 2001). Cuando la enfermedad se presenta en campo, se pueden hacer aplicaciones dirigidas a la base del tallo y suelo adyacente con antibióticos específicos, como: estreptomina, estreptomina + oxitetraciclina, gentamicina + oxitetraciclina y kazugamicina (PLM-DEAQ, 2022).

A nivel experimental se encontró que dos aislamientos de *Streptomyces* inhibieron el crecimiento *in vitro* de *P. atrosepticum* y *P. carotovorum* subsp. *carotovorum*; sin embargo, sólo *Streptomyces* TP199 disminuyó la maceración de los tubérculos y se observó en la endoriza de la planta de papa Pukará-INIA. Las actinobacterias están presentes en papas Chilotas (originarias de Chile) y pueden tener efectos antagonicos contra patógenos bacterianos (Padilla, 2017).



#### 4.7. Pudrición blanda [*Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum* (Jones) Waldee]

**Importancia.** La pudrición blanda del tubérculo es ocasionada por *Pectobacterium carotovorum* (ex. *Erwinia carotovora*); además de la papa, ataca a un gran número de hortalizas tanto en campo como en almacén (Palacio y Cambra, 2004).

**Síntomas.** *P. carotovorum* ataca a los tubérculos en almacén o en el suelo antes de la cosecha; también se presenta en aquellos tubérculos-semilla que se deterioran después de la siembra. La infección se produce a través de las lenticelas, heridas o por el extremo del estolón que se conecta con la planta madre. Las lesiones asociadas a las lenticelas se presentan en forma de áreas circulares húmedas, ligeramente hundidas, de color canela a castaño, de 0.3 a 0.6 cm de diámetro. En un ambiente seco estas áreas se hunden profundamente, se endurecen y se secan. El tejido afectado es húmedo, de color crema a canela, de consistencia blanda ligeramente granular. A medida que avanza la pudrición adquiere un olor fétido y toma una consistencia viscosa o pegajosa, debido a la invasión de organismos secundarios (Hooker, 1980).

#### **Clasificación**

Dominio: Bacterias

Phylum: Proteobacterias

Clase: Gammaproteobacteria

Orden: Enterobacteriales

Familia: Enterobacteriaceae

Género: *Pectobacterium*

Especies *P. carotovorum*

Nombre científico: *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum* (Jones)

Waldee, 1975 (CABI, 2021d)

**Epidemiología.** La contaminación de los tubérculos-semilla con *Pectobacterium* spp. es favorecida por la presencia de humedad en el suelo y temperaturas frescas; por lo que, la enfermedad se encuentra más generalizada en áreas productoras frías. Las células de *Pectobacterium* tienen la capacidad de sobrevivir por 80 a 110 días a 2°C, pero a temperaturas más altas el periodo de sobrevivencia es más corto. La vida media de las células de la bacteria en el suelo es de aproximadamente 0.8 días a -29°C, 7.8 días a 0°C, 5.6 días a 7°C, 4.1 días a 13°C, 0.8 días a 18°C y 0.6 días a 24°C. Varias especies de insectos diseminan la bacteria, así como la lluvia y salpicadura del agua de riego; los implementos que se emplean para fraccionar la semilla son responsables de la contaminación del material de propagación (Asociación Andes, 2019). En almacén, las condiciones de alta humedad y temperatura provocan que las lenticelas se abran, permitiendo que la bacteria penetre e infecte los tejidos; ya dentro del tubérculo, la bacteria se multiplica rápidamente ocasionando la pudrición de éste. La temperatura óptima para el desarrollo de la enfermedad es de 24°C (Montessoro, 2001). La invasión de *Fusarium* spp. a los tubérculos puede predisponer el tejido a la pudrición blanda y favorecer el desarrollo de dicha enfermedad (Asociación Andes, 2001).

**Medidas de control.** Eliminación del rastrojo del cultivo anterior y malezas, rotación de cultivos, uso de tubérculos-semilla sanos, evitar riegos pesados y anegamiento del campo, desinfección de las herramientas de trabajo con cloro al 3%, selección y almacenamiento adecuado de los tubérculos y (Pérez y Forbes, 2011). Realizar la cosecha cuando los tubérculos estén bien maduros y cuando exista poca humedad en el suelo. Se recomienda enfriar los tubérculos a 10°C o menos inmediatamente después de la cosecha y luego almacenarlos a temperaturas entre 1.6 y 4.5°C; además de mantener una buena ventilación del almacén para reducir la cantidad de CO<sub>2</sub> y evitar la formación de películas de agua sobre los tubérculos. Los tubérculos no deben lavarse antes de almacenarse y en caso de hacerlo antes de la comercialización, deben secarse antes de empacarlos (Hooker, 1980).

Entre los microorganismos evaluados para el control biológico de *P. carotovorum* están rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal como *Pseudomonas fluorescences*, bacterias endófitas y *Bacillus subtilis*. Esta última ha sido la antagonista más efectiva para reducir la pudrición blanda en tubérculos de papa, debido a su notable capacidad para sobrevivir en condiciones adversas gracias al desarrollo de endosporas y la producción de compuestos antimicrobianos como lipopéptidos, antibióticos y bacteriocinas, a través de la inducción de la activación de respuestas de defensa del huésped (Gerayeli y Baghaee, 2018). También algunas especies de la bacteria filamentosa *Streptomyces* se han estudiado como agentes de biocontrol del patógeno de la pudrición blanda del tubérculo (Pérez-Rojas *et al.*, 2015; Caro-Castro *et al.*, 2019).

#### **4.8. Paratrioza (*Bactericera cockerelli* Sulc)**

**Importancia.** La “paratrioza” es un insecto chupador de savia parecido a los pulgones. Probablemente es originario del noreste de E.U.A. donde fue hallado en 1909 y adquirió importancia por inducir el amarillamiento de plantas en el cultivo de papa en el Estado de Colorado. Fue descubierto por Cockerell, en cuyo honor fue llamado primero *Trioza cockerelli* y posteriormente *Paratrioza cockerelli*; actualmente su nombre científico es *Bactericera cockerelli* (Tamayo, 2014; Bujanos y Ramos, 2015). Los psílidos transmiten las enfermedades conocidas como “punta morada de la papa” y “permanente del tomate”, siendo ambas muy perjudiciales para los cultivos afectados (Koppert, 2022).

Es una plaga de gran importancia económica que inicialmente afectaba la papa y en años recientes se ha vuelto un problema para otras solanáceas como tomate, pimiento, berenjena y tabaco. El psílido de la papa era considerado una plaga secundaria hasta que se le determinó responsable de daños severos en los cultivos, los cuales se pueden clasificar en directos e indirectos, siendo los segundos los más preocupantes y difícil de manejar (CESAVEM, 2014).

**Síntomas y daños.** Este insecto plaga transmite una bacteria patógena a los cultivos de papa, jitomate y tomate de cáscara; está asociado con la enfermedad conocida como “punta morada” y el manchado del tubérculo en el cultivo de papa. El psílido *B. cockerelli*, comúnmente llamado “paratrioza”, ha sido una de las principales plagas de las solanáceas durante los últimos años; puede ocasionar daños directos a las plantas por alimentación e indirectos mediante la transmisión de la bacteria patogénica *Candidatus Liberibacter solanacearum* (Bujanos y Ramos, 2015).

Los daños directos son causados únicamente por las ninfas, debido a la inyección de toxinas, lo cual induce síntomas en las hojas de las plantas que se conocen como “amarillamiento del psilido” que también llega a ocasionar el manchado del tubérculo. Los daños causados por las ninfas pueden matar a las plantas si se establecen en las hojas antes de la floración; las hojas colonizadas por las ninfas muestran una actividad anormal tipo hormonal. Las plantas se notan amarillentas y raquílicas con merma de rendimiento y tubérculos pequeños, de poca calidad comercial. Si las ninfas permanecen en la planta, llegan a provocar el manchado del tubérculo; sin embargo, el tubérculo usado como semilla puede producir plantas normales si no fue infectado por la bacteria de la punta morada (Garzón, 2002).

El principal daño indirecto de la paratrioza, es la transmisión del patógeno que ocasiona la enfermedad conocida como “punta morada de la papa” (PMP). Los síntomas de la enfermedad en México son similares a los de “zebra chip” en Estados Unidos y han sido reportados en diferentes países, entre ellos México (Rubio *et al.*, 2006), Nueva Zelanda (Liefting *et al.*, 2008), noroeste de Estados Unidos y Centroamérica (Munyaneza *et al.*, 2007; Munyaneza *et al.*, 2008; Secor *et al.*, 2009).

## Clasificación

Originalmente, Cawford en 1914 incluyó al pulgón saltador de la papa en el género *Paratrioza*; posteriormente, Burckhardt y Lauterer (1997) y Hodkinson (2009), lo colocaron dentro del género *Bactericera* de la familia Triozidae, clasificación que fue corroborada por Burckhardt y Ouvrard (2012). Por lo anterior, la clasificación actual de la paratrioza, es la siguiente:

Dominio: Eukaryota

Reino: Metazoa

Phylum: Arthropoda

Subphylum: Uniramia

Clase: Insecta

Orden: Hemiptera

Suborden: Sternorrhyncha

Desconocido: Psylloidea

Familia: Triozidae

Género: *Bactericera*

Especie: *B. cockerelli*

Nombre científico: *Bactericera cockerelli* Sulc (CABI, 2021e)

**Epidemiología.** El insecto completa su ciclo con 356 unidades calor (UC) considerando una temperatura mínima de 7°C para que no se detenga su desarrollo (Rubio-Covarrubias *et al.*, 2013). La temperatura óptima para el desarrollo de paratrioza es de 27°C; a 32°C disminuye su reproducción y desarrollo, pero con temperaturas mayores a 35°C ya no sobrevive (Munyanza, 2012). El rango óptimo de temperatura para el desarrollo del insecto es de 21-27°C (Capinera, 2001; Munyanza, 2010).

**Medidas de control.** Para el control químico de esta plaga se recomiendan insecticidas sistémicos y de contacto, como: abamectina, acefate, acetamiprid,

bifentrina, cipermetrina, flonicamid e imidacloprid, entre otros. En la elección del insecticida a utilizar, debe considerarse el historial de los ingredientes activos aplicados, así como asegurarse de usar productos registrados para plaga y cultivo por las respectivas autoridades en materia de fitosanidad (Asociación Andes, 2019). Otros insecticidas recomendados en México para el manejo químico de la plaga, son: amitraz, flupyradifurone, pimetrozyne, spiromesifen, spirotetramat y thiametoxam (PLM-DEAQ, 2022),

El control biológico de paratrioza se realiza con insectos entomófagos del género *Chrysoperla*, *Orius*, *Geocoris* y algunos coccinélidos que se alimentan de las ninfas o huevecillos del insecto. Pero, también se recomiendan hongos entomopatógenos para el biocontrol de insectos de cuerpo blando, tales como *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, *Paecilomyces fumosoroseus* (Ramírez *et al.*, 2008; CESAVEM, 2014), y *Lecanicillium lecanii* (PLM-DIPO, 2019).

#### **4.9. Gallina ciega (*Phyllophaga* spp.)**

**Importancia.** La plaga se conoce con los nombres vulgares de gallina ciega, gusano blanco y nixticuilt (Guzmán-Vásquez *et al.*, 2017). Las especies mayormente asociadas a los cultivos pertenecen a los géneros *Phyllophaga* y *Cyclocephala* (DGSV-CNRF, 2020); pero las especies asociadas al cultivo de la papa, son *Phyllophaga crinita* (Peña, 1998), *P. vetula* (Ruiz-Vega *et al.*, 2012), *P. obsoleta* (Toledo, 2016) y *P. ravidia* (Aragón-García *et al.*, 2008).

No todas las especies de gallina ciega son plaga de los cultivos, la mayoría son benéficas ya que ayudan a que circule el agua y el aire entre las raíces y las partículas de suelo; comen restos vegetales y aceleran la transformación de compuestos duros en sustancias que son aprovechadas fácilmente por los microorganismos del suelo (DGSV-CNRF, 2020). Sin embargo, la gallina ciega se

encuentra entre las larvas de insectos del suelo más destructoras y problemáticas (Peña, 1998). La capacidad de cada especie para causar daño a las plantas se debe a su habilidad para comer y digerir diferentes productos alimenticios en ambientes o condiciones variables (Morón *et al.*, 2016).

**Síntomas y daños.** Las especies bianuales de gallina ciega son las que causan mayores daños, debido a que en la época de siembra (mayo-junio) ya se tiene presencia de larvas grandes en el suelo que causan daños a las raíces en formación, a los tubérculos recién plantados, y durante la formación de los tubérculos. El daño que ocasionan son laceraciones en los tubérculos ya desarrollados, los cuales pierden calidad y se vuelven susceptibles al daño de hongos y bacterias del suelo (Cortez y Hurtado, 2002).

La larva se introduce en el suelo en busca de tubérculos. Este estadio tiene una duración de un mes y medio y acontece entre los meses de febrero a mayo. Son pequeños gusanos de color blanco y su cabeza de un color marrón característico y sin patas. Tiene forma de media luna y en su mayor desarrollo llega a medir 1 cm y pasa por cuatro estadios larvales. Las larvas en el suelo comienzan a construir sus envolturas, etapa que dura alrededor de un mes y medio antes de convertirse en pupa. Las larvas después de nacidas dañan a los tubérculos, haciendo pequeños orificios que pasan por desapercibidos, éstas hacen galerías o túneles y al salir dejan un orificio para luego meterse al suelo hasta una profundidad de 10 a 30 cm. Esto ocurre donde se amontona la papa después de la cosecha en campo y en lugares de almacenamiento; los adultos salen por la noche para alimentarse de hojas, ocasionando daños por los bordes de la hoja a manera de una semi-luna (Asociación Andes, 2019).

### **Clasificación**

Dominio: Eukaryota

Reino: Metazoa

Phylum: Arthropoda

Clase: Insecta

Orden: Coleoptera

Familia: Melolonthidae

Subfamilia: Melolonthinae

Género: *Phyllophaga*

Especie: spp.

Nombre científico: *Phyllophaga* spp. (EPPO, 2020).

**Epidemiología.** Las especies del género *Phyllophaga* se dividen en dos: aquellas que completan su ciclo vital en dos años y aquellas que lo concluyen en uno. Las primeras tienden a estar confinadas a regiones bajas con temperaturas más altas que tienen periodos de sequía prologados, de 4 a 6 meses; mientras que, las segundas ocurren en zonas de elevaciones intermedias y una estación seca de 2 a 3 meses (Ayala y Monterroso, 1998). A pesar de que las hembras adultas de *Phyllophaga* spp., tienen alas funcionales capaces de volar, se consideran voladores débiles que difícilmente cubrirán grandes distancias. Los escarabajos emergen del suelo y vuelan de noche, generalmente después de una lluvia o riego significativo. Los períodos de vuelo pueden durar varias semanas. Los adultos se esconden en el suelo durante el día y vuelan a los árboles para aparearse y alimentarse por la noche (Weppler, 2008).

**Medidas de control.** La práctica más utilizada es la rotación de cultivos; otra medida es la preparación del suelo con anticipación a la siembra para que actúen los controladores biológicos: gallinas, pájaros, insectos, etc. Se recomienda sembrar en la última semana de mayo y la primera de junio. Los adultos pueden controlarse con lámparas de luz (Rocha-Rodríguez y Quijano-Carranza, 2015).

Una de las estrategias preventivas dentro del control químico es el tratamiento de la semilla con productos insecticidas, sobre todo en zonas de alta incidencia de la plaga. Esta práctica evita también el ataque de otras plagas, lo cual hace que sea



una medida preventiva casi obligatoria en los cultivos. La protección de la semilla tiene una duración aproximada de 15 a 20 días. La acción de esta medida se complementa con la aplicación de insecticidas granulados al suelo (Pérez y Forbes, 2017). Entre los insecticidas que se utilizan en México para el control de esta plaga, están: carbofuran, terbufos, teflutrin, clorpirifos, imidacloprid (De Liñán, 2021; PLM-DEAQ, 2021), bifentrina, cadusafos, fipronil, teflutina y thiametoxam (DGSV-CNRF, 2020.). La aplicación de los insecticidas granulados se realiza al momento de la siembra a un costado de la semilla. Además el riego ayuda a que los insecticidas granulados puedan llegar a las profundidades donde se encuentran las larvas de gallina ciega. Por otro lado, el insecticida imidacloprid es muy soluble, lo que permite su aplicación a través del sistema de riego (Pérez y Forbes, 2017).

El control biológico de la gallina ciega consiste en la aplicación de hongos entomopatógenos, como *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae* (CESAVEM, 2015), bacterias como *Bacillus popilliae* y nematodos como *Heterorhabditis bacteriophora* que controlan las larvas del insecto, sobre todo del primer instar. Los entomopatógenos infectan a las larvas por contacto, ingresan a su cuerpo para alimentarse y reproducirse, y finalmente causar la muerte de las larvas (INTAGRI, 2016).

## V. MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1. Descripción de la zona de estudio

El presente estudio se realizó en campo abierto durante el ciclo agrícola primavera-verano 2021, en cultivos comerciales de papa de productores cooperantes en tres localidades representativas de la zona productora de papa del municipio de Calimaya, Estado de México. Este municipio está situado justo debajo de las faldas del volcán Xinantécatl o Nevado de Toluca; limita al norte con los municipios de Toluca, Metepec, Mexicaltzingo y Chapultepec; al oriente con Santiago Tianguistenco y San Antonio la Isla; al occidente con Toluca; al sur con Tenango del Valle y Santa María Rayón (Figura 1). El territorio del municipio ocupa un amplio plano inclinado al oeste con la parte más alta a 4,578 msnm, que desciende hasta terreno plano de la parte oriental a una altura de 2,600 msnm. La cabecera municipal tiene una altura media de 2,680 msnm y actualmente cuenta con un territorio de 101.19 km<sup>2</sup>; el 93% de su superficie se destina al uso agrícola, pecuario y forestal (Ayuntamiento de Calimaya, 2022).



Figura 1. Mapa de Calimaya, Estado de México. Fuente: INEGI, 2022.

El municipio de Calimaya tiene un clima templado subhúmedo con lluvias en verano (Cwbg). La temperatura del mes más cálido es inferior a 22°C y se registra antes del 21 de junio. Se presentan heladas en los meses de noviembre a enero y ocasionalmente en mayo (heladas tardías) y en septiembre (heladas tempranas); estas últimas son altamente perjudiciales para la agricultura. El periodo de estiaje abarca los meses de noviembre a marzo. La temporada de lluvias comprende los meses de mayo a agosto, y en septiembre se gestan condiciones atmosféricas más húmedas; precipitaciones máximas de 190 mm en el mes de julio. La precipitación anual es de 800 a 900 mm y la temperatura media anual varía entre 12 y 14°C (Ayuntamiento de Calimaya, 2022).

La primera parcela de papa seleccionada para el muestreo de tubérculos se ubica en la localidad de Zaragoza de Guadalupe, la cual se encuentra localizada entre las coordenadas 19.11525292533479 latitud norte y 99.63957475936152 longitud oeste, y a una altura de 2,850 msnm (Figura 2); los datos del productor cooperante se dan en el Cuadro 1. El suelo de esta parcela es de textura media (franco arenoso) con un pH de 5.4 (ácido) y una conductividad eléctrica de 1040  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (normal).

La segunda parcela de papa escogida se encuentra en la localidad de Santa Cruz Pueblo Nuevo, que está localizada entre las coordenadas 19.143994290699258 latitud norte y 99.62436664738583 longitud oeste y a una altura de 2,879 msnm (Figura 3); los datos del productor cooperante se enuncian en la Cuadro 2. Cuenta un suelo de textura media (franco arenoso), un pH de 5.4 (ácido) y una conductividad eléctrica de 823  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (normal).

La tercera parcela de papa se sitúa en la localidad de San Lorenzo Cuauhtenco, localizada entre las coordenadas 19.192858 latitud norte y 99.624263 longitud oeste, y una altura de 2,773 msnm (Figura 3); los datos del productor cooperante están en el Cuadro 3. El suelo de esta parcela también de textura media (franco) con un pH de 5.8 (ligeramente ácido) y una conductividad de 173.6  $\mu\text{S}/\text{cm}$

(normal). En la Figura 5 se indica la ubicación geográfica de las tres parcelas de papa seleccionadas para el estudio en el municipio de Calimaya.



Figura 2. Localización satelital de la parcela comercial de papa en Zaragoza de Guadalupe, Calimaya.

Cuadro 2. Datos del productor cooperante y de la semilla de papa sembrada en la parcela de Zaragoza de Guadalupe, Calimaya.

<b>Nombre del productor:</b>	Noé Escamilla Solís
<b>Papa variedad:</b>	Fianna
<b>Tipo de semilla:</b>	G5
<b>Origen de la semilla:</b>	Estado de México
<b>Tamaño de semilla:</b>	Cuarta (8 cm promedio)



Figura 3. Localización satelital de la parcela comercial de papa en Santa Cruz Pueblo Nuevo, Calimaya.

Cuadro 3. Datos del productor cooperante y de la semilla de papa sembrada en la parcela de Santa Cruz Pueblo Nuevo, Calimaya.

<b>Nombre del productor:</b>	Clemente Romero
<b>Papa variedad:</b>	Fianna
<b>Tipo de semilla:</b>	G2
<b>Origen de la semilla:</b>	Baja California
<b>Tamaño de semilla:</b>	Cuarta (8 cm promedio)

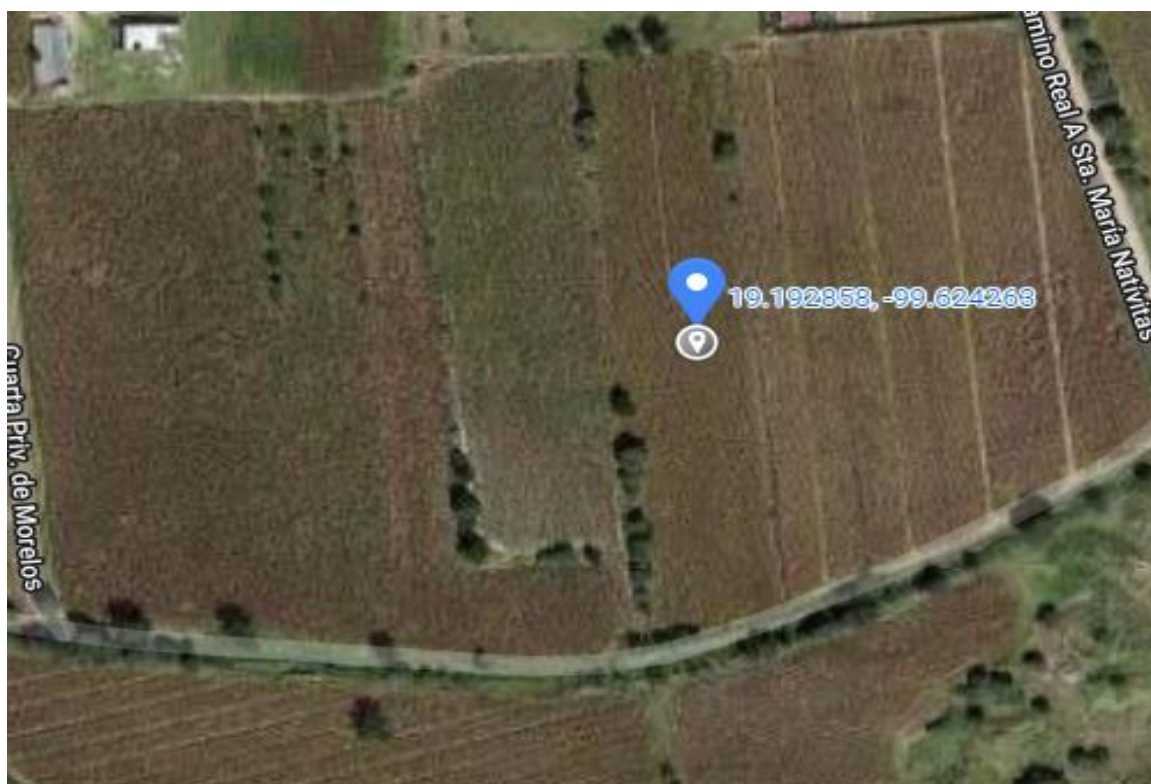


Figura 4. Localización satelital de la parcela comercial de papa en San Lorenzo Cuauhtenco, Calimaya.

Cuadro 3. Datos del productor cooperante y de la semilla de papa sembrada en la parcela de San Lorenzo Cuauhtenco, Calimaya.

<b>Nombre del productor:</b>	Guillermo Tarango López
<b>Papa variedad:</b>	Fianna
<b>Tipo de semilla:</b>	G2
<b>Origen de la semilla:</b>	Ciudad Obregón, Sonora
<b>Tamaño de semilla:</b>	Tercera (10-12 cm)

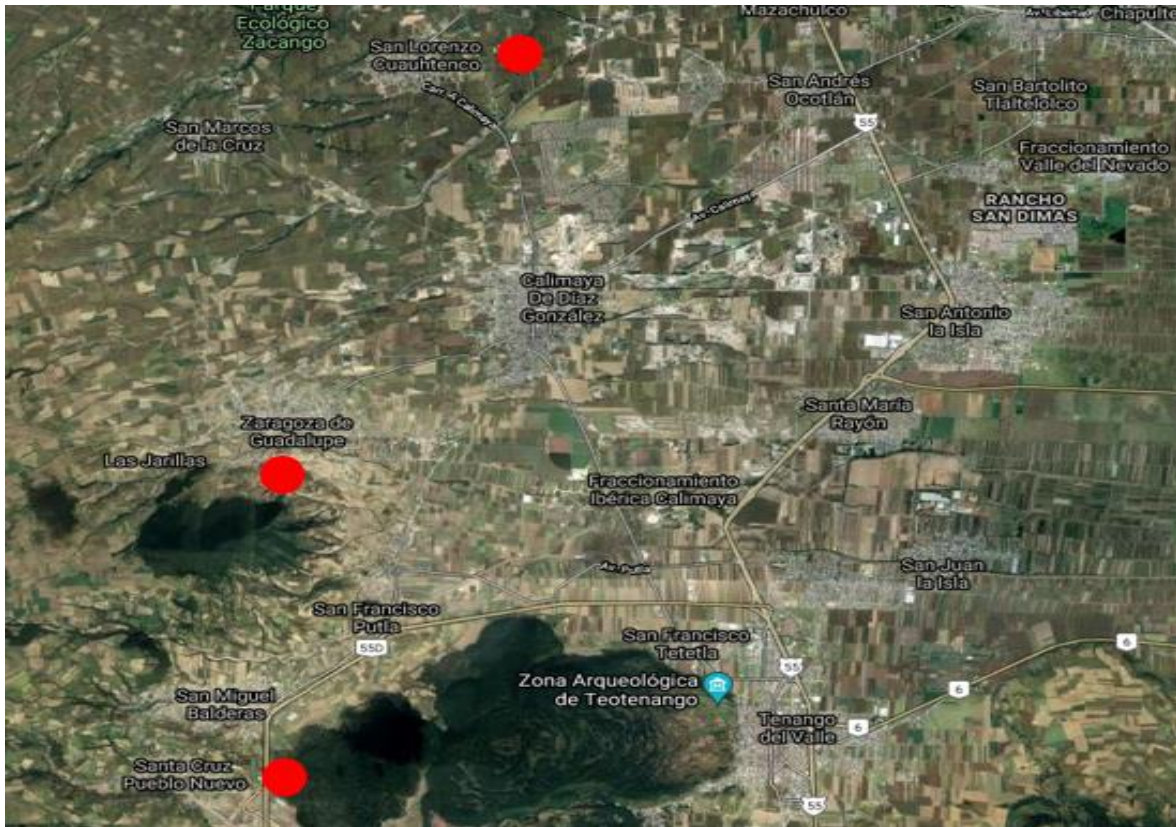


Figura 5. Localización geográfica de las tres parcelas comerciales de papa en las tres localidades seleccionadas.

## 5.2. Cultivar de papa

Las tres parcelas comerciales elegidas para el desarrollo del estudio se sembraron con tubérculos-semilla de papa cv. Fianna, que a pesar de ser una variedad con mucho tiempo en el mercado nacional, es una de las más cultivadas en la zona centro del país (Figura 6). Esta variedad es originaria de Holanda y creada en 1987 y presenta las siguientes características agronómicas: ciclo vegetativo, intermedio (111 a 120 días); forma del tubérculo, oval y alargado; tipo de yemas, superficial; color de la piel, amarillo; color de la pulpa, amarillo claro; habito de

crecimiento, semi-erecto; cobertura de follaje, mediana a alta; color de la flor, blanco; color del brote, azul; rendimiento promedio, 40 t ha<sup>-1</sup>; tiene resistencia al virus del enrollamiento de la hoja (PLRV por sus siglas en inglés) y a la sarna común por *Streptomyces* spp. (NIVAP, 2003). Los tubérculos-semilla empleados en el ensayo fueron de los tamaños tercera (10-12 cm) y cuarta (8 cm promedio).



Figura 6. Tubérculos de papa variedad Fianna. Fuente: <https://www.argenpapa.com.ar/info/la-papa/>. 2015.

### **5.3. Manejo de los cultivos de papa**

En el manejo fitosanitario del cultivo de papa en las tres parcelas, se consideraron dos labores importantes: la fertilización y la prevención de plagas y enfermedades de las partes subterránea y aérea de las plantas.



**Fertilización.** La nutrición del cultivo de papa en la parcela de Zaragoza de Guadalupe consistió de la fórmula de fertilización 219.5-474-218-26.3Ca complementada con 1 tonelada de gallinaza y otra de composta (Cuadro 4). En la fertilización de fondo se incorporó el superfosfato de calcio simple (Súper simple), sulfato de amonio, cloruro de potasio y micro elementos, todos en una sola mezcla con la materia orgánica; mientras que, la segunda fertilización se hizo con Fosfonitrato, Tropicote e Hidran.

Cuadro 4. Tratamiento de fertilización y aportación de nutrimentos en el cultivo de papa de la parcela de Zaragoza de Guadalupe, Calimaya, México.

<b>Fertilizante comercial</b>	<b>Cantidad (kg)</b>	<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>
Gallinaza*	1,000	-	-	-	-
Composta*	1,000	-	-	-	-
Superfosfato de calcio simple (20-00-00)	1000	0	460	0	0
Sulfato de amonio (20-00-00)	500	100	0	0	0
Cloruro de potasio (00-00-60)	300	0	0	180	0
Fosfonitrato (33-03-00)	200	66	6	0	0
Tropicote (15.5-00-00-26.3Ca)	100	15.5	0	0	26.3
Hidran (19-4-19)	200	38	8	38	0
Micro elementos	100	0	0	0	0
<b>Total</b>	<b>2,400</b>	<b>219.5*</b>	<b>474</b>	<b>218</b>	<b>26.3</b>

\*No se consideró la aportación de nutrimentos de la gallinaza y la composta porque se desconoce su composición.

El cultivo de papa de la parcela 2 de Santa Cruz Pueblo Nuevo se fertilizó con la fórmula 208-325-299-52Ca (Cuadro 5); la primera fertilización (de fondo) se hizo con la mezcla de arranque y los micronutrientes, y la segunda con la mezcla de

calidad más Qrop KS/Tropicote. En el cultivo de la parcela 3 de San Lorenzo Cuauhtenco se aplicó la fórmula de fertilización 214.25-256-355-39.45Ca; en la fertilización de fondo se incorporó DAP 18-46-00, Complex 11-12-18, Nitrofoska 20-10-10 y Cloruro de potasio; mientras que en segunda fertilización se aplicó Triple 16, Qrop KS y Tropicote (Cuadro 6).

Cuadro 5. Tratamiento de fertilización y aportación de nutrimentos en el cultivo de papa de la parcela de Santa Cruz Pueblo Nuevo, Calimaya, México.

<b>Fertilizante comercial</b>	<b>Cantidad (kg)</b>	<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>
Mezcla de arranque (12-25-15)	1,300	156	325	195	
Mezcla de calidad: Qrop KS/Tropicote (13-00-26-13Ca)	400	52	0	104	52
Micro elementos	100	0	0	0	0
<b>Total</b>	<b>1,800</b>	<b>208</b>	<b>325</b>	<b>299</b>	<b>52</b>

Cuadro 6. Tratamiento de fertilización y aportación de nutrimentos en el cultivo de papa de la parcela de San Lorenzo Cuauhtenco, Calimaya, México.

<b>Fertilizante comercial</b>	<b>Cantidad (kg)</b>	<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>
DAP 18-46-00	400	72	184	0	0
Complex 11-12-18	300	33	36	54	0
Nitrofoska 20-10-10	200	40	20	20	0
Cloruro de potasio (00-00-60)	250	0	0	150	0
Triple 16 (16-16-16)	100	16	16	16	0
Qrop KS (12-0-46)	250	30	0	115	0
Tropicote (15.5-00-00-26.3Ca)	150	23.25	0	0	39.45
<b>Total</b>	<b>1,650</b>	<b>214.25</b>	<b>256</b>	<b>355</b>	<b>39.45</b>

**Manejo fitosanitario.** Al igual que en el manejo de la nutrición de las plantas de papa, el manejo fitosanitario del cultivo considera la aplicación de plaguicidas al suelo y al follaje para el control de plagas y enfermedades, pero los productos comerciales empleados por los productores fueron diferentes en cada parcela. En la parcela de Zaragoza de Guadalupe se aplicó el nematicida fluopyram en drench dirigido al suelo sobre los tubérculos-semilla al momento de la siembra. Una vez que emergieron las plantas se realizaron aplicaciones periódicas de insecticidas y fungicidas al follaje para la prevención y control de plagas y enfermedades. El manejo químico de las plagas se hizo con los siguientes insecticidas: imidacloprid + betacyfluthrin, deltametrina, diazinón, lambda cialotrina, clorpirifos etil + permetrina, cipermetrina, thiametoxam y aceite vegetal de soya. Mientras que, los fungicidas usados para el manejo de las enfermedades fueron: metalaxyl + mancozeb, propamocarb + fosetyl-Al, fluopicolide + propamocarb, captan, clorotalonil, tebuconazole, mancozeb, fosetyl-Al, fosfanato de aluminio, propineb e hidróxido cúprico (Cuadro 7).

En la siembra de la parcela 2 de Santa Cruz se aplicó en drench al suelo sobre los tubérculos-semilla una mezcla de fluopyran + extractos vegetales + fipronil. Se aplicaron insecticidas de contacto, sistémicos y la mezcla de ambos para el control de plagas: deltametrina, diazinón, clorpirifos + permetrina, lambda cialotrina, bifentrina, cipermetrina, aceite vegetal de soya, imidacloprid + betacyfluthrin y thiametoxan. Los fungicidas aplicados para la prevención y control de enfermedades, fueron de contacto, sistémicos y sistémicos + contacto: captan, clorotalonil, mancozeb, metalaxyl + mancozeb, propineb, hidróxido cúprico, propamocarb + fosetyl-Al, fluopicolide + propamocarb, fosetyl-Al, fosfonato de aluminio, cymoxanil + mancozeb, polisulfuros + extracto vegetal de gobernadora y *Bacillus subtilis* (Cuadro 8).

En la tercera parcela de San Lorenzo Cuauhtenco al momento de la siembra se incorporó al suelo el insecticida-nematicida terbufos 15G, mezclado con el

fertilizante. Para el control de plagas del follaje se aplicaron los siguientes productos: lambda cialotrina, deltametrina, cipermetrina, clorpirifos etil + permetrina, diazinón, abamectina, imidacloprid + betacyfluthrin, spiromesifen, sulfoxaflor, sulfaxaflor + lambda cialotrina. La prevención y control de enfermedades del follaje se hizo con: *Bacillus subtilis* + *Trichoderma* sp. + *Streptomyces lydicus*, clorotalonil, mancozeb, metalaxyl + mancozeb, fluopicolide + propamocarb, Fosetyl-Al y dimetomorf + clorotalonil (Cuadro 9).

#### **5.4. Muestreo de cultivos comerciales de papa**

Los muestreos para determinar la situación fitosanitaria de los tubérculos de papa, se realizaron dos semanas después del desvare químico de las plantas y antes de la cosecha en las tres parcelas comerciales de papa (Figura 7). El primer muestreo del cultivo se hizo el 6 de octubre de 2021 en la parcela de Zaragoza de Guadalupe; el segundo se llevó a cabo el 7 de octubre de 2021 en la parcela de Santa Cruz Pueblo Nuevo, y el tercero se realizó el 15 de octubre del mismo año en la parcela de San Lorenzo Cuauhtenco.

En cada parcela, el muestreo de tubérculos se hizo empleando el método de cinco de oros, el cual está recomendado para el muestreo de plagas rizófagas (CESAVEQ, 2014), y del follaje en diferentes cultivos (Santana *et al.*, 2016; Navarro-Garza, 2022) (Figura 8). Con la finalidad de obtener una muestra total de 400 tubérculos de papa por localidad, en cada punto de muestreo se tomó una muestra de 80 tubérculos, los cuales se lavaron para quitar la tierra adherida a estos y observar los síntomas, signos y daños ocasionados por las enfermedades y plagas; después, se agruparon en base a dichos síntomas y daños (Figura 9a-c). Se contaron los tubérculos con presencia de síntomas de costra negra, pudrición seca, sarna común y pudrición blanda, así como aquellos con daños de paratrizoza y gallina ciega. Los tubérculos infectados y dañados se emplearon para determinar la severidad del daño. Con estos datos se determinó la incidencia y la severidad

del ataque de las cuatro enfermedades y las dos plagas evaluadas en cada parcela comercial de papa.



Figura 7. Cultivo comercial de papa en condiciones para la cosecha de tubérculos.

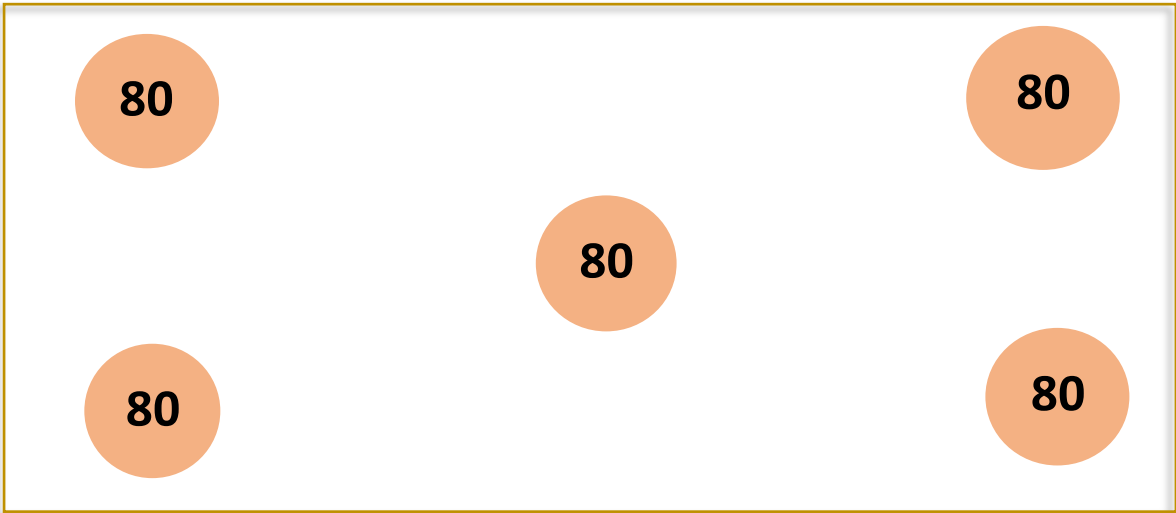


Figura 8. Croquis de muestreo en cinco de oros para la detección plagas y enfermedades del tubérculo de papa en cada localidad en estudio.



Figura 9. Muestreo (a), lavado (b) y agrupamiento de tubérculos (c) en base a síntomas y daños al final del ciclo vegetativo del cultivo de papa.

## 5.5. Diagnóstico fitosanitario

De los tubérculos colectados para determinar la incidencia y severidad de plagas y enfermedades por sitio de muestreo y localidad, se tomaron muestras representativas de tubérculos enfermos y se enviaron al Laboratorio de Fitopatología del Instituto de Investigación y Capacitación Agropecuaria, Acuícola y Forestal del estado de México (ICAMEX) para su análisis fitopatológico correspondiente y corroborar la presencia de hongos y bacterias causantes de la costra negra, pudrición seca y pudrición blanda, respectivamente. No se colectaron muestras de larvas de gallina ciega, porque al momento de realizar los muestreos éstas no se encontraron en los tubérculos ni en el suelo; tampoco se colectaron adultos de paratrypana, ya que una vez que se quemó el follaje para que los tubérculos suberizaran no se encontraron insectos adultos de la plaga, pero se observaron ninfas y adultos del insecto en el follaje de las plantas durante el desarrollo del cultivo.

Cuadro 7. Plaguicidas aplicados para el control de plagas y enfermedades de la papa en la parcela de Zaragoza, Calimaya, México. Ciclo primavera-verano 2021.

Plaguicida	Nombre comercial	Ingrediente activo	Modo de acción	de Plaga/enfermedad que controla	Código FRAC/IRAC*
Fungicida	Metalaxyl MZ	Metalaxyl + Mancozeb	Sistémico contacto	+ Tizón tardío y tizón temprano	A1- M03
Fungicida	Previcur Energy	Propamocarb + Fosetil-Al	Sistémico sistémico	+ Tizón tardío	F4-P07
Fungicida	Infinito	Fluopicolide + Propamocarb	Sistémico sistémico	+ Tizón tardío	B5-F4
Fungicida	Captan 50 WP	Captan	Contacto	Damping-off, costra negra, marchitez, tizón tardío, tizón temprano, moho gris y manchas foliares	M04
Nematicida	Majesty	Extractos vegetales + consorcio microbiano	Sistémico	Nematodo nodulador y del mezquino, nematodo dorado de la papa y nematodo de la pudrición seca del tubérculo	BM01
Fungicida	Ambios	Extractos vegetales de gobernadora	Sistémico	Costra negra, marchitez y pudrición seca del tubérculo, y sarna común.	BM01
Insecticida	User 480	Fipronil	Contacto	Gallina ciega	2B
Fungicida-bactericida	Serenade ASO	<i>Bacillus subtilis</i> cepa QST 713	Antagonista	Costra negra, marchitez y pudrición seca, sarna común y pudrición blanda	BM02
Fungicida	Clorotalonil 50% SC	Clorotalonil	Contacto	Tizón tardío, tizón temprano, moho gris y manchas foliares	M05
Fungicida	Folicur 250 EW	Tebuconazole	Sistémico Contacto	Tizón temprano	G3
Fungicida	Mancozeb 80% WP	Mancozeb	Contacto	Tizón tardío, tizón temprano, moho gris y manchas foliares	M03
Fungicida	Aliette WG	Fosetyl-Al	Sistémico	Tizón tardío	P07

Fungicida	Magnatus Fosetil	Fosfonato de aluminio	Sistémico	Tizón tardío	P07
Fungicida	Antracol 70% WP	Propineb	Contacto	Tizón tardío, tizón temprano y sarna común	M03
Fungicida	Cupravit Hidro	Hidróxido cúprico	Contacto	Tizón temprano, tizón tardío, moho gris y manchas foliares	M01
Insecticida	Muralla Max	Imidacloprid +	Sistémico +	Mosquita blanca, paratrioza y pulgones	4A-3A
Insecticida	Decis Forte	Betacyfluthrin	contacto	Palomilla de la papa, paratrioza, pulga	3A
Insecticida- acaricida	Balazo 25	Diazinón	Contacto- estomacal	saltona y gusanos defoliadores	1B
Insecticida	Lambdazo	Lambda cialotrina	Contacto- estomacal	Palomilla de la papa, paratrioza, pulga	3A
Insecticida	Teniente	Clorpirifos etil +	Contacto- estomacal	saltona y gusanos defoliadores	1B-3A
Insecticida	Cipermetrina 25% EC	Permetrina	Contacto- estomacal	Palomilla de la papa, paratrioza, pulga	3A
Insecticida	Tirano 0.3%	Cipermetrina	Contacto- estomacal	saltona y gusanos defoliadores	3A
Insecticida	Visor 25 WDG	Tiametoxam	Sistémico	Palomilla de la papa, paratrioza, pulga	3A
Nematicida	Verango	Fluopyram	Sistémico	Mosca blanca, paratrioza y pulgones	4A
				Nematodo dorado, nematodo agallador y del mezquino y nematodo de la pudrición seca del tubérculo.	C2

\*Fuente: FRAC, 2019 y 2021; IRAC, 2019 y 2021.

Cuadro 8. Plaguicidas aplicados para el control de plagas y enfermedades de la papa en la parcela de Santa Cruz Pueblo Nuevo, Calimaya, México. Ciclo primavera-verano 2021.

Plaguicida	Nombre comercial	Ingrediente activo	Modo acción	de Plaga/enfermedad que controla	Código FRAC/IRAC*
------------	------------------	--------------------	-------------	----------------------------------	-------------------



Insecticida-nematicida	Counter FC 15%	Terbufos	Sistémico-contacto	Gallina ciega, gusano de alambre, gusano rayador y fitonematodos.	1B
Fungicida-nematicida	Apolo	<i>Bacillus subtilis</i> + <i>Trichoderma</i> spp. + <i>Streptomyces lycus</i>	Antagonista	Costra negra, marchitez y pudrición seca, sarna común, pudrición blanda y fitonematodos de la raíz	BM02
Fungicida	Metalaxyl MZ	Metalaxyl + Mancozeb	Sistémico + contacto	Tizón tardío, tizón temprano y manchas foliares.	A1-M03
Fungicida	Previcur Energy	Propamocarb + Fosetyl-Al	Sistémico + contacto	Tizón tardío	F4-P07
Fungicida	Infinito	Fluopicolide + Propamocarb	Sistémico + contacto	Tizón tardío	B5-F4
Fungicida	Captan 50 WP	Captan	Contacto	Damping-off, costra negra, marchitez, tizón tardío, tizón temprano, moho gris y manchas foliares	M04
Fungicida	Clorotalonil 50 SC	Clorotalonil	Contacto	Tizón tardío, tizón temprano, moho gris y manchas foliares	M04
Fungicida	Mancozeb 80-PH	Mancozeb	Contacto	Tizón tardío, tizón temprano, moho gris y manchas foliares	M03
Fungicida	Aliette WG	Fosetyl-Al Fosfonato de aluminio	Sistémico	Tizón tardío	P07
Fungicida	Magnatus Fosetil		Contacto	Tizón tardío	P07
Fungicida	Antracol 70% WP	Propineb	Contacto	Tizón tardío, tizón temprano, y sarna común	M03
Fungicida	Blighter WP	Cymoxanil + Mancozeb	Sistémico + contacto	Tizón tardío, tizón temprano, moho gris y manchas foliares.	U27-M03
Fungicida	Cupravit Hidro	Hidróxido cúprico	Contacto	Tizón tardío, temprano, moho gris y manchas foliares.	M01
Fungicida	Ambios XPR	Extracto vegetal de gobernadora	Sistémico	Costra negra, marchitez y pudrición seca, y sarna común	BM01
Bactericida-fungicida	Serenade ASO	<i>Bacillus subtilis</i> cepa QST-713	Antagonista	Costra negra, marchitez y pudrición seca, sarna común y pudrición blanda	BM02
Insecticida	Decis Forte	Deltametrina	Contacto-ingestión	Palomilla de la papa, paratrioza, pulga saltona y gusanos defoliadores	3A

Insecticida	Kumari 350 SC	Imidacloprid	Sistémico	Paratrioza, mosquita blanca y pulgones	4A
Insecticida	Muralla max	Imidacloprid + Betacyfluthrin	Sistémico + contacto	Paratrioza, mosquita blanca y pulgones	4A-3A
Insecticida- acaricida	Balazo 25	Diazinón	Contacto- ingestión	Palomilla de la papa, paratrioza, pulga saltona, mosquita blanca y gusanos defoliadores	1B
Insecticida	Lambdazo	Lambda cialotrina	Contacto- ingestión	Palomilla de la papa, paratrioza, pulga saltona y gusanos defoliadores	3A
Insecticida	Teniente	Clorpirifos etil + Permetrina	Contacto- ingestión	Palomilla de la papa, paratrioza, pulga saltona y gusanos defoliadores	1B-3A
Insecticida- acaricida	Tomatrina 100 CE	Bifentrina	Contacto- ingestión	Paratrioza, mosquita blanca, pulgones y araña roja	3A
Insecticida	Controla 480 CE	Clorpirifos etil	Contacto- estomacal	Palomilla de la papa, paratrioza, pulga saltona y gusanos defoliadores	1B
Insecticida	Maxotem	Thiametoxam	Sistémico	Paratrioza, mosca blanca y pulgones	4A
Insecticida	Tirano 0.3%	Cipermetrina	Contacto- estomacal	Palomilla de la papa, paratrioza, pulga saltona y gusanos defoliadores	3A
Insecticida	User 480 SC	Fipronil	Contacto- ingestión	Gallina ciega	2B
Nematicida	Verango	Fluopyram	Sistémico	Nematodo dorado, nematodo agallador y del mezuino, nematodo lesionado y nematodo de la pudrición de la papa.	C2
Nematicida	Majesty	Extractos vegetales + consorcio microbiano	Sistémico	Nematodo dorado, nematodo agallador y del mezuino, nematodo lesionado y nematodo de la pudrición de la papa.	BM01

\*Fuente: FRAC, 2019 y 2021; IRAC, 2019 y 2021.

Cuadro 9. Plaguicidas aplicados para el control de plagas y enfermedades de la papa en la parcela de San Lorenzo Cuauhtenco, Calimaya, México. Ciclo primavera-verano 2021.

Plaguicida	Nombre comercial	Ingrediente activo	Modo de acción	de Plaga/enfermedad que controla	Código FRAC/IRAC*
Insecticida-	Counter FC 15%	Terbufos	Sistémico y	Gallina ciega, gusano de alambre,	1B

nematicida			contacto	gusano rayador y fitonematodos de la raíz	
Fungicida-nematicida	Apolo	<i>Bacillus subtilis</i> + <i>Trichoderma</i> spp. + <i>Streptomyces lydicus</i>	Antagonismo	Costra negra, marchitez y pudrición seca, sarna común, pudrición blanda y fitonematodos de la raíz	BM02
Fungicida	Metalaxyl MZ	Metalaxy + Mancozeb	Sistémico + contacto	Tizón tardío, tizón temprano, moho gris y manchas foliares	A1-M03
Fungicida	Infinito	Fluopicolide +	Sistémico +	Tizón tardío	B5-F4
Fungicida	Mancozeb 80 WP	Propamocarb Mancozeb	sistémico Contacto	Tizón tardío, tizón temprano y manchas foliares	M03
Fungicida	Forum SC	Dimetomorf	Sistémico	Tizón tardío	H5
Fungicida	Aliette	Fosetil-Al	Sistémico	Tizón tardío	P07
Fungicida	Clorotalonil 50 SC	Clorotalonil	Contacto	Tizón temprano, moho gris y manchas foliares	M05
Insecticida	Karate Zeon	Lambda cialotrina	Contacto e ingestión	Palomilla de la papa, paratrioza, pulga saltona y gusanos defoliadores.	3A
Insecticida	Agrimec 1.8%	Abacmetina	Sistémico	Pulgón saltador (paratrioza), 6 mosquita blanca y araña roja	
Insecticida	Deltametrina 2.5% CE	Deltametrina	Contacto e ingestión	Palomilla de la papa, paratrioza, pulga saltona y gusanos defoliadores.	3A
Insecticida	Cipermetrina 25% EC	Cipermetrina	Contacto e ingestión	Palomilla de la papa, paratrioza, pulga saltona y gusanos defoliadores.	3A
Insecticida	Maxotem	Thiametoxam	Sistémico	Paratrioza, mosquita blanca y pulgones	4A
Insecticida	Muralla Max	Imidacloprid +	Sistémico- contacto	Paratrioza, mosquita blanca y pulgones	4A-3A
Insecticida	Teniente	Betacyfluthrin Clorpirifos etil + Permetrina	Contacto e ingestión	Palomilla de la papa, paratrioza, pulga saltona y gusanos	1B-3A

Insecticida	Diazinón 25	Diazinón	Contacto e ingestión	defoliadores Palomilla de la papa, paratrioza, 1B pulga saltona y gusanos defoliadores
Insecticida	Oberon	Spiromesifen	Mesosistémico	Paratrioza, mosca blanca y araña 23 roja
Insecticida	Toretto	Sulfoxaflor	Sistémico	Paratrioza, mosca blanca y 4C pulgonos
Insecticida	Zierra	Sulfoxaflor + Lambda cialotrina	Sistémico + contacto	Paratrioza, mosca blanca, 4C-3A pulgonos, pulga saltona y gusanos defoliadores

\*Fuente: FRAC, 2019 y 2021; IRAC, 2019 y 2021.

## 5.6. Variables de estudio

En cada uno de los muestreos de tubérculos de papa se evaluó la incidencia y la severidad de las siguientes enfermedades: costra negra, pudrición seca, sarna común y pudrición blanda; así como, la presencia y daños de insectos plaga como paratrioza y gallina ciega.

**Incidencia de enfermedades en tubérculos.** Se contabilizó el número de tubérculos con presencia de síntomas de costra negra, pudrición seca, sarna común y pudrición blanda (Figuras 10a-b y 11a-b). La incidencia de cada enfermedad se determinó en % mediante la siguiente fórmula: % Incidencia = (Número de tubérculos infectados/ Número total de tubérculos de la muestra) x 100.

**Incidencia de plagas en tubérculos.** En el caso de las plagas, la incidencia se determinó contando los tubérculos con necrosis medular para el caso de paratrioza (Figura 12a) y tubérculos con agujeros o mordeduras en el caso de gallina ciega (Figura 12b); se empleó la siguiente fórmula: % incidencia = (Número de tubérculos dañados/ Número total de tubérculos de la muestra) x 100.

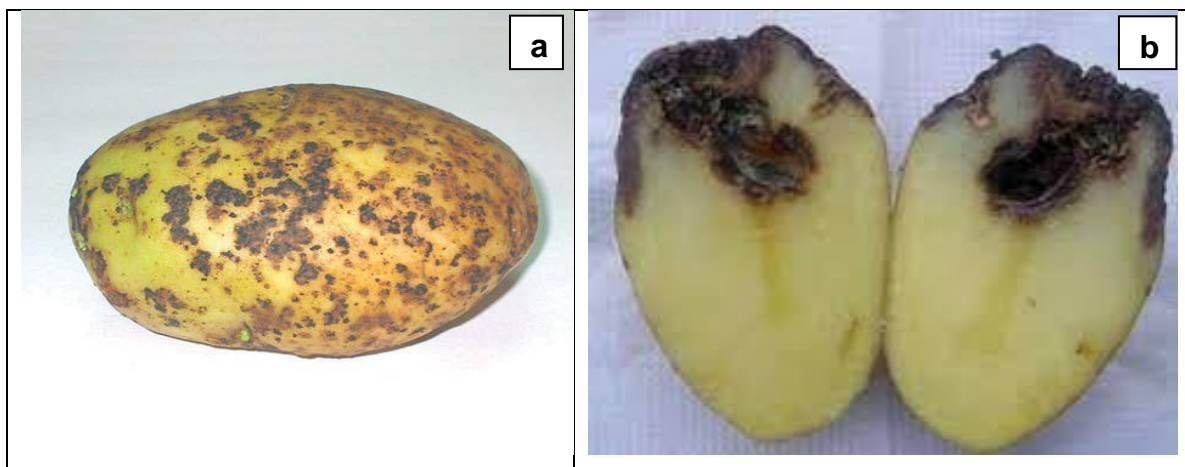


Figura 10. Síntomas de costra negra (*Rhizoctonia solani*) (a) y pudrición seca (*Fusarium* spp.) (b) en tubérculos de papa.

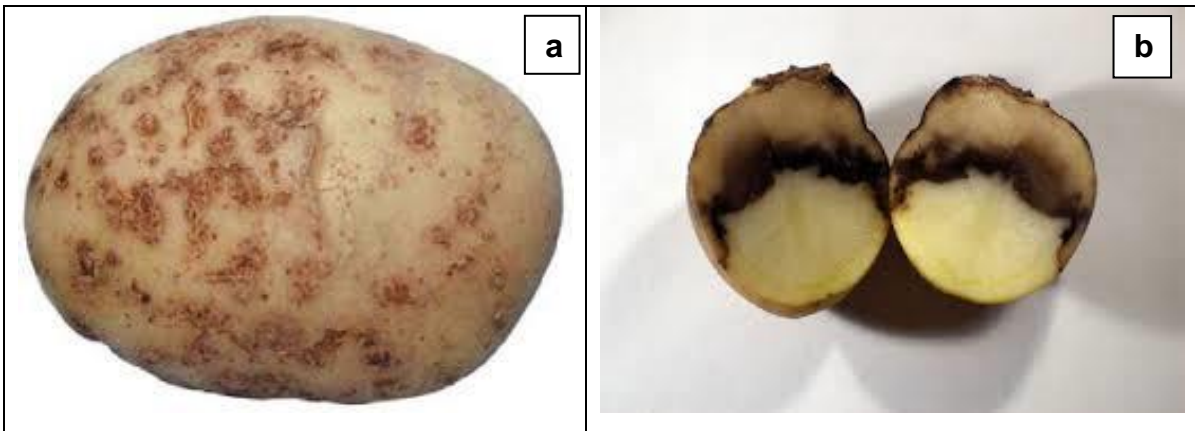


Figura 11. Síntomas de sarna común (*Streptomyces* spp.) (a) y pudrición blanda (*Pectobacterium* spp.) (b) en tubérculos de papa.

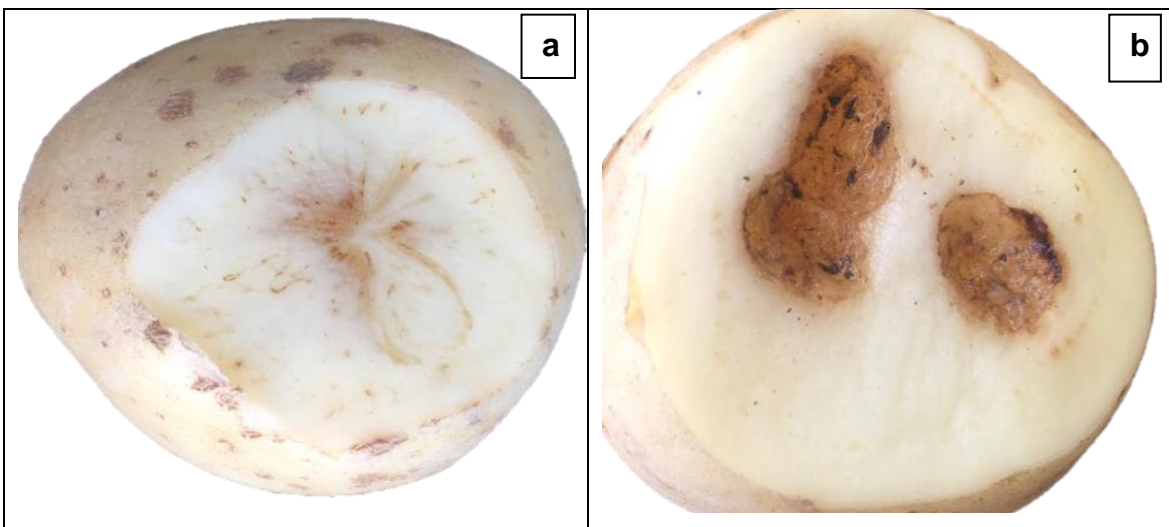


Figura 12. Síntomas y daños por paratrioza (*Bactericera cockerelli*) (a) y gallina ciega (*Phyllophaga* spp.) (b) en tubérculos de papa.

### Severidad del daño por enfermedades

La severidad de las enfermedades en los tubérculos de papa, se determinó al momento de la cosecha como porcentaje de infección en base a las escalas recomendadas para cada caso en particular.

**Costra negra.** Para determinar el grado de infección o severidad del daño por *R. solani* en los tubérculos de papa, se consideraron los tubérculos seleccionados para incidencia de la enfermedad; estos se caracterizaron visualmente tomando en cuenta una escala de estimación del porcentaje de área del tubérculo con presencia de esclerocios del patógeno (Cuadro 10).

Cuadro 10. Escala visual de severidad para evaluar el daño de *Rhizoctonia solani* en tubérculos de papa (*Solanum tuberosum* L.).

Índice	Descripción
0	Tubérculo sano
1	1-5% de la superficie del tubérculo con esclerocios.
2	6-10% de la superficie del tubérculo con esclerocios.
3	11-25% de la superficie del tubérculo con esclerocios.
4	26-50% de la superficie del tubérculo con esclerocios.
5	Más del 50% del tubérculo con esclerocios.

Fuente: Elías, 1994.

**Sarna común.** Para determinar el porcentaje de infección de *S. scabies* en los tubérculos de papa seleccionados, se utilizó la escala visual de severidad propuesta por James en 1971 (Cuadro 11), la cual considera el porcentaje de la superficie del tubérculo invadida por las lesiones de sarna común (Moreno, 2020).

**Pudrición seca y pudrición blanda.** En el caso de estas dos enfermedades, los tubérculos de la muestra tomada se cortaron longitudinalmente para observar el avance interno de la pudrición (Figuras 7b y 8b); el nivel de daño o severidad de la infección se estimó considerando la escala propuesta para sarna común, considerando el porcentaje de superficie interna del tubérculo podrida por el ataque las bacterias patógenas.

Cuadro 11. Escala visual de severidad para evaluar el daño de *Streptomyces* spp. en tubérculos de papa (*Solanum tuberosum* L.).

Categoría	Descripción
0	Tubérculo sin sarna
1	1% de la superficie del tubérculo con sarna
2	2-5% de la superficie del tubérculo con sarna
3	6-10% de la superficie del tubérculo con sarna.
4	11-25% de la superficie del tubérculo con sarna.
5	Más del 50% de la superficie del tubérculo con sarna.

Fuente: Moreno, 2020.

Los índices de severidad en el tubérculo para cada enfermedad se transformaron usando la fórmula de Towsand y Heuberger (T y H) (Unterstenhofer, 1976), para obtener el porcentaje de infección en cada parcela:

$$PI = [\sum(n \times V) / \text{Categoría mayor} \times N] \times 100$$

Dónde:

PI: Porcentaje de infección

n: Número de tubérculos por categoría

V: Valor numérico de cada categoría

N: Número de tubérculos por muestra

**Severidad del daño por paratrioza y gallina ciega.** Para determinar la severidad del daño ocasionado por paratrioza en el tubérculo de papa, los 80 tubérculos de la muestra se cortaron transversalmente (Figura 9a) y se estimó el grado de necrosis de la superficie medular en una escala de 0 a 5 como se indica para el caso de la sarna común. Usando esta misma escala se valoró la severidad del



daño causado por gallina ciega en el tubérculo, la única diferencia fue que el corte de los tubérculos se hizo de forma longitudinal (Figura 9b). Al igual que en el caso de las enfermedades, los índices de severidad o nivel de daño en cada tubérculo para cada plaga se transformaron empleando la fórmula de Towsand y Heuberger (T y H) (Unterstenhofer, 1976).

**Rendimiento comercial de tubérculos.** En cada punto de muestreo se cosecharon dos surcos de 5 m de largo, se seleccionaron y pesaron los tubérculos con calidad comercial (tamaños gigante, primera, segunda, tercera y cuarta), y se descartaron aquellos con crecimiento secundario (deformes o monos), rajeteados, ripios (muy pequeños) y podridos (Figura 13). El peso obtenido se extrapoló a rendimiento por hectárea.

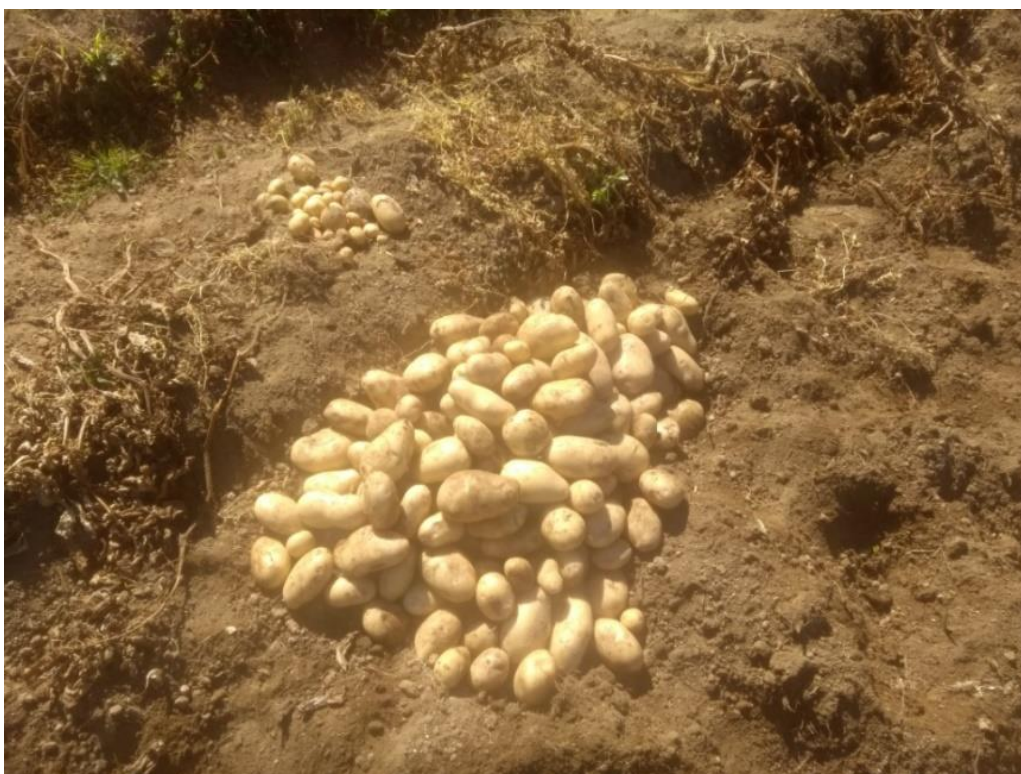


Figura 13. Separación de tubérculos en comerciales y no comerciales.

## **5.7. Análisis de resultados**

Los resultados de incidencia y severidad de las plagas y enfermedades en los tubérculos de papa se analizaron estadísticamente mediante la determinación de la media ( $\mu$ ), desviación estándar (S), varianza ( $S^2$ ) y coeficiente de variación (C.V.). Se consideraron 3 localidades o 3 parcelas de papa, 5 muestreos de tubérculos por parcela, 3 enfermedades y 2 plagas (6 problemas fitosanitarios del tubérculo). Los valores del porcentaje de incidencia y severidad se transformaron mediante la prueba estadística de arco seno de la raíz cuadrada para disminuir el error experimental (Steel y Torrie, 1986).

## VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 6.1. Incidencia de enfermedades en tubérculos de papa

Los valores de incidencia de costra negra por *Rhizoctonia solani* en tubérculos de papa cv. Fianna indicaron que el cultivo comercial de Santa Cruz Pueblo Nuevo no presentó la enfermedad. Considerando que las tres localidades son representativas de la zona productora de papa del municipio de Calimaya, la enfermedad sí está presente en este municipio y su incidencia varió de 0 a 14.54%, con un promedio 8.96%, siendo la localidad de Zaragoza de Guadalupe la que tuvo la mayor incidencia de costra negra. Por el contrario, la incidencia de pudrición seca del tubérculo causada por *Fusarium* spp. se comportó de manera similar en las tres localidades, ya que osciló entre 15.66 a 18.51%, en promedio 17.03%; la localidad con mayor presencia de la enfermedad fue San Lorenzo Cuauhtenco. Por otra parte, la incidencia más baja de sarna común por *Streptomyces* spp. se observó en el predio de San Lorenzo Cuauhtenco (35.29%) y la más alta en la parcela de Zaragoza de Guadalupe (49.76%); la incidencia promedio de la enfermedad en la zona papera de Calimaya fue de 42.34%. De igual manera, la menor incidencia de pudrición blanda se manifestó en la parcela de San Lorenzo Cuauhtenco con 7.08% y la mayor en Santa Cruz Pueblo Nuevo con 17.65%, y en promedio 12.19% (Cuadro 12 y Figura 14a-c).

### 6.2. Incidencia de plagas en tubérculos de papa

La incidencia de paratrioza fue mayor en la localidad de San Lorenzo Cuauhtenco con 16.75% y menor en Zaragoza de Guadalupe con 9.44%, en promedio 13.55% para la zona papera de Calimaya. Por otra parte, la gallina ciega no se presentó en la parcela de Zaragoza de Guadalupe; mientras que, la incidencia de esta plaga fue muy similar las parcelas de las localidades de Santa Cruz Pueblo Nuevo

y San Lorenzo Cuauhtenco con 16.04 y 13.93%, y un promedio de 9.99% en la zona papera del municipio de Calimaya (Cuadro 13 y Figura 14a-c).

Cuadro 12. Incidencia promedio de enfermedades fungosas y bacterianas en tubérculos de papa de tres localidades de Calimaya, México.

<b>Localidad</b>	<b>Costra negra</b>	<b>Pudrición seca</b>	<b>Sarna común</b>	<b>Pudrición blanda</b>
1. Zaragoza de Guadalupe				
Incidencia (%)	14.54	16.93	49.76	11.85
Desviación estándar	8.76134	4.69992	2.6521	7.53772
Varianza	76.76113	22.08928	7.0338	56.81728
C.V. (%)	60.26	27.76	5.33	63.61
2. Santa Cruz Pueblo Nuevo				
Incidencia (%)	0.00	15.66	41.98	17.65
Desviación estándar	0.00	6.76562	2.3630	6.3088
Varianza	0.00	46.04467	5.5838	39.8017
C.V. (%)	0.00	43.20	5.63	35.74
3. San Lorenzo Cuauhtenco				
Incidencia (%)	12.35	18.51	35.29	7.08
Desviación estándar	12.06806	5.7734	3.7496	7.26344
Varianza	145.63823	33.3323	14.0595	52.75762
C.V. (%)	97.72	31.19	10.62	102.56
<b>Promedio general</b>	<b>8.96</b>	<b>17.03</b>	<b>42.34</b>	<b>12.19</b>

Cuadro 13. Incidencia promedio de plagas insectiles en tubérculos de papa de tres localidades de Calimaya, México.

<b>Localidad</b>	<b>Paratrioza</b>	<b>Gallina ciega</b>
<b>1. Zaragoza de Guadalupe</b>		
Incidencia (%)	9.44	0.00
Desviación estándar	6.78462	0.00
Varianza	46.03102	0.00
C.V. (%)	71.87	0.00
<b>2. Santa Cruz Pueblo Nuevo</b>		
Incidencia (%)	14.47	16.04
Desviación estándar	3.4739	9.92531
Varianza	12.0677	98.51173
C.V. (%)	24.01	61.88
<b>3. San Lorenzo Cuauhtenco</b>		
Incidencia (%)	16.75	13.93
Desviación estándar	10.13752	9.49965
Varianza	102.76943	90.24343
C.V. (%)	60.51	68.21
<b>Promedio general</b>	<b>13.55</b>	<b>9.99</b>

### **6.3. Severidad del daño de enfermedades en tubérculos de papa**

Al igual que en incidencia, la severidad del daño de costra negra en los tubérculos de papa cv. Fianna fue relativamente baja y fluctuó entre 0% (Santa Cruz Pueblo Nuevo) a 7.98% (Zaragoza de Guadalupe), con un promedio de 5.15%. Mientras que, los valores de severidad de la pudrición seca fueron muy similares en las parcelas de las tres localidades, ya que variaron de 10.81 (Santa Cruz Pueblo Nuevo) a 11.92% (Zaragoza de Guadalupe), con un promedio de 11.27% para la zona papera de Calimaya (Cuadro 14 y Figura 15a-c).

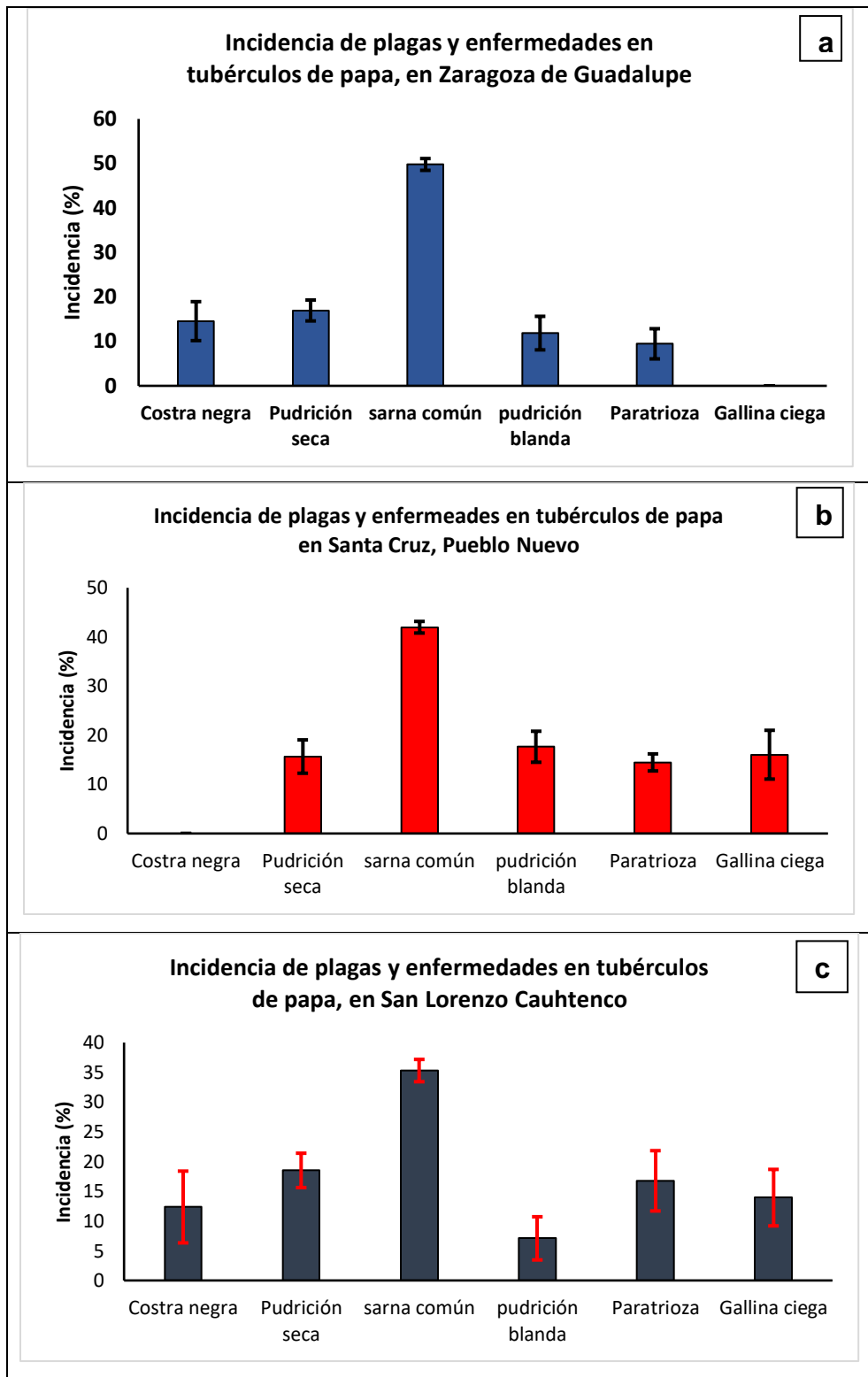
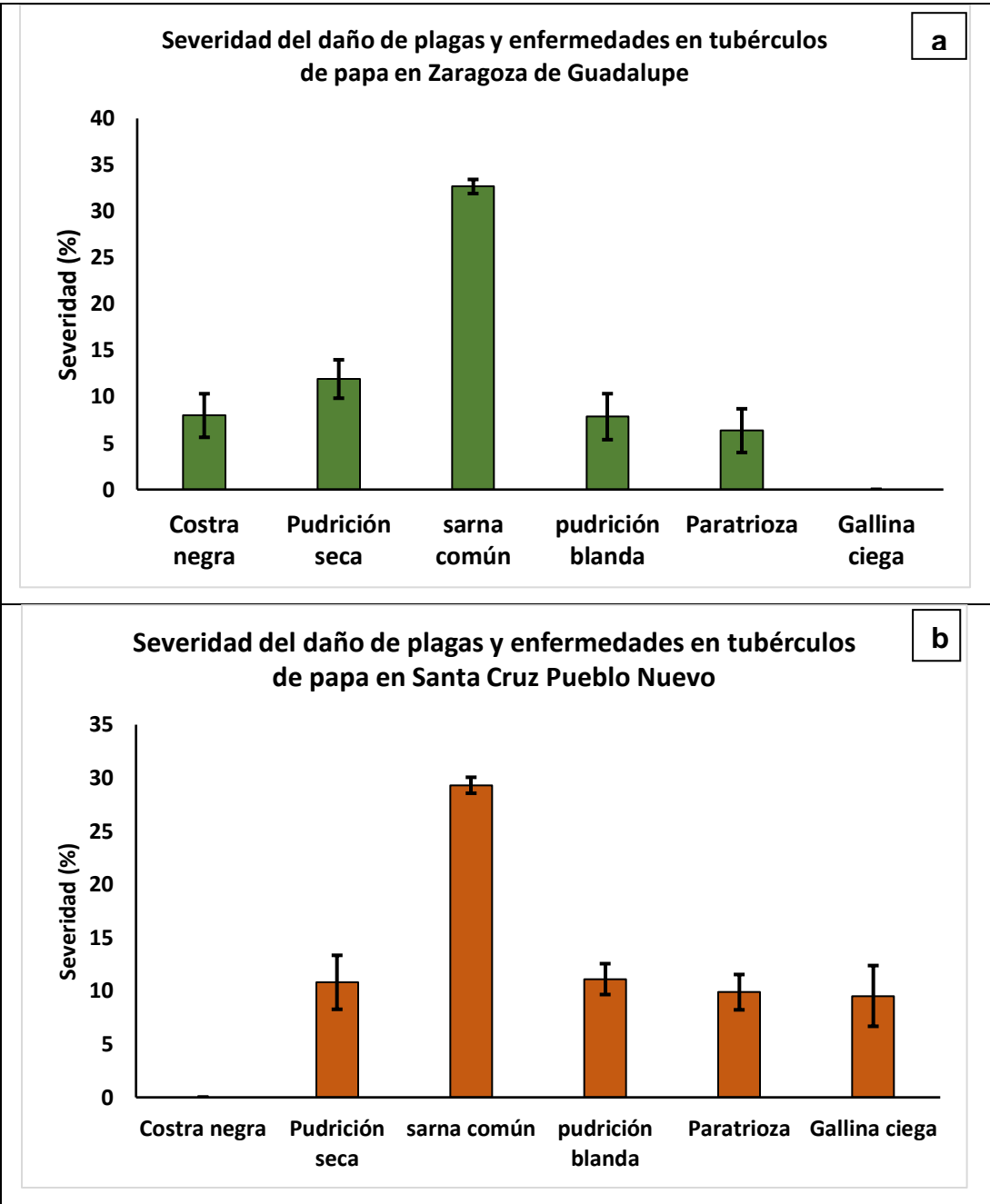


Figura 14. Incidencia de plagas y enfermedades en tubérculos de papa cv. Fianna en tres localidades de la zona papera de Calimaya, México.

Por otra parte, los valores de severidad de las enfermedades bacterianas del tubérculo de papa cv. Fianna indican que la parcela de la localidad de San Lorenzo Cuauhtenco presentó la severidad más baja de sarna común con 20.04% y la parcela de Zaragoza de Guadalupe la más alta con 32.67%, en promedio 27.34%. En cambio, la severidad del ataque de la pudrición blanda osciló entre 5.42 a 11.11%, con un promedio de 8.13% (Cuadro 14 y Figura 15a-c). Reconociendo los resultados anteriores, la enfermedad con mayor incidencia y severidad en los tubérculos de papa de la zona papera del municipio de Calimaya fue la sarna común ocasionada por *Streptomyces* spp.

Cuadro 14. Severidad promedio del daño de enfermedades fungosas y bacterianas en tubérculos de papa de tres localidades de Calimaya, México.

<b>Localidad</b>	<b>Costra negra</b>	<b>Pudrición seca</b>	<b>Sarna común</b>	<b>Pudrición blanda</b>
1. Zaragoza de Guadalupe				
Severidad (%)	7.98	11.92	32.67	7.87
Desviación estándar	3.0350	4.1417	1.5201	3.4587
Varianza	9.2112	17.1538	2.3107	11.9623
C.V. (%)	34.53	34.75	4.65	39.89
2. Santa Cruz Pueblo Nuevo				
Severidad (%)	0.00	10.81	29.31	11.11
Desviación estándar	0.00	5.0726	1.4979	2.8990
Varianza	0.00	25.7318	2.2439	8.4045
C.V. (%)	0.00	46.92	5.11	26.09
3. San Lorenzo Cuauhtenco				
Severidad (%)	7.47	11.07	20.04	5.42
Desviación estándar	7.49593	2.7054	2.3430	5.64597
Varianza	56.18903	7.3191	5.4898	31.87703
C.V. (%)	100.40	24.44	11.69	104.09
<b>Promedio general</b>	<b>5.15</b>	<b>11.27</b>	<b>27.34</b>	<b>8.13</b>





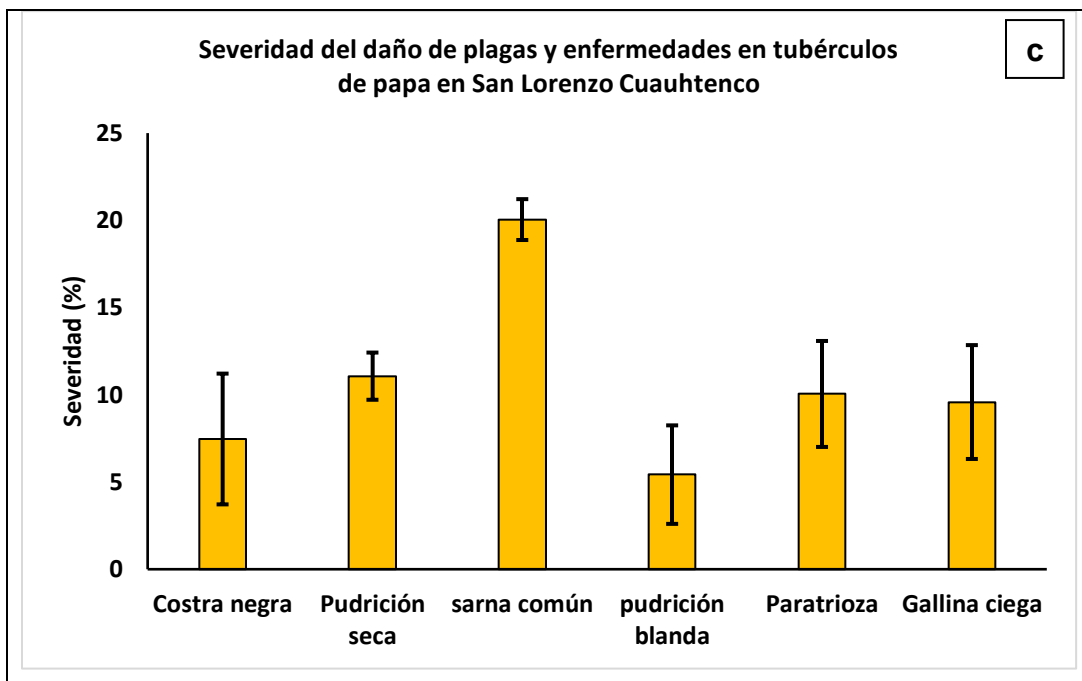


Figura 15. Severidad del daño de plagas y enfermedades en tubérculos de papa cv. Fianna en tres localidades de la zona papera de Calimaya, México.

La cantidad y porcentaje de tubérculos de papa con síntomas de costra negra y signos del patógeno (esclerocios) fue baja en las localidades de Zaragoza de Guadalupe y San Lorenzo Cuauhtenco y no se presentó en Santa Cruz Pueblo Nuevo, aun cuando los cultivos de papa muestreados se ubican en las faldas del volcán Nevado de Toluca, en donde existen condiciones ambientales de suelo y temperaturas propias para el desarrollo de la enfermedad, sobre todo la acidez del suelo (pH de 5.4 a 5.8) y bajas temperaturas tanto del ambiente como del suelo, que son condiciones adecuadas para el crecimiento del patógeno y desarrollo de la costra negra en los tubérculos; por lo contrario, la presencia de altas temperaturas en el ambiente y en el suelo, así como el uso de semilla básica sana disminuyen la incidencia y severidad de la enfermedad (Hooker, 1980; Montessoro, 2001; Torres, 2002; Agrios, 2005). En el caso de Zaragoza de Guadalupe, puede ser que la aplicación de gallinaza haya incrementado la temperatura del suelo e inhibido el desarrollo del patógeno, aunque no se descarta

la posibilidad que el patógeno se encuentre en forma de trozos de micelio en los ojos o yemas del tubérculo y la enfermedad sea asintomática (sin formación de esclerocios).

En campo se observaron dos tipos de síntomas ocasionados por el ataque de *R. solani*, el primero fue una necrosis reticulada muy parecida a la que provoca *Streptomyces* spp., agente causal de la sarna común (Figura 16a) (Hooker, 1980; Montessoro, 2001); el segundo corresponde a la típica costra negra caracterizada por la formación de esclerocios oscuros, planos, sobre la epidermis del tubérculo, signo que le da el nombre común a la enfermedad (Figura 16b) (O'Brien y Rich, 1976; Hooker, 1980; Montessoro, 2001; Torres, 2002; Agrios, 2005).

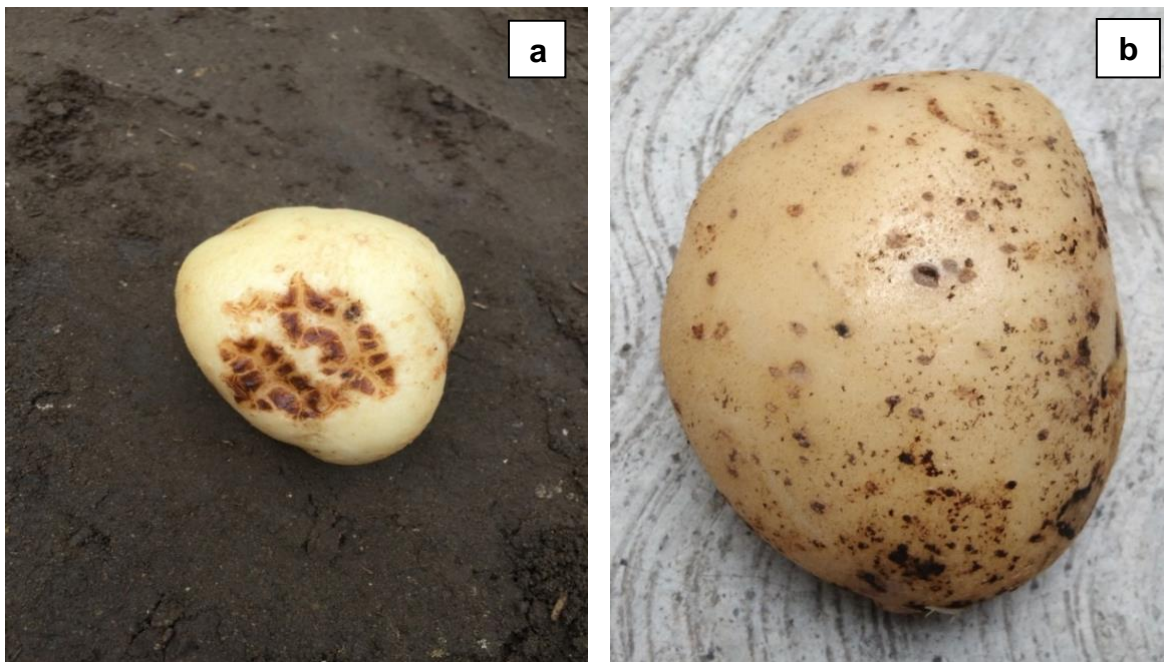


Figura 16. Tubérculo con necrosis reticulada (a) y tubérculo con costra negra (b) por el ataque de *Rhizoctonia solani*.

La presencia de *R. solani* se corroboró en laboratorio a partir de tubérculos infectados con esclerocios. Al respecto, se sabe que existe una gran cantidad de grupos de anastomosis del patógeno, aunque aislamientos de AG-3 han sido

identificados como la principal causa de los ataques al cultivo de papa (Anderson, 1982; Ogoshi, 1987; Carling y Leiner, 1990). Los grupos AG-1 a AG-9 (principalmente AG-4, AG-5 y AG-8), se han aislado ocasionalmente de cultivos de papa o de suelos donde hubo plantaciones de papa (Jeger *et al.*, 1996). En nuestro país se han identificado los grupos AG-3 y AG-4 de *R. solani* atacando a los cultivos de papa (Chávez, 2009), además de AG-5 (Alonso-Corona *et al.*, 1994), y AG-7 (Carling *et al.*, 1998).

La pudrición seca del tubérculo de papa se presentó en las tres localidades muestreadas, y su incidencia y severidad fue mayor que las de costra negra, a pesar de que la primera es una enfermedad de los tubérculos en almacén y la segunda de campo. Los síntomas observados se presentaron en varias zonas del tubérculo como lesiones deprimidas y arrugadas de color café que correspondieron a una cavidad interna con presencia de crecimiento de micelio y conidios del hongo patógeno (Figura 17a-b). En laboratorio se determinó que las especies de *Fusarium* que están asociadas a la pudrición seca del tubérculo de papa en la zona de estudio, son *F. graminearum* (ex *F. roseum*), *F. avenaceum* y *F. solani*; esta última especie también está asociada al marchitamiento vascular (Hooker, 1980; Montessoro, 2001; Torres, 2002; Agrios, 2005). También se ha aislado a *F. oxysporum* del sistema vascular de tubérculos asintomáticos.



Figura 17. Tubérculo de papa con síntomas de pudrición seca (a) y cavidades con micelio de *Fusarium* spp. (b).

En campo, la incidencia y severidad de la pudrición seca en los tubérculos de papa se asocia principalmente con pH ácido como el de la zona papera del municipio de Calimaya (pH 5.4 a 5.8), condición que favorece la infección de especies de *Fusarium* que atacan al cultivo de papa. Además, el tiempo que permanecen los tubérculos en suelo después de la eliminación del follaje de las plantas y la humedad del suelo, son factores que aumentan la incidencia y severidad de la enfermedad; mientras más tiempo permanezcan los tubérculos en el suelo, mayor exposición tendrán al patógeno (Hooker, 1980; Torres, 2002; Agrios, 2005). Otro factor que incrementa la cantidad de propágulos de *Fusarium* spp. en el suelo y favorece la infección del patógeno en las plantas es la cantidad de materia orgánica en el suelo. Al respecto, se ha demostrado que la incorporación de abonos orgánicos en forma de estiércol a los cultivos aumenta la incidencia de este patógeno (Pedroza-Sandoval y Samaniego-Gaxiola, 2003), como en el caso de la parcela de Zaragoza de Guadalupe con la aplicación de gallinaza. De manera natural, la gallinaza incrementa su temperatura al descomponerse en el suelo y por ende aumenta la temperatura de éste, condición que aprovecha *Fusarium* para desarrollarse (Koike *et al.*, 2019; DGSV-CNRF, 2020a).

A pesar de que la sarna común fue la enfermedad del tubérculo más importante en la zona papera del municipio de Calimaya por su alta incidencia y severidad, los daños ocasionados al tubérculo solo afectaron la calidad comercial de éste (Figura 18a-b), tal como lo reportan varias investigaciones (Montessoro, 2001; Castro y Contreras, 2011; Lapaz, 2014; Leyva-Mir *et al.*, 2014; Ramírez y Sainz, 2022). Los valores de incidencia y severidad de sarna común en tubérculos de cultivos comerciales de papa en Calimaya, además de diferir entre localidades también contrastan con lo señalado en algunas publicaciones. Al respecto, Torres (2002) y Ramírez y Sainz (2022) reportan que la enfermedad ha alcanzado hasta el 80% y 100% de incidencia en cultivos de papa de productores de Chile y Sinaloa, México, respectivamente. Sin embargo, en cultivos comerciales de papa de la

zona productora de Sonora la incidencia de la enfermedad varió de 30 a 40%, lo cual ocasionó pérdidas económicas importantes. Sin embargo, la severidad promedio de la enfermedad con el manejo convencional de los productores fue de 21.5% (Leyva-Mir *et al.*, 2014), valor muy parecido a la severidad promedio (27.34%) determinada en la zona papera de Calimaya con el manejo convencional del cultivo realizado por los tres productores cooperantes.

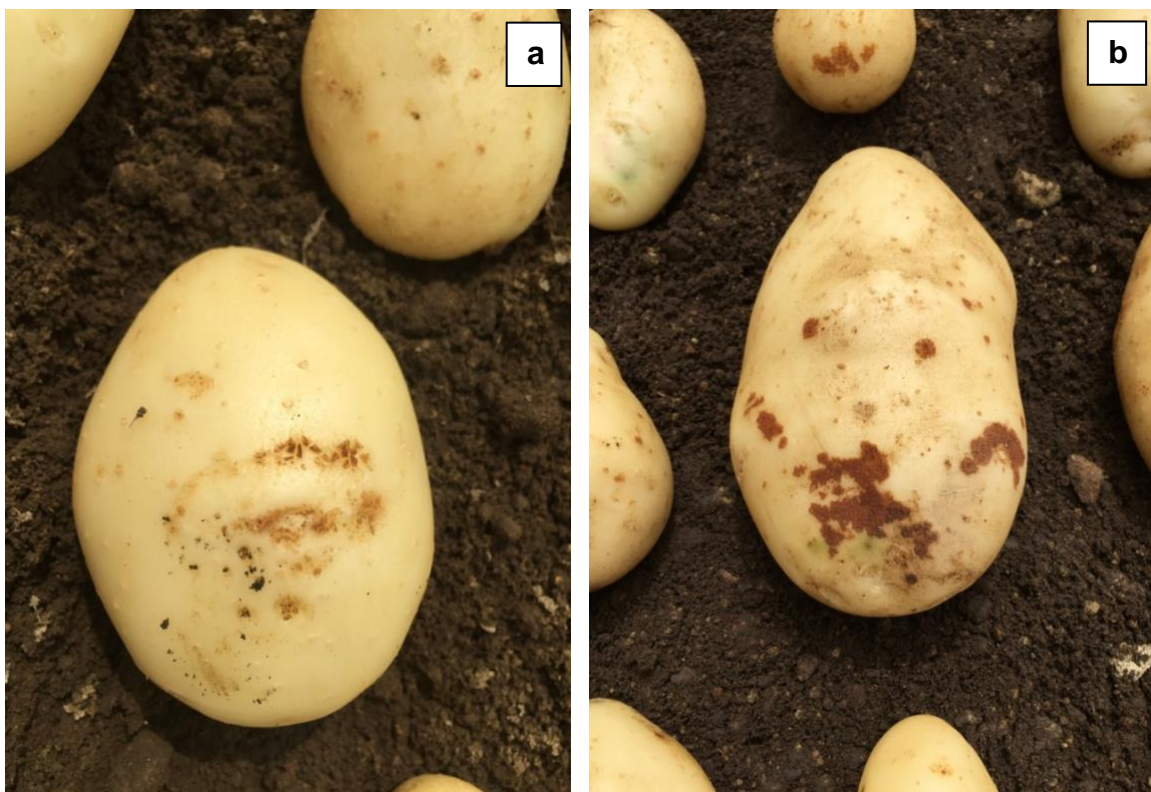


Figura 18. Tubérculos de papa con síntomas iniciales (a) y avanzados (b) de sarna común por *Streptomyces* spp.

Con respecto al diagnóstico del agente causal de la roña, los métodos de identificación tradicionales basados en la caracterización morfológica y técnicas bioquímicas, son laboriosos y tardados, y muchas veces no permiten diferenciar con certeza una especie de otra (Lapaz, 2014; Ramírez y Sainz, 2022). Por lo que, actualmente se están empleando técnicas moleculares (PCR) para lograr una

mayor certeza en el diagnóstico. Un diagnóstico correcto del patógeno se basa principalmente en el análisis morfológico, fisiológico, patogénico y molecular de aislamientos (Lapaz, 2014; Leyva-Mir *et al.*, 2014; Moreno, 2020). A nivel mundial se conocen al menos 10 especies de *Streptomyces* asociadas a la sarna común del tubérculo de papa, pero en nuestro país solo se ha identificado a *S. scabies* como agente causal de la enfermedad en las regiones paperas de Sonora (Leyva-Mir *et al.*, 2014) y Sinaloa (Moreno, 2020). Tampoco se descarta la presencia de otras especies, como *S. acidiscabies* y *S. turgidiscabies*, entre otras (Montessoro, 2001; Ramírez y Sainz, 2022), debido a la diversidad de zonas, clima y suelo destinados al cultivo de papa en nuestro país.

En el caso de la pudrición blanda del tubérculo, su incidencia y daños en campo fueron relativamente bajos, debido a que es una enfermedad que se presenta en mayor grado en almacén y está asociada al ataque del hongo *Fusarium* spp. (Figura 19a)(Hooker, 1980; Montessoro, 2001; Torres, 2002; Acuña *et al.*, 2015). Por lo que, lo más probable es que en campo esta enfermedad sea causada por *Pectobacterium atrosepticum*, más que *P. carotovorum*, ya que la pudrición inicia en el estolón (Palacio y Cambra, 2004; Trujillo y Perera, 2019) (Figura 19b), y en campo hubo presencia de pierna negra causada por *P. atrosepticum*.



Figura 19. Tubérculo con pudrición blanda por *Pectobacterium* spp. (a) y secreción bacteriana (b).

La alta incidencia y severidad de enfermedades fungosas y bacterianas del tubérculo de papa observadas en la zona papera de Calimaya, sobre todo de sarna común, están muy relacionadas con la acidez del suelo de la región, puesto de los valores de pH oscilan entre 5.4 y 5.8. Con respecto a esta característica del suelo, la mayoría de los hongos patógenos las partes subterráneas de plantas se desarrollan en pH por debajo de 5.5 (Agrios, 2005), y en el caso concreto de la sarna común por *Streptomyces scabiei* requiere un valor mínimo de pH de 5.2 (Castro y Contreras, 2011). En el caso concreto de la parcela de Zaragoza de Guadalupe, es probable que los valores elevados de incidencia y severidad de las enfermedades del tubérculo, se deba a la incorporación de gallinaza al suelo como fuente de nutrición del cultivo. A pesar de que el estiércol de ave o gallinaza posee un alto contenido de nutrientes (Do Carmo *et al.*, 2016), también tiene la desventaja de autocalentarse y elevar la temperatura del suelo; además, posee altas concentraciones de amonio y sales; el nitrógeno amoniacal que es una fuente de alimento de los microorganismos del suelo como los hongos y bacterias patógenos de las plantas (Mupambwa *et al.*, 2017). Cuando la gallinaza no se ha descompuesto completamente, eleva su temperatura y acidez en sus estados iniciales de descomposición (Trinidad, 2002). Las altas concentraciones de sales en el suelo favorecen el desarrollo de agentes patogénicos presentes en el suelo (Agrios, 2005).

#### **6.4. Severidad del daño de plagas en tubérculos de papa**

En el Cuadro 15 se aprecia que la severidad del daño en tubérculos (manchado de la médula), como consecuencia del ataque de paratrioza en el follaje de las plantas de papa, fue relativamente baja en las tres localidades; la severidad del daño ocasionado por esta plaga osciló entre 6.35 a 10.05%, en promedio 8.76% (Cuadro 15 y Figura 20a-b). Al respecto, es importante señalar que la simple medición de la necrosis medular del tubérculo no representa una técnica visual muy confiable para valorar el ataque de *B. cockerelli*, ya que este síntoma también

se puede atribuir al daño provocado por las toxinas secretadas por el insecto (Garzón, 2002; CESAVEM, 2014; Bujamos y Ramos, 2015), o al daño indirecto del insecto causado por la punta morada, enfermedad provocada por la bacteria *Can. Liberibacter solanacearum* (Rubio *et al.*, 2006; Munyaneza *et al.*, 2008; Munyaneza, 2012; Rubio-Covarrubias *et al.*, 2013); es más, puede haber tubérculos asintomáticos procedentes de plantas afectadas tanto por el insecto como por la bacteria (Garzón, 2002). Cabe destacar que la necrosis medular o pardeamiento del tubérculo no es el único síntoma del ataque de paratrioza, también están el amarillamiento del follaje, detención del crecimiento de la planta y formación de tubérculos aéreos por el ataque de las ninfas del insecto (Figura 21); sin embargo, en este trabajo solo se consideró el daño en el tubérculo al final del ciclo del cultivo.

En las tres localidades se hicieron aplicaciones de insecticidas de contacto, sistémicos y mezcla de ambos para el manejo químico de la paratrioza (Cuadros 7, 8 y 9). Dichas aplicaciones se enfocaron al control de adultos y ninfas del insecto; las segundas asociadas a la inyección de toxinas en las plantas que provocaron el pardeamiento o necrosis medular del tubérculo. Sin embargo, en el manejo químico de la plaga no se consideró el modo de acción de los insecticidas y la rotación de los productos en base a este criterio para evitar o retrasar la resistencia del insecto a los ingredientes activos (Garzón, 2002; Garzón *et al.*, 2007; CESAVEM, 2014; Bujanos y Ramos, 2015). En las tres parcelas los insecticidas aplicados pertenecen a grupos químicos que actúan sobre el sistema nervioso y movimiento de los insectos (IRAC, 2019 y 2021). Esto ocasionó que la paratrioza se presentara en el follaje de las plantas y causara daños indirectos en los tubérculos de las plantas en las tres localidades.



Cuadro 15. Severidad promedio del daño de plagas insectiles en tubérculos de papa de tres localidades de Calimaya, México.

<b>Localidad</b>	<b>Paratrioza</b>	<b>Gallina ciega</b>
<b>1. Zaragoza de Guadalupe</b>		
Severidad (%)	6.35	0.00
Desviación estándar	4.71279	0.00
Varianza	22.21047	0.00
C.V. (%)	74.24	0.00
<b>2. Santa Cruz Pueblo Nuevo</b>		
Severidad (%)	9.88	9.53
Desviación estándar	3.3159	5.70433
Varianza	10.9953	32.53943
C.V. (%)	33.56	59.88
<b>3. San Lorenzo Cuauhtenco</b>		
Severidad (%)	10.05	9.58
Desviación estándar	6.07346	6.52694
Varianza	36.88697	42.60098
C.V. (%)	60.44	68.10
<b>Promedio</b>	<b>8.76</b>	<b>6.37</b>



Figura 20. Corte transversal de tubérculos con necrosis parcial (a) y necrosis total (b) de la medula por el ataque de paratrioza (*Bactericera cockerelli*).



Figura 21. Planta con tubérculos aéreos por el ataque de ninfas de paratrioza.

La severidad del daño en los tubérculos de papa por gallina ciega fue muy similar en las parcelas de Santa Cruz Pueblo Nuevo (10.34%) y San Lorenzo Cuauhtenco (10.39%); en promedio 6.37% para la zona porque la plaga no se encontró en el cultivo de Zaragoza de Guadalupe (Cuadro 15 y Figura 22a). Se desconoce la especie de *Phyllophaga* que está asociada a los daños en los cultivos de papa de la zona productora del municipio de Calimaya; pero el cultivo de papa y otras hortalizas están dentro de los hospederos del género *Phyllophaga* (Plantwise, 2020). Entre las especies que atacan a la papa están *P. crinita* (Peña, 1998), *P. vetula* (Ruiz-Vega *et al.*, 2012), *P. obsoleta* (Toledo, 2016) y *P. ravidia* (Aragón-García *et al.*, 2008). Todas estas especies son polífagas y su presencia puede estar asociada a cultivos anteriores como maíz, avena, haba, e incluso papa (Figura 22b). Sin embargo, la baja incidencia y nivel de daño en los tubérculos puede estar relacionada con la aplicación de insecticidas específicos al momento de la siembra y segunda escarda del cultivo (Cuadros 7, 8 y 9); o bien, a la falta de

humedad del suelo después de la defoliación de las plantas que provoca que las larvas migren a profundidades del suelo con mayor humedad, generalmente por debajo de la capa arable (DGSV-CNRF, 2012; CESAVEG, 2014). Esta última aseveración puede explicar la ausencia de larvas en el suelo y los tubérculos.



Figura 22. Tubérculos de papa con daños de “gallina ciega” (a) y larva de *Phyllophaga* spp. (b).

## 6.5. Rendimiento comercial de tubérculos

No se observaron diferencias sustanciales en rendimiento de tubérculos comerciales entre las parcelas de papa de las tres localidades, lo cual se puede apreciar en el Cuadro 16; el rendimiento más elevado se obtuvo en el cultivo de la parcela de Zaragoza de Guadalupe con 29,500 kg ha<sup>-1</sup>; esta parcela solo superó con 2,500 kg ha<sup>-1</sup> en rendimiento a la parcela de Santa Cruz Pueblo Nuevo y con 1,000 kg ha<sup>-1</sup> a la parcela de la localidad de San Lorenzo Cuauhtenco.

A pesar de que hubo diferencias notables entre los tratamientos de fertilización para la nutrición del cultivo en las parcelas de papa de las tres localidades, con

aportes sustanciales de N, P, K, Ca y micro elementos, esto no incidió en el rendimiento promedio de tubérculos comerciales en la zona de estudio que fue de 28,333 kg ha<sup>-1</sup>, el cual resultó relativamente inferior al rendimiento promedio nacional de 31,780 kg ha<sup>-1</sup>, y rendimiento promedio estatal de 29,560 kg ha<sup>-1</sup> (SIAP, 2022). Tampoco llegó al rendimiento esperado del cultivar Fianna usado en la siembra, que según la información de la empresa productora de la semilla es de 40,000 kg ha<sup>-1</sup> (NIVAP, 2003). La única localidad que tuvo un rendimiento promedio similar al promedio estatal fue Zaragoza de Guadalupe.

Cuadro 16. Rendimiento comercial de tubérculos de papa en tres localidades de la zona papera de Calimaya, México.

<b>Tratamiento/localidad</b>	<b>Rendimiento comercial (kg ha<sup>-1</sup>)</b>
1. Zaragoza de Guadalupe	29500
2. Santa Cruz Pueblo Nuevo	27000
3. San Lorenzo Cuauhtenco	28500
<b>Promedio</b>	<b>28,333</b>

Con respecto a lo anterior, es importante destacar que el rendimiento comercial de tubérculos de cada parcela comercial de papa en las tres localidades, no solo fue afectado por la incidencia y severidad de las enfermedades y plagas presentes en los tubérculos, sino que también influyeron un conjunto de factores, tales como: fertilización desbalanceada (Cuadros 4, 5 y 6), manejo fitosanitario diferente (Cuadros 7, 8 y 9), tipo y tamaño de semilla empleada en la siembra y densidad de siembra (distancia entre plantas), así como la irregularidad de la precipitación durante el ciclo de cultivo. Otro factor importante que incidió negativamente en el rendimiento del cultivo fue la presencia de tizón tardío, enfermedad que afecta el follaje, reduciendo la superficie fotosintética de las plantas y el rendimiento de tubérculos comerciales (Hooker, 1980; Montessoro, 2001; Torres, 2002; Pérez y Forbes, 2008; Acuña *et al.*, 2015).

## VII. CONCLUSIONES

1. Las cuatro enfermedades y dos plagas estudiadas solo se presentaron en tubérculos de papa de la parcela comercial de San Lorenzo Cuauhtenco, Calimaya, Estado de México.
2. De las cuatro enfermedades evaluadas la más importante en la zona papera del municipio de Calimaya, fue la “sarna común” por *Streptomyces* spp., ya que se presentó en las tres localidades con una incidencia y severidad promedio de 42.34 y 20.04%, respectivamente.
3. La enfermedad con menor incidencia y severidad en la zona fue la “costra negra” con 8.96 y 5.15% en promedio, respectivamente.
4. Los daños ocasionados en los tubérculos por el ataque de paratrioza y gallina ciega fueron relativamente bajos, ya que la incidencia y severidad de las dos plagas no rebasó el 14 y 10%, respectivamente.
5. En conjunto, la incidencia y severidad de las plagas y enfermedades del tubérculo, afectó el rendimiento comercial de papa cv. Fianna en la zona productora del municipio de Calimaya, ya que este fue de 28,333 t ha<sup>-1</sup>, y resultó inferior al rendimiento promedio estatal (29,560 kg ha<sup>-1</sup>) y nacional (31,780 kg ha<sup>-1</sup>).

## VIII. LITERATURA CITADA

- Acuña, I., Muñoz, M., Saldaña, P., Orena, S., Bravo, R., Kalazich, J., Tejeda, P., Castro, M.P., y Sandoval, C. 2015. Manual Interactivo de la papa. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Chile. Disponible en: <http://manualinia.papachile.cl>. Fecha de consulta: 24 de enero de 2022.
- Agrios, G.N. 2005. Fitopatología. Limusa; México, D.F. 838 p.
- Alonso-Corona, Z., Hernández-Castillo, F.D., Frías-Treviño, G., y Sánchez-Arizpe, A. 1994. Grupos de anastomosis de *Rhizoctonia solani* en papa en Coahuila y Nuevo León, México. Memorias XXXIV Reunión Anual. Sociedad Americana de Fitopatología División Caribe. El Zamorano, Honduras C.A. 30.
- Anderson, N.A. 1982. The genetics and pathology of *Rhizoctonia solani*. Annual Review of Phytopathology 20:329-347.
- Aquino-Martínez, J.G., Reyes-Reyes, B.G., & Vázquez-García, L.M.. 2008. Biocontrol *in vitro* e *in vivo* de *Fusarium oxysporum* con hongos antagonistas nativos de la zona florícola de Villa Guerrero, Estado de México. Revista Mexicana de Fitopatología 26: 127- 137.
- Aquino, J.G. 2014. Manual de toxicología y manejo de agroquímicos. Gobierno del Estado de México, ICAMEX; Metepec, México, México. 140 p.
- Aragón-García, A., Nochebuena-Trujillo, C.D., Morón, M.A., y López-Olguín, J.F. 2008. Uso de trampas de luz fluorescente para el manejo de gallina ciega (Coleoptera: Melolonthidae) en maíz (*Zea mays* L.). Agrociencia 42:217-223.
- Asociación Andes. 2019. Manejo de plagas y enfermedades en el cultivo de la papa. Disponible en: [Manual-Plagas-y-enfermedades-de-papa.pdf](#) (andes.center). Fecha de consulta: 4 de enero de 2022.

- Ayala, J.E., y Monterroso, L.E. 1998. Aspectos básicos sobre la biología de la gallina ciega. IICA-PRIAG; Coronado, Costa Rica. Manual para técnicos 2. 36 p.
- Ayuntamiento de Calimaya, 2022. Medio físico-municipio de Calimaya. Gobierno del Estado de México. Disponible en: <https://calimaya.gob.mx/tu-municipio/medio-fisico>. Fecha de consulta: 3 de noviembre de 2022.
- Bouchek-Mechiche, K., Gardan, L., Normand, P., and Jouan, B. 2000. DNA relatedness among strains of *Streptomyces* pathogenic to potato in France: descriptions on the three new species, *S. europaeiscabiei* sp. Nov. and *S. stelliscabiei* sp. nov. associated with common scab, and *S. reticuliscabiei* associated with netted scab. International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology 50:91-99.
- Braun, S., Gevens, A., Charkowski, A., et. al. 2017. Potato common scab: a review of the causal pathogens, management practices, varietal resistance screening methods, and host resistance. American Journal Potato Research 94:283-296.
- Brown, J.K., Rehman, M., Rogan, D., Martín, R.R., and Idris, A.M. 2010. First report of *Candidatus Liberibacter psyllauros* (synonym *Ca. L. solanacearum*). Associated with Tomato vein-greening and Tomato psyllid yellows diseases in commercial greenhouses in Arizona. APS Publications. Disponible en: <https://apsjournals.apsnet.org/doi/10.1094/PDIS-94-3-0376B>.
- Bujanos, R., y Ramos, C. 2015. El psílido de la papa y tomate *Bactericera* (= Paratrioza) *cockerelli* (Sulc) (Hemiptera: Triozidae): ciclo biológico; la relación con las enfermedades de las plantas y la estrategia del manejo integrado de plagas en la región del OIRSA. OIRSA México; México, D.F. 49 p.

- Burckhardt, D., and Lauterer, P. 1997. "A taxonomic reassessment of the trioqid genus *Bactericera* (Hemiptera: Psylloidea)". *Journal of Natural History* 31(1):99-153.
- Burckhardt, D., and Ouvrard, D., 2012. A revised classification of the jumping plant-lice (Hemiptera: Psylloidea). *Zootaxa* 3509:1-34. Disponible en: <http://www.hemiptera-databases.com/psyllist/?db=psylles&lang=en&card=publications>.
- CABI International. 2015. *Candidatus Liberibacter solanacearum*. Disponible en: <http://www.cabi.org/isc/datasheet/109434>.
- CABI. 2021a. *Rhizoctonia*. *Invasive Species Compendium*. Disponible en: <https://www.cabi.org/isc/datasheet/47193>.
- CABI. 2021b. *Streptomyces scabiei* (potato scab). *Invasive Species Compendium*. Disponible en: <https://www.cabi.org/isc/datasheet/51840>.
- CABI. 202c. *Pectobacterium atrosepticum* (potato blackleg disease). *Invasive Species Compendium*. Disponible en: <https://www.cabi.org/isc/datasheet/21910>.
- CABI. 2021d. *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum* (bacterial root rot of sweet potato). *Invasive Species Compendium*. Disponible en: <https://www.cabi.org/isc/datasheet/21913>.
- CABI. 2021e. *Bactericera cockerelli* (tomato/potato psyllid). *Invasive Species Compendium*. Disponible en: <https://www.cabi.org/isc/datasheet/45643>.
- CABI. 2022. *Fusarium*. *Invasive Species Compendium*. Disponible en: <https://www.cabi.org/isc/datasheet/24607>.
- Capinera J.L., 2001. *Handbook of vegetable pests*. Academic Press; San Diego, CA. 840 p.



- Carling, D.E., Brainard, A., Virgen, G., and Olalde, V. 1998. First report of *Rhizoctonia solani* AG-7 on potato in Mexico. *Plant Disease* 82(1):127.
- Carling, D.E., and Leiner, R.H. 1990. Effect of temperature on virulence of *Rhizoctonia solani* and other *Rhizoctonia* on potato. *Phytopathology* 80:930-934.
- Caro-Castro, J., Mateo-Tuesta, C., Cisneros-Moscol, J., Galindo-Cabello, N., y León-Quispe, J. 2019. Aislamiento y selección de actinomicetos rizosféricos con actividad antagonista a fitopatógenos de la papa (*Solanum tuberosum* spp. andígena). *Ecología Aplicada* 18(2):101-109.
- Castro, C. 1989. Ecology of *Rhizoctonia solani* and diseases development in relation to anastomosis groups. pp. 181-190. In: *Fungal diseases of the potato*. International Potato Centre. Report of Planning Conference on Fungal Disease in the Potato. Held at CIP; Lima, Perú. September 21-25.
- Castro, I., y Contreras, A. 2011. Manejo de plagas y enfermedades en el cultivo de la papa. Universidad Austral de Chile. Imprenta Austral; Valdivia, Chile. 72 p.
- CESAVEM (Comité Estatal de Sanidad Vegetal del Estado de México). 2014. Manejo integrado de la paratrioza (*Bactericera cockerelli* Sulc.). Campaña Manejo Fitosanitario del Jitomate. SAGARPA-SENASICA-Gobierno del Estado de México. Toluca, México, México. 7 p. Disponible en: <https://www.cesavem.mx/img/fitosanitariodeljitomate/jitomate2.pdf>. Fecha de consulta: 18 de diciembre de 2021.
- CESAVEG (Comité Estatal de Sanidad Vegetal del Estado de Querétaro). 2014. Campaña de Manejo Fitosanitario del Maíz. Verifica que tu cultivo no tenga plagas del suelo. SAGARPA-SENASICA-Gobierno del Estado de Querétaro. El Marqués, Querétaro. 12 p.
- Chávez, J.R. 2009. Susceptibilidad al pencycuron de grupos de anastomosis de *Rhizoctonia solani* Kuhn en ocho regiones paperas de México. Tesis de

- Maestro en Ciencias en Parasitología Agrícola. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro; Saltillo, Coahuila, México, México. 43 p.
- CIP (Centro Internacional de la papa). 1996. Principales enfermedades, nematodos e insectos de la papa. Lima Perú. 11 p.
- De Liñán, C. 2022. Agroquímicos de México. Vademecum de productos fitosanitarios y nutricionales. Disponible en: [https://libreria.editorialagricola.com/editorial-agricola-libreria/destacados/vademecum-de-productos-fitosanitarios-y-nutricionales-2021\\_108\\_54\\_12924\\_0\\_1\\_pro.html](https://libreria.editorialagricola.com/editorial-agricola-libreria/destacados/vademecum-de-productos-fitosanitarios-y-nutricionales-2021_108_54_12924_0_1_pro.html).
- Dees, M.W., Sletten, A., and Hermansen, A., 2013. Isolation and characterization of *Streptomyces* species from potato common scab lesions in Norway. *Plant Pathology* 62:217-225.
- DGSV-CNRF (Dirección General de Sanidad Vegetal-Centro Nacional de Referencia Fitosanitaria). 2020a. *Fusarium* spp. (Hypocreales: Nectriaceae) Podredumbre de raíces. Ficha Técnica. SADER-SENASICA; Tecámac, Estado de México. 18 p.
- DGSV-CNRF (Dirección General de Sanidad Vegetal-Centro Nacional de Referencia Fitosanitaria). 2020b. Gallinas Ciegas *Phyllophaga* spp. (Coleoptera: Melolonthidae: Melolonthinae) y *Cyclocephala* spp. (Coleoptera: Melolonthidae: Dynastinae). Ficha Técnica. SADER-SENASICA. Tecámac, Estado de México. 21 p.
- Do Carmo, D.L., De Lima, L.B., & Silva, C.A. 2016. Soil fertility and electrical conductivity affected by organic waste rates and nutrient inputs davi lopes. *Revista Brasileira de Ciencia Do Solo* 40:150-152. Disponible en: <https://doi.org/10.1590/18069657rbc20150152>.
- Elías, M.R. 1994. Evaluación de fluazinam para el control de la “costra negra” (*Rhizoctonia solani*) en Tlaxco, Tlaxcala. Tesis Profesional. Universidad

- Autónoma Chapingo, Departamento de Parasitología. Chapingo, Texcoco, México. 71 p.
- EPPO (European and Mediterranean Plant Protection Organization). 2020. *Phyllophaga* sp. (PHYGSP). Disponible en: <https://gd.eppo.int/taxon/PHYGSP>. Fecha de consulta: 23 de septiembre de 2021.
- Fausher, E., Paradis, E., Goyer, C., Hodge, N.C., Hogue, R., Stall, R.E., and Beaulieu, C. 1995. Characterization of *Streptomyces* causing deep-pitted scabv of potato in Quebec, Canada. *International Journal of Systematic Bacteriology* 45:222-225.
- Fiers, M., Edel-Hermann, V., Chatot, C., Le Hingrat, Y., Alabouvette, C., and Steinberg, C. 2012. Potato soil-borne diseases. A Review *Agronomy for Sustainable Development* 32:93-132.
- Flores-González, R., Velasco, I., and Montes, F. 2008. Detection and characterization of *Streptomyces* causing potato common scab in Western Europe. *Plant Pathology* 57:162-169.
- FRAC (Fungicide Resistance Action Committee). 2019. Clasificación de fungicidas y bactericidas según el modo de acción. FRAC España. 25 p. Disponible en: <https://www.syngenta.es/sites/g/files/zhg516/f/2019/04/clasificacion-fungicidas-bactericidas-segun-modo-accion.pdf>. Fecha de consulta: 13 de julio de 2021.
- FRAC (Fungicide Resistance Action Committee). 2021. FRAC Code List2021: Fungal control agents sorted by cross resistance pattern and mode of action (including coding for FRAC Groups on product labels). Disponible en: [https://www.frac.info/docs/default-source/publications/frac-code-list/frac-code-list-2021--final.pdf?sfvrsn=f7ec499a\\_2](https://www.frac.info/docs/default-source/publications/frac-code-list/frac-code-list-2021--final.pdf?sfvrsn=f7ec499a_2). Fecha de consulta: 13 de julio de 2021.

- García-Ávila, C. de J., Valenzuela-Tirado, G.A., Florencio-Anastasio, J.G., Ruiz-Galván, I., Moreno-Velázquez, M., Hernández-Macías, B., López-Buenfil, J.I., Bravo-Pérez, D., Pineda-Ríos, J.M., y Quezada-Salinas, A. 2018. Organismos asociados a daños en tubérculos de papa en postcosecha. *Revista Mexicana de Fitopatología* 36(2):308-320.
- Garrido. R. 2016. Evaluación de la actividad micoparasítica de 15 cepas de *Trichoderma* spp. frente a *Rhizoctonia solani*, utilizando frijol caupi (*Vigna unguiculata*). Tesis de Ingeniero Agrónomo. Universidad de Trujillo, Perú.
- Garzón, J.A., 2002. "Asociación de *Paratrysoza cockerelli* Sulc. con enfermedades en papa (*Solanum tuberosum*) y tomate (*Lycopersicon lycopersicum* Mil. Ex. Fawnl) en México". In: Memoria del Taller sobre *Paratrysoza cockerelli* (Sulc.) como plaga y vector de fitoplasmas en hortalizas. Culiacán, Sinaloa, México. pp. 79-87.
- Garzón, J.A., Bujanos, R., y Marín, A. 2007. Manejo integrado de paratrysoza *Bactericera cockerelli* Sulc. INIFAP; Culiacán, Sinaloa, México. Folleto para productores No. 54. 20 p.
- Gerayeli, N., & Baghaee, S. 2018. Evaluation of the antagonistic potential of *Bacillus* strains against *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum* and their role in the induction of resistance to potato soft rot infection. *European Journal of Plant Pathology* 150(4):1049-1063.
- González-Franco, A.C., Rodríguez-Rodríguez, M., y Robles-Hernández, L. 2020. Principales virus que afectan al cultivo de papa y metodologías para su identificación y caracterización. *TECNOCENCIA Chihuahua* 8(3):142-151. Disponible en: <https://vocero.uach.mx/index.php/tecnociencia/article/view/604>. Fecha de consulta: 25 de octubre de 2022.

- Guzmán-Vásquez H.M., Sánchez-García, J.A., y Hernández-Cruz, J. 2017. El Género *Cyclocephala* Dejean (Coleoptera: Melolonthidae: Dynastinae: Cyclocephalini) en México. *Entomología Mexicana* 4:808-812.
- Herbario Virtual Fitopatología. 2022. Cátedra de Fitopatología. Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires. Disponible en: <http://herbariofitopatologia.agro.ub.ar>.
- Hernández-Castillo, F.D., Lira-Saldivar, R.H., Cruz-Chávez, L., Gallegos-Morales, G., Galindo-Cepeda, M.E., Padrón-Corral, E., y Hernández-Suárez, M. 2008. Potencial antifúngico de cepas de *Bacillus* spp. y extracto de *Larrea tridentata* contra *Rhizoctonia solani* en el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.). *PHYTON. Revista Internacional de Botánica Experimental*. 77:241-252.
- Herrera, J.E., and Scott, G.J. 1993. Factores limitantes a la producción y usos de la papa: resultados de la encuesta a los programas nacionales de América Latina. *Revista Latinoamericana de la Papa* 5:122-134. Disponible en: <http://www.papaslatinas.org/ojs/index.php/rev-alap/article/viewFile/63/65>.  
Fecha de consulta: 30 de noviembre de 2021.
- Hiltunen, L.H., Ojanperä, T., Kortemaa, H., Richter, E., Lehtonen, M.J., & Valkonen, J.P. 2009. Interactions and biocontrol of pathogenic *Streptomyces* strains co-occurring in potato scab lesions. *Journal of Applied Microbiology* 106(1):199-212.
- Hodkinson I.D. 2009. Life cycle variation and adaptation in jumping plant lice (Insecta: Hemiptera: Psylloidea): a global synthesis. *Journal of Natural History* 43:65-179.
- Hooker, W.J. 1980. Compendio de enfermedades de la papa. Centro Internacional de la Papa (CIP); Lima, Perú. 166 p.

Hooker, W.J. 1981. Common scab. pp. 33-34. In: Compendium of potato diseases. Hooker, W.J. (Ed.). The American Phytopathological Society Press; St. Paul, MN. 125 p.

ICA (Instituto Colombiano Agropecuario). 2011. Manejo fitosanitario del cultivo de papa (*Solanum tuberosum* subsp. *andigena* y *S. phureja*). Medidas para la temporada invernal. Bogotá, Colombia. 35 p. Disponible en: <https://www.ica.gov.co/getattachment/b2645c33-d4b4-4d9d-84ac-197c55e7d3d0/Manejo-fitosanitario-del-cultivo-de-la-papa-;-.aspx>.  
Fecha de consulta: 11 de marzo de 2022.

INEGI. 2022. Calimaya, Estado de México. Disponible en: <https://www.google.com/maps/place/Calimaya,+M%C3%A9xico/@19.1687371,-99.635865,12z/data=!3m1!4b1!4m6!3m5!1s0x85cd8deafd3231e9:0x2e9f0e378b6f60d4!8m2!3d19.1617587!4d-99.6178249!16s%2Fm%2F064ny2c>.  
Fecha de consulta: 15 de marzo de 2022.

INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias). 2000. Manual para la producción de papa en las sierras y valles altos del centro de México. Libro Técnico No. 1. SAGARPA; Zinacantepec, México, México. 80 p.

INTAGRI. 2016. Manejo integrado de gallina ciega. Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/fitosanidad/manejo-integrado-de-la-gallina-ciega>. Fecha de consulta: 10 de diciembre del 2021.

IRAC (Comité de Acción Contra la Resistencia a Insecticidas). 2019. Clasificación del modo de acción de insecticidas y acaricidas Nueva versión incluyendo los bio-insecticidas. IRAC España. 24 p. 13 de julio de 2021.

IRAC (Comité de Acción Contra la Resistencia a Insecticidas). 2021. Clasificación del modo de acción de insecticidas y acaricidas. IRAC España. 18 p. 13 de julio de 2021.

- Koike, S.T., Wilen, C.A., Raabe, R.D., McCain, A.H., and Grebus, M.E. 2019. Fusarium Wilt. Disponible en: <http://ipm.ucanr.edu/PMG/r280100811.html>  
Fecha de consulta: 20 de agosto de 2023
- Koppert. 2022. Paratrioza (pulgón saltador de la papa/tomate). Disponible en:  
Fecha de consulta: 22 de noviembre de 2021.
- Jeger, M.J., Hide, G.A., Van Den Boogert, P.H.J.F., Termorshuizen, A.J., and Van Baarlen, P. 1996. Pathology and control of soil-borne fungal pathogens of potato. *Potato Research* 39, 437-469.
- Lambert, D.H., and Loria, R. 1989. *Streptomyces scabies* sp. nov., nom. rev. *International Journal of Systematic Bacteriology* 39:387-392.
- Lapaz, M.I. 2014. Estudio de cepas de *Streptomyces* spp. causantes de sarna común en papa en Uruguay. Tesis de Maestría en Ciencias Biológicas. Microbiología. Universidad de la República, Facultad de Ciencias; Montevideo, Uruguay. 133 p.
- Leiminger, J., Frank, M., Wenk, C., Poscheinrieder, G., Kellermann, A., and Schwarzfisher, A. 2013. Distribution and characterization of *Streptomyces* species causing common scab in Germany. *Plant Pathology* 62:611-623.
- Leyva-Mir, S.G., Garay-Lizárraga, F., Alvarado-Gómez, O.G., Castillo-Márquez, L.E., y Tovar-Terrazas, J.M. 2014. Detección y control de *Streptomyces scabies* Lambert & Loria en tubérculos de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el Valle del Mayo, Sonora, México. *Chilean Journal of Agricultural and Animal Sciences, ex Agro-Ciencia* 30(1):5-13.
- Liefting L.W., Pérez-Egusquiza, G.R., Clover, G., & Anderson, J.A.D. 2008. A new Candidatus Liberibacter species in *Solanum tuberosum* in New Zeland". *Plant Disease* 92:1474.
- Limas B.R. 1996. Revisión bibliográfica de la papa (*Solanum tuberosum* L.) y su cultivo. Tesis de Ingeniero Agrónomo Fitotecnista. Universidad Autónoma

- del Estado de México. Facultad de Ciencias Agrícolas. Toluca, México, México. 122 p.
- Loria, R., Bukhalid, R.A., Fry, B.A., & King, R.R. 1997. Plant pathogenicity in the genus *Streptomyces*. *Plant Disease* 81:836-846.
- Martínez, B., Infante, D., y Reyes, Y. 2013. *Trichoderma* spp. y su función en el control de plagas en los cultivos. *Revista Protección Vegetal* 28(1):1-11.
- Méndez, P., y Gaete, N. 2000. Principales enfermedades que afectan al cultivo de papa. INIA Caillanca. 34 p. Disponible en: <https://tizon.inia.cl/assets/boletines/inia%20carillanca%20-%20principales%20enfermedades%20que%20afectan%20el%20cultivo%20de%20la%20papa.pdf>.
- Mendoza, J. 2015. Efectividad de *Bacillus subtilis* contra *Streptomyces scabies* (sarna común Thaxter) en tubérculos de papa *Solanum tuberosum* L. bajo condiciones de invernadero. Tesis de Ingeniero Agrónomo Parasitólogo. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro; División de Agronomía, Departamento de Parasitología. Saltillo, Coahuila, México. 49 p.
- Michel-Aceves, A.C., Ariza-Flores, R., Barrios-Ayala, A., Otero-Sánchez, M.A., Rebolledo-Martínez, A., & Solano-Pascacio, L.Y. 2009. Biocontrol *in vitro* con *Trichoderma* spp. de *Fusarium subglutinans* (Wollenweb & Reinking) Nelson, Toussoun y Marasas y *F. oxysporum* Schlecht., agentes causales de la "escoba de bruja" del mango (*Mangifera indica* L.). *Revista Mexicana de Fitopatología* 27:18-26.
- Monreal, L.A. 2001. Importancia de la papa (*Solanum tuberosum* L.) en la Región de Navidad, Nuevo León. Monografía. Ingeniero Agrónomo en Producción. Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro", División de Agronomía. Saltillo, Coahuila, México. 115 p.



- Montessoro, R.R. 2001. Manual de enfermedades y desordenes fisiológicos de la papa en México. Sabritas; San Antonio la Isla, Estado de México, México. 37 p.
- Morales, H.J.L. 2012. Costos de producción y competitividad del cultivo de la papa en el Estado de México. Tesis de Doctor en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales. Universidad Autónoma del Estado de México. Programa de Maestría y Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales.
- Moreno, J.A. 2020. Caracterización morfológica y molecular del agente causal de la roña común de la papa *Solanum tuberosum* L. y su biocontrol con el hongo *Trichoderma harzianum in vitro*. Tesis de Maestro en Fitopatología y Medio Ambiente. Universidad Autónoma de Occidente, Unidad Regional los Mochis. Los Mochis, Sinaloa, México. 93 p.
- Morón, M.A., Rojas, C.V., y Arce, R. 2016. La función de la “gallina ciega” en los pastizales. Red de Biodiversidad y Sistemática, Instituto de Ecología, A.C. Xalapa, Veracruz 15 p.
- Mulder, A., and Turkensteen, L.J. 2005. Potato disease. NIVAP: Den Haag, Netherlands. 280 p.
- Mupambwa, H.A., Ncoyi, K., and Mnkeni, P.N. 2017. Potential of chicken manure vermicompost as a substitute for pine bark based growing media for vegetables. International Journal of Agriculture and Biology 19(5):1007-1011.
- Munyaneza J.E., Crosslin, J.M., and Upton, J.E. 2007. Association of *Bactericera cockerelli* (Homoptera: Psyllidae) with Zebra chip, a new potato disease in southwestern United States and México. Journal of Economic Entomology 100:656-663.

- Munyaneza, J.E.; Buchman, J.L., Upton, J.E; Goolsby, J.A.; Crosslin, J.M.; Bester, G., Miles, G.P., and Sengoda, V.G. 2008. Impact of different potato psyllid populations on Zebra chip disease incidence, severity, and potato yield. *Subtropical Plant Science* 60:27-37.
- Munyaneza J.E. 2010. "Psyllids as vectors of emerging bacterial diseases of annual crops". *Southwestern Entomologist* 35(3):471-477.
- Munyaneza, J.E. 2012. Zebra chip disease of potato: Biology, epidemiology and management . *American Journal of Potato Research*. DOI: 10.1007/s12230-012-9262-3.
- Navarro-Garza, H. 2022. Plaguicidas, riesgos, derechos y alternativas agroecológicas. Universidad Autónoma Chapingo, Academia de Ecología. Chiautla, Estado de México, México. 100 p.
- O'Brien, M.J., and Rich, A.E. 1976. Potato diseases. *Agricultural Handbook No. 474*. USDA, USA. 79 p.
- Ogoshi, A. 1987. Ecology and pathogenecity of anastomosis and intraspecific groups de *Rhizoctonia solani* Kühn. *Annual Review of Phytopathology* 25:125-143.
- Padilla, N.P. 2017. Capacidad antagónica contra *Pectobacterium carotovorum*, *Pectobacterium atrosepticum*, y colonización de sistema radicular de *Solanum tuberosum* cv. Pukará-INIA, de actinobacterias endófitas de *Solanum tuberosum* subsp. *tuberosum* nativa chilena. Tesis de Magister en Ciencias, Mención en Microbiología. Universidad de Concepción, Facultad de Ciencias Biológicas; Concepción, Chile. 115 p.
- Palacio, A., y Cambra, M. 2004. Enfermedades bacterianas de la patata: situación en Aragón. *Protección Vegetal (CPV) Zaragoza*. Disponible en: [https://citarea.cita-aragon.es/citarea/bitstream/10532/955/1/10532-100\\_28.pdf](https://citarea.cita-aragon.es/citarea/bitstream/10532/955/1/10532-100_28.pdf).

- Plantwise. 2020. White grubs Phyllophaga. CABI. Disponible en: <https://www.plantwise.org/KnowledgeBank/datasheet/40788#DistributionSection>. Fecha de consulta: 25 de agosto de 2023.
- Pedraza, L.A., López, C.A., y Uribe-Vélez, D. 2020. Mecanismos de acción de *Bacillus* spp. (Bacillaceae) contra microorganismos fitopatógenos durante su interacción con plantas. *Acta Biológica Colombiana* 25(1):112-125.
- Pedroza-Sandoval, A., y Samaniego-Gaxiola, J.A. 2003. Efecto del subsoleo, materia orgánica y diferentes variedades en el patosistema del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista Mexicana de Fitopatología* 21:272-277.
- Pérez, W., y Forbes, G. 2008. Manual técnico. El tizón tardío de la papa. Centro Internacional de la Papa (CIP); Lima, Perú. 44 p.
- Pérez, W., y Forbes, G. 2017. Guía de identificación de plagas que afectan a la papa en la zona andina. Centro Internacional de la Papa CIP; Lima, Perú. 48 p.
- Pérez-Rojas, F., León-Quispe, J., y Galindo-Cabello, N. 2015. Actinomicetos aislados del compost y su actividad antagonista a fitopatógenos de la papa (*Solanum tuberosum* spp. andigena Hawkes). *Revista Mexicana de Fitopatología* 33(2):116-139.
- PLM-DEAQ. 2022. Diccionario de especialidades agroquímicas. Productos agroquímicos. Disponible en: <https://www.agroquimicos-organicospim.com/productos-agroquimicos>.
- PLM-DIPO. 2019. Diccionario de insumos para la producción orgánica y manejo integrado de plagas. 9a. ed. México, D. F., México. 271 p.
- Ramírez, J., y Sainz, R.A. 2022. Manejo integrado de la roña común de la papa (*Streptomyces scabiei*). Disponible en: <https://www.monografias.com/trabajos93/manejo-integrado-rona-comun->

papa-streptomyces-scabiei/manejo-integrado-rona-comun-papa-streptomyces-scabiei.

- Ramírez, M., Santamaría, E., Méndez, J.S., Ríos, J.L., Hernández, J.R., y Pedro, J.G. 2008. Evaluación de insecticidas alternativos para el control de paratrioza (*Bactericera cockerelli* B. y L.) (Homoptera: Triozidae) en el cultivo de chile jalapeño (*Capsicum annum* L.). Revista Chapingo Serie Zonas Áridas 76:47-56.
- Rocha-Rodríguez, R. y Quijano-Carranza, J.A. 2015. Producción de papa en México. Folleto Técnico No. 1. INIFAP; Celaya Guanajuato, México. 72 p.
- Rowe, R.C. 1993. Potato health management. APS Press, St. Paul Minnesota, USA. 178 p.
- Rubio, A.O., Almeida, I.H., Ireta, J., Sánchez, J.A., Fernández, R., Borbón, J.T., Díaz, C. Garzón, J.A., Rocha, R., y Cadena, M.A. 2006. Distribución de la punta morada y *Bactericera cockerelli* Sulc. en las principales zonas productoras de papa en México. Agricultura Técnica en México 32(2):201-211.
- Rubio-Covarrubias, O.A., Cadena-Hinojosa, M.A., Vázquez-Carrillo, M.G. 2013. Manejo integrado de la punta morada de la papa en el Estado de México. Folleto Técnico Núm. 2. INIFAP-CIRCE Campo Experimental Valle de México. Sitio Experimental Metepec. Metepec. México, México. 44 p.
- Ruíz-Vega, J., Aquino, T., Silva, M.E., y Girón, S. 2012. Control integrado de la gallina ciega *Phyllophaga vetula* Horn (Coleoptera: Melolonthidae) con agentes entomopatógenos en Oaxaca, México. Revista Científica UDO Agrícola 12:609-616.
- SADER (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural). 2020. La papa como alimento básico. Disponible en: <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/la->

papa-como-alimento-basico?idiom=es. Fecha de consulta: 15 de julio de 2022.

Salazar, L.F. 1995. Los virus de la papa y su control. Centro Internacional de la Papa (CIP); Lima, Perú. 226 p.

Santana, S., Flores, H., y Domínguez, P.A. 2016. Modelación del ciclo biológico del gusano cogollero en el estado de Durango. INIFAP, Centro de Investigación Regional Norte. Durango, Durango, México. 21 p. Folleto Técnico Núm. 87 ISBN 978-607-37-0691-9.

Secor, G.A., Rivera, V.V., Abad, J.A., Lee, I.M., Clover, G.R.G., Liefting, L.W., Li, X., and Boer, S.H., 2009. Association of *Candidatus Liberibacter solanacearum* with zebra chip disease of potato established by graft and psyllid transmission, electron microscopy, and PCR". *Plant Disease* 93:574-583. Disponible en: <http://apsjournals.apsnet.org/loi/pdis>.

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2020. Anuario estadístico de la producción agrícola. Cierre de la producción agrícola. Disponible en: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>. Fecha de consulta: 15 de junio de 2022.

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2022. Anuario estadístico de la producción agrícola. Cierre de la Producción Agrícola por Estado. Disponible en: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>. Fecha de consulta: 23 de diciembre de 2022.

Smith, I.M. 1992. Manual de enfermedades de las plantas. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid. pp. 568-572.

Steel, R.G.D. y Torrie, J.H. 1986. Bioestadística. Principios y procedimientos. 2a. ed. McGraw-Hill; México, D. F. 622 p.

Stevenson, W.R., Loria, R., Franc, G.D., and Weingartner, D.P. 2001. Compendium of potato diseases. Second Edition. The American

- Phytopathological Society Press. St. Paul, MN. 144 p. Disponible en: <http://doi.org/10.1046/j.1365-3059.2002.06934.x>.
- Tamayo, F. 2014. Parasitismo de *Tamarixia triozae* (Burks) (Hymenoptera: Eulophidae) sobre *Bactericera cockerelli* (Sulc.) (Hemiptera: Triozidae) y su interacción con aislamientos del hongo entomopatógeno *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuill. (Ascomycota: Hypocreales). Tesis de Doctor en Ciencias con especialidad en Microbiología. Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Biológicas. 61 p.
- Toledo, M. 2016. El cultivo de la papa en Honduras. DICTA-IIICA; Tegucigalpa, Honduras. 96 p.
- Torres, H. 2002. Manual de las enfermedades más importantes de la Papa en el Perú. Centro Internacional de la Papa (CIP); Lima, Perú. 59 pp.
- Trinidad, S.A. 2002. Abonos Orgánicos. Secretaria de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural, Dirección General de Desarrollo Rural, Colegio de Posgraduados. Montecillos, México, México. 7 p.
- Trujillo, E., y Perera, S. 2019. Manejo integrado de plagas y enfermedades en cultivos de papas. 3a. ed. Agro Cabildo de Tenerife, Área de Agricultura, Ganadería y Pesca. 28p. Disponible en: [https://www.agrocabildo.org/publica/Publicaciones/papa\\_686\\_papas.pdf](https://www.agrocabildo.org/publica/Publicaciones/papa_686_papas.pdf).
- Unterstenhofer, G. 1976. The basic principles of crop protection fields trails. Pflanzenschutz-Nachrichten 29:83-180.
- Velázquez, L. 2020. La FAO asegura que es posible duplicar la producción mundial de papas en 10 años. Informativos Arriba el Campo. <https://arribaelcampo.com.mx/la-fao-asegura-que-es-posible-duplicar-la-produccion-mundial-de-papas-en-10-anos/>. Fecha de consulta: 16 de octubre de 2022.

- Villarreal-Delgado, M.F., Villa-Rodríguez, E.D., Cira-Chávez, L.A., Estrada-Alvarado, M.I., Parra-Cota, F.I., y de los Santos-Villalobos, S. 2018. El género *Bacillus* como agente de control biológico y sus implicaciones en la bioseguridad agrícola. *Revista Mexicana de Fitopatología* 36(1):95-130.
- Wang, M., Chen, J., Fan, L., Fu, K., Gao, J., Li, Y., Ma, J., & Yu, C. 2015. Biological control of southern corn leaf blight by *Trichoderma atroviride* SG3403. *Biocontrol Science and Technology* 25: 1133-1146.
- Wepler, R. 2008. Industry biosecurity plan for the grains industry Threat Specific Contingency. May beetle *Phyllophaga* genus. 24 p.
- Zhao, W.Q, Yu, X.M., and Liu, D.Q. 2010. First report of *Streptomyces acidiscabies* causing potato scab in China. *Plant Pathology* 59:405.
- <https://www.argenpapa.com.ar/info/la-papa/>.

## IX. ANEXOS

**Anexo 1.** Modos de acción de insecticidas y acaricidas según la nomenclatura del Comité de Acción Contra la Resistencia a Insecticidas (IRAC, por sus siglas en inglés).

1. Sistema nervioso: Inhibidores de la acetilcolinesterasa
3. Sistema nervioso: Moduladores del canal del sodio
4. Sistema nervioso: Agonistas del receptor nicotínico de la acetilcolina
5. Sistema nervioso: Activadores del receptor alostérico nicotínico de la acetilcolina.
6. Sistema nervioso y muscular: Activadores del canal del cloro.
7. Regulación del crecimiento: Miméticos de la hormona juvenil.
9. Sistema nervioso: Moduladores de los órganos cordotonales.
11. Sistema digestivo: Disruptores microbianos de las membranas digestivas de los insectos.
12. Inhibidores de la ATP-sintasa mitocondrial. Metabolismo de la energía.
16. Regulación del crecimiento: Inhibidores de la biosíntesis de quitina.
17. Regulación del crecimiento: Disruptores de la muda en los dípteros.
21. Respiración: Inhibidores del transporte de electrones en el complejo mitocondrial III
23. Síntesis lipídica, regulación del crecimiento: Inhibidores de la acetil CoA carboxilasa.
28. Sistema nervioso y muscular: Moduladores del receptor de la rianodina.
- UN. Modo de acción desconocido.



UNF. Hongos entomopatógenos de modo de acción desconocido o incierto.

**Nota:** En el código asignado a cada ingrediente activo el número corresponde al grupo principal y sitio de acción y la letra mayúscula indica el grupo químico o ingrediente activo principal. Por ejemplo 1B: 1 Sistema nervioso (Inhibidores de la acetilcolinesterasa) y B (Organofosforados) (IRAC, 2019 y 2021).

**Anexo 2.** Modos de acción de fungicidas y bactericidas según la nomenclatura del Comité de Acción Contra la Resistencia a Fungicidas (FRAC, por sus siglas en inglés).

- A. Metabolismo de ácidos nucleicos. Afectan la síntesis de ácidos nucleicos ADN y ARN, reduciendo la producción de enzimas como la ARN polimerasa I, adenosin-deaminasa o la ADN topoisomerasa; afectan a la división celular.
- B. Proteínas motoras y del citoesqueleto. La tubulina (microtúbulos-citoesqueleto), es una molécula importante en la formación y segregación de cromosomas en la división celular; la alteración de esta afecta la mitosis a nivel de la metafase.
- C. Respiración. Inhibición mitocondrial de la respiración celular. La respiración es un proceso oxidativo complejo que conserva la energía liberada por el catabolismo de las moléculas, tales como carbohidratos a través de la producción de ATP y de ADP.
- D. Síntesis de aminoácidos y proteínas. Inhiben la biosíntesis de la metionina (gen *cgs*) y la secreción de enzimas involucradas en el traslado de la información contenida en el ARN en la síntesis de una secuencia de aminoácidos.
- E. Transducción de señales. Lo forman sustancias que alteran la transducción de señales, inhibiendo los mecanismos metabólicos que permiten a la célula adaptarse a su entorno.
- F. Transporte o síntesis de lípidos/función o integridad de la membrana. Alteran la síntesis de lípidos y la integridad de las membranas celulares. Actúan sobre la permeabilidad de la membrana afectando la formación de glicolípidos.
- G. Biosíntesis de esterol en las membranas. Inhibidores de enzimas o procesos enzimáticos en la biosíntesis del esterol. Los Esteroles están localizados en las membranas celulares de algunos hongos (ascomicetos y basidiomicetos, pero no en bacterias y oomicetos), y le confieren estabilidad y control de la permeabilidad.

H. Biosíntesis de la pared celular. Impiden la fijación de glucosamina a la quitina dentro de las paredes celulares. El glucano es el componente estructural mayoritario de las paredes celulares fúngicas; la inhibición de este, ocasiona un colapso en la integridad de la pared celular.

P. Inducción de defensas en la planta huésped.

U. Modo de acción desconocido.

NC. No clasificado.

M. Productos químicos con actividad multi-sitio.

BM. Productos biológicos con múltiples modos de acción.

**Nota:** La letra mayúscula corresponde al grupo principal y modo de acción, y el número indica el punto o sitio de acción específico (FRAC, 2019 y 2021). Por ejemplo: A1, A (Metabolismo de ácidos nucleicos) y 1 (ARN polimerasa).

**Anexo 3.** Relación de plaguicidas comerciales aplicados para el control de plagas y enfermedades de la papa en la parcela de Zaragoza de Guadalupe, Calimaya, México.

Nombre comercial	Ingrediente activo	Tipo de plaguicida	Modo de acción	Dosis/ha	Plaga/enfermedad que controla
Metalaxyl MZ	Metalaxyl + Mancozeb	Fungicida	Sistémico + contacto	2-3 kg	Tizón tardío y tizón temprano
Previcur Energy	Propamocarb + Fosetil-Al	Fungicida	Sistémico + sistémico	1.5-2 L	Tizón tardío
Infinito	Fluopicolide + Propamocarb	Fungicida	Sistémico + sistémico	1.5-2 L	Tizón tardío
Captan 50 WP	Captan	Fungicida	Contacto	2-3 kg	Damping-off, costra negra, marchitez, tizón tardío, tizón temprano, moho gris y manchas foliares
Majesty	Extractos vegetales + consorcio microbiano	Nematicida	Sistémico	12-15 L	Nematodo nodulador y del mezquino, nematodo dorado de la papa y nematodo de la pudrición seca del tubérculo.
Ambios XPR	Extractos vegetales de gobernadora	Fungicida	Sistémico	10 L	Costra negra, marchitez y pudrición seca del tubérculo, y sarna común.
User 480	Fipronil	Insecticida	Contacto	500 ml	Gallina ciega
Serenade ASO	<i>Bacillus subtilis</i> cepa QST 713	Fungicida- bactericida	Antagonista	2.5-5 L	Costra negra, marchitez y pudrición seca, sarna común y pudrición blanda
Clorotalonil 50% SC	Clorotalonil	Fungicida	Contacto	1.5-2 L	Tizón tardío, tizón temprano, moho gris y manchas foliares.

Folicur 250 EW	Tebuconazole	Fungicida	Sistémico	0.5-1 L	Tizón temprano
Mancozeb 80% WP	Mancozeb	Fungicida	Contacto	2-2.5 kg	Tizón tardío, tizón temprano, moho gris y manchas foliares.
Aliette WG	Fosetyl-Al	Fungicida	Sistémico	2-3 kg	Tizón tardío
Magnatus Fosetil	Fosfonato de aluminio	Fungicida	Sistémico	2.5-3 L	Tizón tardío
Antracol 70% WP	Propineb	Fungicida	Contacto	2-2.5 kg	Tizón tardío, tizón temprano y sarna común.
Cupravit Hidro	Hidróxido cúprico	Fungicida	Contacto	2-4 kg	Tizón temprano, tizón tardío, moho gris y manchas foliares.
Muralla Max	Imidacloprid + Betacyfluthrin	Insecticida	Sistémico-contacto	200-300 ml	Mosquita blanca, paratíozia y pulgones
Decis Forte	Deltametrina	Insecticida	Contacto-estomacal	200-225 ml	Palomilla de la papa, paratíozia, pulga saltona y gusanos defoliadores.
Balazo 25	Diazinón	Insecticida-acaricida	Contacto-estomacal	1-1.5 L	Palomilla de la papa, paratíozia, pulga saltona y gusanos defoliadores.
Lambdazo	Lambda cialotrina	Insecticida	Contacto-estomacal	400-500 ml	Palomilla de la papa, paratíozia, pulga saltona y gusanos defoliadores.
Teniente	Clorpirifos etil + Permetrina	Insecticida	Contacto-estomacal	0.75-1 L	Palomilla de la papa, pulga saltona y gusanos defoliadores.
Cipermetrina 25% EC	Cipermetrina	Insecticida	Contacto-estomacal	400-500 ml	Palomilla de la papa, paratíozia, pulga saltona y gusanos defoliadores
Tirano 0.3%	Cipermetrina	Insecticida	Contacto y estomacal	10-20 kg	Palomilla de la papa, paratíozia, pulga saltona y gusanos defoliadores
Visor 25 WDG	Tiametoxam	Insecticida	Sistémico	100-200 ml	Mosca blanca, paratíozia y pulgones
Verango	Fluopyram	Nematicida	Sistémico	1-1.5 L	Nematodo dorado, nematodo agallador y del mezquino, nematodo de la pudrición seca del tubérculo.

Fuente: De Liñán, 2022; PLM-DEAQ, 2022; PLM-DIPO, 2019.

**Anexo 4.** Relación de plaguicidas comerciales aplicados para el control de plagas y enfermedades de la papa en la parcela de Santa Cruz Pueblo Nuevo, Calimaya, México.

Nombre comercial	Ingrediente activo	Tipo de plaguicida	Modo de acción	Dosis/ha	Plaga/enfermedad que controla
Counter FC 15%	Terbufos	Insecticida-nematicida	Sistémico-contacto	14-21 kg	Gallina ciega, gusano de alambre, gusano rayador y fitonematodos de la raíz.
Apolo	<i>Bacillus subtilis</i> + <i>Trichoderma</i> spp. + <i>Streptomyces lydcus</i>	Biofungicida	Antagonista	1-2 L	Costra negra, marchitez y pudrición seca, sarna común y pudrición blanda.
Metalaxyl MZ	Metalaxyl + Mancozeb	Fungicida	Sistémico + contacto	2-3 kg	Tizón tardío, tizón temprano y manchas foliares.
Previcur Energy	Propamocarb + Fosetyl-Al	Fungicida	Sistémico + contacto	1.5-2 L	Tizón tardío
Infinito	Fluopicolide + Propamocarb	Fungicida	Sistémico + sistémico	1.5-2 L	Tizón tardío
Captan 50 WP	Captan	Fungicida	Contacto	2-3 kg	Damping-off, costra negra, marchitez, tizón tardío, tizón temprano, moho gris y manchas foliares.
Clorotalonil 50 SC	Clorotalonil	Fungicida	Contacto	1.5-2 L	Tizón tardío, tizón temprano, moho gris y manchas foliares
Mancozeb 80-PH	Mancozeb	Fungicida	Contacto	2-2.5 kg	Tizón tardío, tizón temprano, moho gris y manchas foliares
Aliette WG	Fosetyl-Al	Fungicida	Sistémico	2-3 kg	Tizón tardío
Magnatus Fosetil	Fosfonato de aluminio	Fungicida	Sistémico	2.5-3 L	Tizón tardío

Antracol 70% WP	Propineb	Fungicida	Contacto	2-2.5 kg	Tizón tardío, tizón temprano, y sarna común
Blighter WP	Cymoxanil + Mancozeb	Fungicida	Sistémico + contacto	2-3 kg	Tizón tardío, tizón temprano, moho gris y manchas foliares.
Ambios XPR	Extracto vegetal de gobernadora	Fungicida	Sistémico	10 L	Costra negra, marchitez y pudrición seca, y sarna común
Serenade ASO	<i>Bacillus subtilis</i> cepa QST-713	Bactericida-fungicida	Antagonista	2.5-5 L	Costra negra, marchitez y pudrición seca, sarna común y pudrición blanda
Decis Forte	Deltametrina	Insecticida	Contacto e ingestión	200-225 ml	Palomilla de la papa, paratrioza, pulga saltona y gusanos defoliadores
Kumari 350 SC	Imidacloprid	Insecticida	Sistémico	1-1.25 L	Paratrioza, mosquita blanca y pulgones
Muralla Max	Imidacloprid + Betacyfluthrin	Insecticida	Sistémico-contacto	200-300 ml	Paratrioza, mosquita blanca y pulgones
Balazo 25	Diazinón	Insecticida-acaricida	Contacto e ingestión	1-1.5 L	Palomilla de la papa, paratrioza, pulga saltona, mosquita blanca y gusanos defoliadores.
Lambdazo	Lambda cialotrina	Insecticida	Contacto e ingestión	400-500 ml	Palomilla de la papa, paratrioza, pulga saltona y gusanos defoliadores
Teniente	Clorpirifos etil + Permetrina	Insecticida	Contacto e ingestión	0.75-1 L	Palomilla de la papa, paratrioza, pulga saltona y gusanos defoliadores.
Tornatrina 100 CE	Bifentrina	Insecticida-acaricida	Contacto e ingestión	0.6 L	Paratrioza, mosquita blanca, pulgones y araña roja
Maxotem	Thiametoxam	Insecticida	Sistémico	0.2-0.8 L	Paratrioza, mosca blanca y pulgones
Tirano 0.3%	Cipermetrina	Insecticida	Contacto y estomacal	10-20 kg	Palomilla de la papa, paratrioza, pulga saltona y gusanos defoliadores

User 480 SC	Fipronil	Insecticida	Contacto e ingestión	500 ml	Gallina ciega
Verango	Fluopyram	Nematicida	Sistémico	1-2 L	Nematodo dorado, nematodo agallador y del mezquino, nematodo lesionante y nematodo de la pudrición de la papa.
Majesty	Extractos vegetales + consorcio microbiano	Nematicida	Sistémico	12-15 L	Nematodo dorado, nematodo agallador y del mezquino, nematodo lesionante y nematodo de la pudrición de la papa.

Fuente: De Liñán, 2022; PLM-DEAQ, 2022; PLM-DIPO, 2019.

**Anexo 5.** Relación de plaguicidas comerciales aplicados para el control de plagas y enfermedades de la papa en la parcela de San Lorenzo Cuauhtenco, Calimaya, México.



Nombre comercial	Ingrediente activo	Tipo de plaguicida	Modo de acción	Dosis/ha	Plaga/enfermedad que controla
Counter FC 15%	Terbufos	Insecticida-nematicida	Sistémico y contacto	14-21 kg	Gallina ciega, gusano de alambre, gusano rayador y fitonematodos del suelo
Apolo	<i>Bacillus subtilis</i> + <i>Trichoderma</i> spp. + <i>Streptomyces lydicus</i>	Fungicida-nematicida	Antagonismo	1-2 L	Costra negra, marchitez y pudrición seca, sarna común y fitonematodos del suelo
Metalaxyl MZ	Metalaxy + Mancozeb	Fungicida	Sistémico + contacto	2-3 kg	Tizón tardío, tizón temprano, moho gris y manchas foliares.
Infinito	Fluopicolide + Propamocarb	Fungicida	Sistémico + sistémico	1.5-2 L	Tizón tardío
Mancozeb 80 WP	Mancozeb	Fungicida	Contacto	2-2.5 kg	Tizón tardío, tizón temprano y manchas foliares
Forum SC	Dimetomorf	Fungicida	Mesosistémico	0.6 L	Tizón tardío
Aliette	Fosetil-Al	Fungicida	Sistémico	2-3 kg	Tizón tardío
Clorotalonil 50 SC	Clorotalonil	Fungicida	Contacto	1.5-2 L	Tizón temprano, moho gris y manchas foliares
Karate Zeon	Lambda cialotrina	Insecticida	Contacto e ingestión	400-500 ml	Palomilla de la papa, paratrioza, pulga saltona y gusanos defoliadores.
Agrimec 1.8%	Abacmetina	Insecticida	Sistémico	0.5-0.75 L	Pulgón saltador (paratrioza), mosquita blanca y araña roja
Deltametrina 2.5% CE	Deltametrina	Insecticida	Contacto e ingestión	400-500 ml	Palomilla de la papa, paratrioza, pulga saltona y gusanos defoliadores.

Cipermetrina 25% EC	Cipermetrina	Insecticida	Contacto e ingestión	400-500 ml	Palomilla de la papa, paratrioza, pulga saltona y gusanos defoliadores.
Maxotem	Thiametoxam	Insecticida	Sistémico	0.2-0.8 L	Paratrioza, mosquita blanca y pulgones
Muralla Max	Imidacloprid + Betacyfluthrin	Insecticida	Sistémico-contacto	200-300 ml	Paratrioza, mosquita blanca y pulgones
Teniente	Clorpirifos etil + Permetrina	Insecticida	Contacto e ingestión	0.75-1 L	Palomilla de la papa, paratrioza, pulga saltona y gusanos defoliadores
Diazinón 25	Diazinón	Insecticida	Contacto e ingestión	1-1.5 kg	Palomilla de la papa, paratrioza, pulga saltona y gusanos defoliadores.
Oberon	Spiromesifen	Insecticida	Mesosistémico	0.4-0.6 L	Paratrioza, mosca blanca y araña roja
Toretto	Sulfoxaflor	Insecticida	Sistémico	300-400 ml	Paratrioza, mosca blanca y pulgones
Zierra	Sulfoxaflor + Lambda cialotrina	Insecticida	Sistémico + contacto	150-250 ml	Paratrioza, mosca blanca, pulgones, pulga saltona y gusanos defoliadores

Fuente: De Liñán, 2022; PLM-DEAQ, 2022; PLM-DIPO, 2019.