

Tizón de la papa (*phytophthora infestans*) y agricultura sostenible: integración de resistencia sistémica inducida y estrategias de manejo integrado

Autores: Óscar Navia, Antonio Gandarillas, Noel Ortuño, Edson Meneses y Javier franco
n.ortuno@proinpa.org j.velasco@proinpa.org n.ortuño@proinpa.org j.franco@proinpa.org

Resumen

El tizón tardío es una de las enfermedades más importantes de la papa en el mundo y también en Bolivia. Para la integración de resistencia sistémica inducida por *Bacillus subtilis* con estrategias de manejo integrado del tizón se establecieron dos ensayos en la zona de Colomi (3200 msnm) del Departamento de Cochabamba, con los cultivares Waych'a (susceptible) y Robusta (resistente). El diseño fue el de bloques completos al azar con seis tratamientos. En ambos ensayos los tratamientos fueron: T1= *Bacillus subtilis* + Estrategia (Acrobat- Polyram), T2 = Estrategia (Acrobat- Polyram), T3= *Bacillus subtilis* + Estrategia (Cabrio Top- Polyram), T4 = Estrategia (Cabrio Top- Polyram), T5 = Estrategia (Ridomil-Dithane), T6 = Testigo. La bacteria se aplicó a la siembra por aspersión a surco abierto, sobre el estiércol. En ambos ensayos, las estrategias de control del tizón mostraron un control eficiente de la enfermedad. El control más eficiente se obtuvo con los tratamientos T1 y T3 (*Bacillus subtilis* + estrategia), mostrando significativamente una mayor emergencia, desarrollo más uniforme, plantas más altas, más sanas, mayor vigor, y mayores rendimientos y beneficios económicos. El uso de la bacteria con las estrategias con fungicidas permite controlar la enfermedad, incrementar los rendimientos y reducir el número de aplicaciones y el costo de producción, entre otros beneficios, haciendo posible una producción más sustentable de la papa.

Palabras clave: Tizón tardío, *Bacillus subtilis*, resistencia sistémica inducida.

Abstract

Late blight is one of the most important potato diseases in the world and also in Bolivia. In order to integrate induced systemic resistance by *Bacillus subtilis* with late blight integrated management strategies, two trials were established in Colomi (3200 m) of the Department of Cochabamba, Bolivia, with the cultivars Waycha (susceptible) and Robusta (resistant). The design used was complete random blocks with six treatments. In both trials the treatments were: T1 = *Bacillus subtilis* + fungicide strategy (Acrobat - Polyram), T2 = Strategy (Acrobat - Polyram), T3 = *Bacillus subtilis* + Strategy (Cabrio Top - Polyram), T4 = Strategy (Cabrio Top - Polyram), T5 = Strategy (Ridomil-Dithane), T6 = control group. The bacterium was applied by spraying it at planting, in open furrows, with manure. In both trials late blight control strategies were an efficient control of the disease. The most efficient control was obtained with T1 and T3 treatments (*Bacillus subtilis* + Fungicide strategy), showing significantly more emergence, more consistent growth, taller, healthier plants, more vigor, and higher yields and economic benefits. The strategy used with bacteria and fungicides showed an efficient control of the disease, increased yields and fewer applications and lower production costs, among other benefits, making sustainable potato production more possible.

Key words: Late blight, *Bacillus subtilis*, induced systemic resistance.

INTRODUCCIÓN

Una de las claves en la agricultura sostenible es el uso eficiente de los insumos (suelo, agua, material vegetal, energía, fertilizantes, plaguicidas, etc.). Las enfermedades, plagas y malas hierbas disminuyen esa eficiencia, por lo tanto uno de los componentes referidos más frecuentemente en las propuestas para la agricultura sostenible son el manejo integrado de plagas (MIP) (Jiménez Díaz, 2003).

Las plantas han desarrollado mecanismos de resistencia constitutiva y inducible para su defensa contra los patógenos. Las plantas como reacción a la presencia y actividades del patógeno, producen estructuras y sustancias químicas que pueden ser locales o sistémicas, propias o inducidas (Kessmann *et al.*, 1996).

La habilidad de una planta a responder a una infección es determinada por caracteres genéticos, del hospedante y del patógeno. Algunos mecanismos de resistencia son específicos para un cultivar y ciertas variantes de patógenos. En estos casos, los genes de resistencia de la planta reconocen moléculas derivadas del patógeno, resultando de la expresión de los llamados genes de avirulencia conduciendo a una rápida muerte celular del hospedante (respuesta hipersensitiva (HR)). Tal interacción “gene por gene” usualmente conduce a una alta eficiencia, pero muy específica, en la resistencia de la planta (Kessmann *et al.*, 1996).

Además de la reacción localizada las plantas también responden con un sistema de defensa llamado “resistencia sistémica activada (SAR)” la cual es activada en toda la planta. Esta forma de resistencia puede ser activada por agentes bióticos y abióticos, y resulta en una protección sistémica de toda la planta contra una gama de enfermedades causadas por hongos y bacterias (Ruess et al, 1997; Navia *et al.*, 2000).

Investigaciones señalan otro sistema de defensa, denominado “resistencia sistémica inducida,” que es el incremento en la resistencia de una planta hacia los patógenos después de que la planta haya estado expuesta a, o tratada con, organismos o químicos que pueden provocar ésta respuesta (Sutton, 2005; Dion, 2009). Es una nueva e innovadora tecnología para la protección de las plantas adicionalmente a la de los fungicidas.

Por otra parte, el tizón causado por el pseudo-hongo oomiceto *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary es una de las enfermedades más importantes de la papa en el mundo y también en Bolivia en zonas húmedas. En estas zonas favorables para la enfermedad, las pérdidas pueden llegar hasta un 100% debido al desconocimiento por parte de los agricultores de estrategias adecuadas de control. A menudo los campos son abandonados.

Las pérdidas causadas por el tizón han sido estimados en aproximadamente entre el 10 y 15% de la producción mundial total de papa por año. Las pérdidas incrementan los costos de protección en alrededor de tres billones de dólares americanos anualmente (Duncan, 1999). En países desarrollados, el control del tizón es altamente dependiente del uso de químicos. A pesar del uso frecuente de fungicidas, las epidemias de tizón han estado incrementándose, haciendo más difícil su control (Goodwin et al., 1995; Turkensteen et al., 1997; Schepers, 2000; Flier, 2001). Esta dificultad en el control del tizón coincide con el desplazamiento del linaje clonal US-1 por una nueva población más variable de *P. infestans* en muchas partes del mundo (Spielman et al., 1991). En los países en desarrollo, sus daños se estiman en cerca de tres mil millones de dólares anuales (Gregory, 1996). Se estima que en Bolivia unas 40.000 familias de agricultores paperos son afectados por el tizón, perdiendo entre 30-100 millones de dólares anualmente (Fernández-Northcote et al., 2000).

Experimentos realizados por PROINPA durante varias campañas agrícolas en diferentes zonas tizoneras del país han permitido desarrollar estrategias de manejo integrado del tizón de la papa (Navia et al., 1996; Fernández-Northcote et al., 1999, Navia et al, 2009). Se ha trabajado en el aislamiento, multiplicación y desarrollo de bioinsumos, particularmente de agentes de control biológico como *Bacillus subtilis*, *Bacillus amyloliquefasciens*, *Trichoderma* spp., *Beauveria* spp., *Bacillus thuringiensis* y otros, los cuales están siendo probados en laboratorio, invernadero y campo, en diversos cultivos (Navia et al, 2006; Navia, Ortuño y Meneses, 2009).

En base a estos antecedentes, se realizó el presente trabajo de investigación, integrando el uso

de agentes de control biológico como la bacteria *Bacillus subtilis*, que induce en las plantas la resistencia sistémica inducida. El presente trabajo integró la resistencia sistémica inducida con otras estrategias de manejo integrado del tizón.

El objetivo de la investigación era determinar la eficiencia de la integración de resistencia sistémica inducida por *Bacillus subtilis* con estrategias de manejo integrado del tizón.

1. MATERIALES Y MÉTODOS

Se establecieron dos ensayos en la zona de Colomi (3200 msnm) del Departamento de Cochabamba, Bolivia, zona caracterizada por presentar condiciones climáticas muy favorables para *Phytophthora infestans.*, con los cultivares Waycha (susceptible, y el más difundido) y Robusta (cultivar con resistencia horizontal al tizón). El diseño utilizado fue el de bloques completos al azar con seis tratamientos y cuatro repeticiones.

Cada ensayo, tuvo las siguientes características: Distancia entre surcos=0.7m, Distancia entre plantas=0.3m, Largo del surco =10 m, N° de surcos /unid. exp.=6, Area de la unid. Exp.=42 m², Area total, por cada ensayo = 1200 m²

1.1.Tratamientos:

Los tratamientos fueron los siguientes:

Cuadro 1. Tratamientos

Tratamiento	Producto
1	<i>Bacillus subtilis</i> + Estrategia (Acrobat- Polyram)
2	Estrategia (Acrobat- Polyram)
3	<i>Bacillus subtilis</i> + Estrategia (Cabrio Top- Polyram
4	Estrategia (Cabrio Top- Polyram))
5	Estrategia (Ridomil-Dithane)
6	Testigo

La bacteria (*Bacillus subtilis*) se aplicó a la siembra, por aspersión a surco abierto sobre la semilla y el surco a la dosis de 2 kg/200 l agua/ha.

La estrategia de control químico estuvo basada en la aplicación preventiva de fungicidas a los diez días después del 80% de emergencia, antes de que aparezca el tizón; la alternancia de un fungicida sistémico y de contacto, frecuencias de aplicación de 7-14 días según las condiciones climáticas muy favorables a poco favorables respectivamente, y la no utilización

de fungicidas sistémicos en más de tres oportunidades (Navia et al., 1996; Fernández-Northcote et al., 1999, Navia et al, 2009).

- Estrategia de control químico del tizón :

	80% de Emerg.		Días después (d)			
	10 d	7-14 d*	7-14 d	7-14 d	7-14 d	7-14 d
Productos	Sistémico	Contacto	Sistémico	Contacto	Sistémico	Contacto

* Dependiendo de las condiciones climáticas

1.2. Evaluaciones

Durante el ciclo del cultivo, cada siete días se determinó el grado de daño o porcentaje de follaje afectado por tizón tardío, para lo cual se utilizó la escala internacional del CIP de 1 a 9 (1= 0 % y 9 = 100 % de follaje afectado (escala propuesta por el proyecto ICA, Colombia-CIP) (Zapata, 1991). Las evaluaciones empezaron con la aparición de los primeros síntomas de tizón.

En la cosecha se evaluaron los surcos centrales de cada unidad experimental, eliminando los surcos laterales y descartando las plantas de los extremos para evitar efectos de bordura y arrastre de fungicidas. Se tomaron datos de rendimiento total y por categorías.

1.3. Análisis estadístico

Con los datos de las evaluaciones del grado de daño se determinó la curva de progreso de la enfermedad, utilizando para fines de graficación, el porcentaje promedio del follaje afectado correspondiente al grado de daño. Se calculó además el AUDPC (“Area Under Disease Progress Curve” ó “Area Bajo la Curva de Progreso de la Enfermedad” mediante la fórmula descrita por Shaner y Finney para obtener un solo dato para comparación estadística.

$$AUDPC = \sum_{i=1}^n ((X_{i+1} + X_i) / 2) * (T_{i+1} - T_i)$$

Donde:

- Xi = Proporción del tejido afectado en la observación i.
- Ti+1-Ti = Tiempo en días entre dos lecturas
- n = Número total de observaciones
- Σ = Sumatoria

Se realizó el respectivo análisis de varianza (Anova 2), y la prueba de comparación múltiple de medias de Duncan (P=0.05), con los datos de grado de daño y rendimiento.

2. RESULTADOS

2.1. Datos climáticos

El tiempo durante el ciclo del cultivo fue muy favorable para el cultivo y para el tizón. Las temperaturas fueron 9 - 27° C (medias mínima-máxima) y precipitación total de 1080 mm (Cuadro 2).

Cuadro 2. Medias de temperatura y precipitación acumulada registradas durante el ciclo del cultivo de la papa. Colomi, Cochabamba

Mes	Temperatura °C			Precipitación mm
	Máxima	Mínima	Ambiente	
Diciembre	25	11	20	190
Enero	27	12	21	260
Febrero	26	12	21	240
Marzo	25	11	20	200
Abril	24	10	19	150
Mayo	23	9	18	40
Total				1.080

*Temperaturas registradas a las 12:00 del medio día.

2.2. Ensayo 1 (Cultivar susceptible Waycha)

2.2.1. Aplicación de productos

Se aplicaron cinco veces en el tratamiento T1 y T3, y siete veces en los tratamientos T2, T4, T5. El tratamiento T6 (Testigo), recibió dos aplicaciones en momentos críticos (Cuadro 3). Las aplicaciones las realizó el agricultor en las dosis recomendadas.

Cuadro 3. Inicio y frecuencia de aplicaciones bajo cinco tratamientos de control del tizón tardío en el cultivar susceptible Waych'a. Colomi, Cochabamba.

TRA T	Emerg	10 d	14 d	14 d	7 d	7 d	14 d	14 d
T1 (Bs)		Acrobat	Polyram	Acrobat		Polyram	Acrobat	
T2		Acrobat	Polyram	Acrobat	Polyram	Acrobat	Polyram	Polyram
T3 (Bs)		Cabrio	Polyram	Cabrio		Polyram	Cabrio	
T4		Cabrio	Polyram	Cabrio	Polyram	Cabrio	Polyram	Polyram
T5		Ridomil	Dithane	Ridomil	Dithane	Ridomil	Dithane	Dithane
T6 (Test)		Ridomil	Dithane					

2.2.2. Grado de daño

En general, todos los tratamientos tuvieron un control eficiente del tizón tardío. El control más eficiente se obtuvo con los tratamientos T1 y T3 (*Bacillus subtilis* + Estrategia con fungicidas), seguido de los tratamientos T2, T4, T 5 (estrategia con fungicidas). El testigo (T6), tuvo un porcentaje de daño muy alto (100 %) (Figura 1).

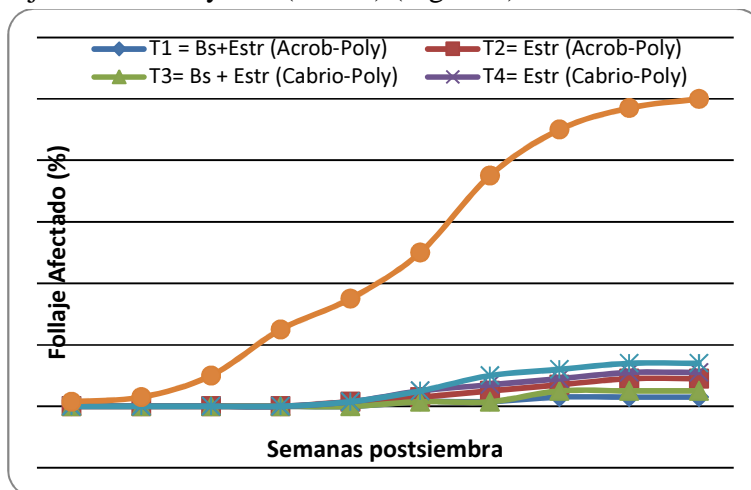


Figura 1. Avance del tizón tardío en el cultivar susceptible Waych'a, bajo seis tratamientos de control. Colomi, Cochabamba.

Todos los tratamientos tuvieron un control eficiente del tizón. Los tratamientos T1 (*Bacillus subtilis* + Estrategia con Acrobat-Polyram) y T3 (*Bacillus subtilis* + Estrategia con Cabrio Top- Polyram), tuvieron el control más eficiente de la enfermedad mostrando valores muy bajos de AUDPC (grado de daño), seguido de los tratamientos T2 (Estrategia con Acrobat-Polyram), T4 (Estrategia con Cabrio Top- Polyram), T5 (Estrategia con Ridomil-Dithane). El testigo (T6), con dos aplicaciones, presentó valores muy altos de AUDPC (grado de daño). Estas diferencias fueron estadísticamente significativas)(Figura 2).

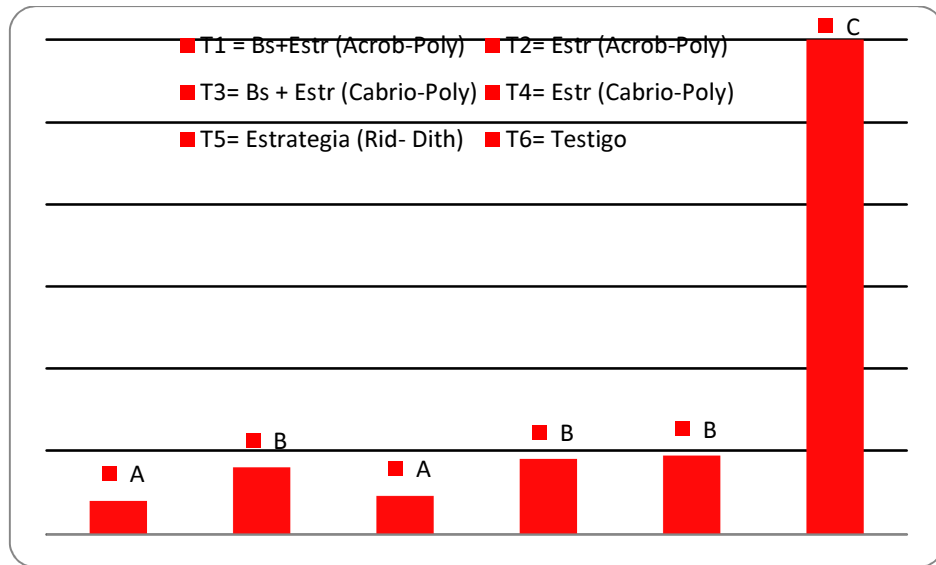


Figura. 2. Grado de daño (AUDPC) por tizón tardío en el cultivar susceptible Waych'a, bajo seis tratamientos de control . Colomi, Cochabamba.

Los valores con la misma letra no son estadísticamente diferentes de acuerdo a la prueba de comparación múltiple de medias de Duncan (P=0.05).

2.2.3. Efecto de los tratamientos en el ciclo del cultivo (cv Waycha)

Los tratamientos tuvieron un efecto positivo en el desarrollo del cultivo. Los tratamientos T1 y T3 (*Bacillus subtilis* + Estrategia con fungicidas), mostraron significativamente una mayor emergencia, mayor uniformidad en desarrollo, mayor altura de planta, mayor vigor y mayor sanidad de las plantas con respecto a los otros tratamientos y al testigo (T6). (Cuadro 4).

Cuadro 4. Efecto de los tratamientos en el desarrollo del cultivo. Cultivar Waycha. Colomi, Cochabamba.

Tratamientos	Emergencia (%)	Altura planta al Primer aporque (cm)	Altura planta a Floracion (cm)
T1= <i>Bacillus subtilis</i> + Estrategia (Acrobat- Polyram)	100 a	30 a	145 a
T2= Estrategia (Acrobat- Polyram)	95 b	25 b	130 c
T3= <i>Bacillus subtilis</i> + Estrategia (Cabrio Top- Polyram)	100 a	31 a	146 a
T4= Estrategia (Cabrio Top- Polyram))	95 b	26 b	136 b
T5= Estrategia (Ridomil-Dithane)	95 b	25 b	130 c
T6= Testigo	94 b	21 c	110 d

Promedios con la misma letra, por columna, no son estadísticamente diferentes de acuerdo a la prueba de comparación múltiple de Duncan (P=0.05).

2.2.4. Rendimiento

Se obtuvieron altos rendimientos. Los mayores rendimientos se obtuvieron con los tratamientos T1 (*Bacillus subtilis* + Estrategia con Acrobat-Polyram) y T3 (*Bacillus subtilis* + Estrategia con Cabrio Top- Polyram), seguido de los tratamientos T2, T4 y T5. El testigo (T6), presentó rendimientos bajos. Estas diferencias fueron estadísticamente significativas)(Figura 3).

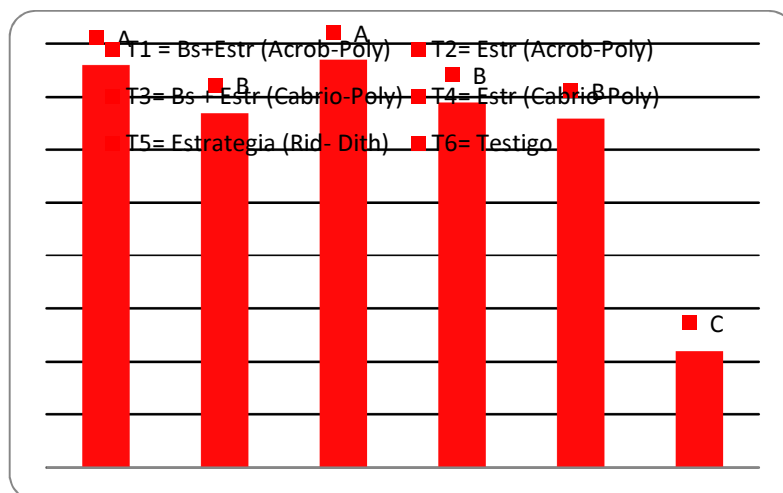


Figura 3. Rendimiento (t/ha), bajo seis tratamientos de control del tizón. Colomi, Cochabamba.

Los valores con la misma letra no son estadísticamente diferentes de acuerdo a la prueba de comparación múltiple de medias de Duncan (P=0.05).

2.3. Ensayo 2 (Cultivar resistente Robusta)

2.3.1. Aplicación de productos

Se realizaron dos aplicaciones en el tratamiento T1 y T3 , y cuatro aplicaciones en los tratamientos T2, T4, T5. El tratamiento T6 (Testigo), no recibió ninguna aplicación (Cuadro 5). Las aplicaciones las realizó el agricultor en las dosis recomendadas.

Cuadro 5. Inicio y frecuencia de aplicaciones bajo seis tratamientos de control del tizón tardío en el cultivar resistente Robusta. Colomi, Cochabamba.

TRAT	Emerg	14 d	14 d	14 d	14 d
T1 (Bs)		Acrobat	Polyram		
T2		Acrobat	Polyram	Acrobat	Polyram
T3 (Bs)		Cabrio	Polyram		
T4		Cabrio	Polyram	Cabrio	Polyram
T5		Ridomil	Dithane	Ridomil	Dithane
T6 (Test)		-			

2.3.2. Grado de daño

Los tratamientos tuvieron un control eficiente del tizón tardío. El control más eficiente se obtuvo con los tratamientos T1 y T3 (*Bacillus subtilis* + Estrategia con fungicidas), seguido de los tratamientos T2, T4, T 5 (estrategia con fungicidas). El testigo (T6), tuvo un porcentaje de daño alto (85 %) (Figura 4).

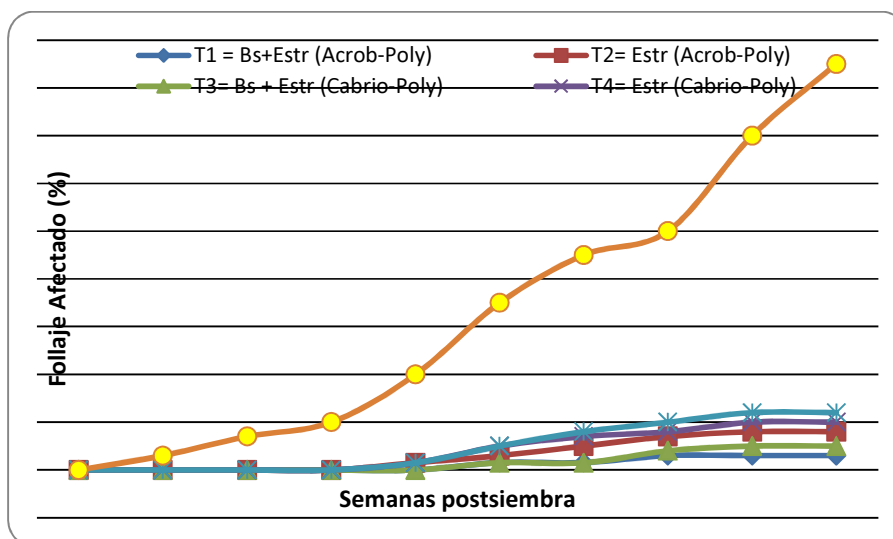


Figura 4. Avance del tizón tardío en el cultivar resistente Robusta, bajo seis tratamientos de control. Colomi, Cochabamba.

Los tratamientos tuvieron un control eficiente del tizón. Los tratamientos T1 (*Bacillus subtilis* + Estrategia con Acrobat-Polyram) y T3 (*Bacillus subtilis* + Estrategia con Cabrio Top- Polyram), tuvieron el control más eficiente de la enfermedad mostrando valores muy bajos de AUDPC (grado de daño), seguido de los tratamientos T2, T4 y T5. El testigo (T6), presentó valores altos de AUDPC (grado de daño). Estas diferencias fueron estadísticamente significativas) (Figura 5).

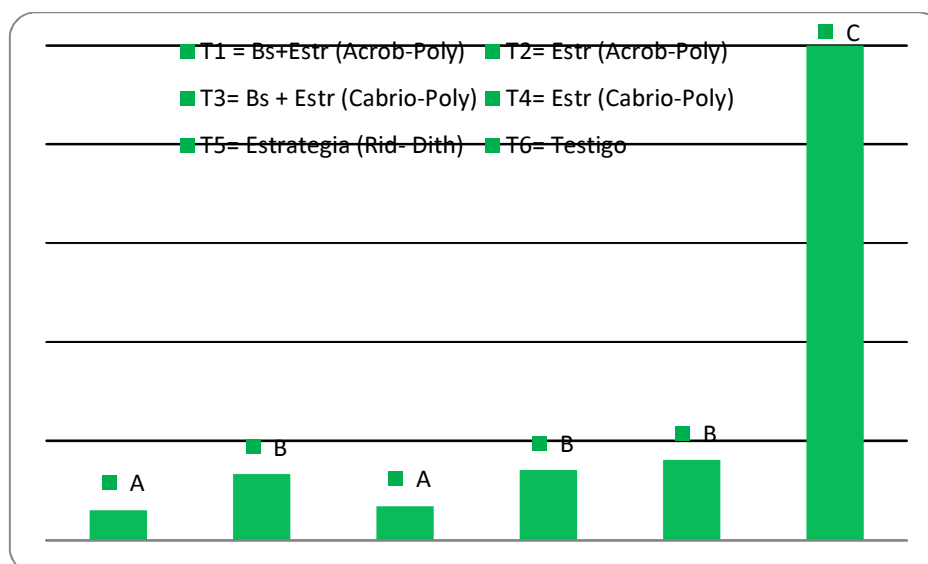


Figura 5. Grado de daño (AUDPC) por tizón tardío en el cultivar resistente Robusta, bajo seis tratamientos de control. Colomi, Cochabamba.

Los valores con la misma letra no son estadísticamente diferentes de acuerdo a la prueba de comparación múltiple de medias de Duncan ($P=0.05$).

2.3.3. Efecto de los tratamientos en el ciclo del cultivo (cv Robusta)

Al igual que en el anterior ensayo, los tratamientos tuvieron un efecto positivo en el desarrollo del cultivo. Los tratamientos T1 y T3 (*Bacillus subtilis* + Estrategia con fungicidas), mostraron significativamente una mayor emergencia, mayor uniformidad en desarrollo, mayor altura de planta, mayor vigor y mayor sanidad de las plantas con respecto a los otros tratamientos y al testigo (T6). (Cuadro 6).

Cuadro 6. Efecto de los tratamientos en el desarrollo del cultivo. Cultivar Robusta. Colomi, Cochabamba.

Tratamientos	Emergencia (%)	Altura planta al Primer aporque (cm)	Altura planta a Floracion (cm)
T1= <i>Bacillus subtilis</i> + Estrategia (Acrobat- Polyram)	100 a	32 a	150 a
T2= Estrategia (Acrobat- Polyram)	96 b	26 b	140 c
T3= <i>Bacillus subtilis</i> + Estrategia (Cabrio Top- Polyram)	100 a	32 a	151 a
T4= Estrategia (Cabrio Top- Polyram)	96 b	27 b	145 b
T5= Estrategia (Ridomil-Dithane)	95 b	25 b	140 c
T6= Testigo	94 b	21 c	120 d

Promedios con la misma letra, por columna, no son estadísticamente diferentes de acuerdo a la prueba de comparación múltiple de Duncan (P=0.05).

3.3.4. Rendimiento

Se obtuvieron rendimientos altos. Los mayores rendimientos se obtuvieron con los tratamientos T1 (*Bacillus subtilis* + Estrategia con Acrobat-Polyram) y T3 (*Bacillus subtilis* + Estrategia con Cabrio Top- Polyram), seguido de los tratamientos T2, T4 y T5. El testigo (T6), presentó rendimientos bajos. Estas diferencias fueron estadísticamente significativas (Figura 6).

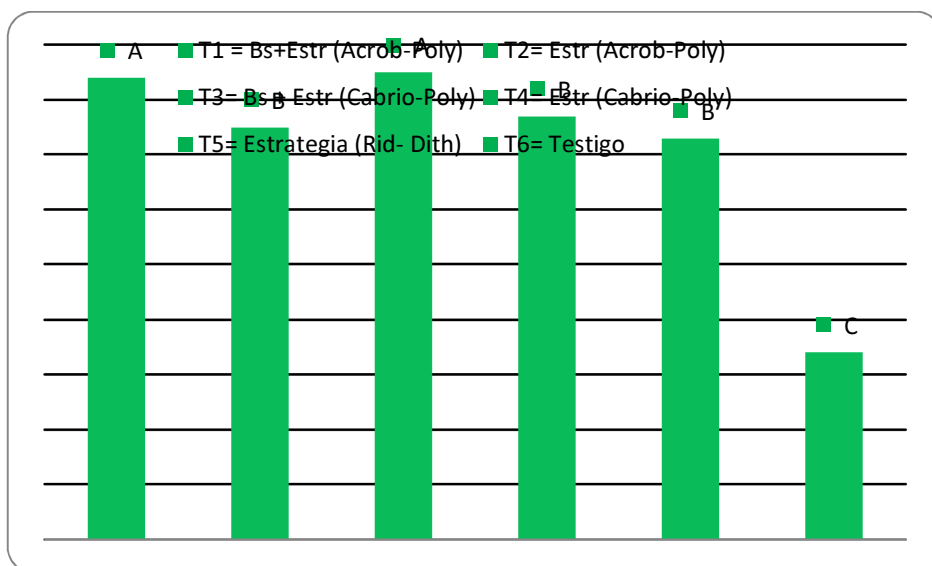


Figura 6. Rendimiento (t/ha), bajo seis tratamientos de control del tizón. Cultivar Robusta. Colomi, Cochabamba.

Los valores con la misma letra no son estadísticamente diferentes de acuerdo a la prueba de comparación múltiple de medias de Duncan (P=0.05).

2.4. Efecto de los tratamientos sobre la calidad de los tubérculos y el control de la rizoctoniasis (*Rhizoctonia solani*)

Los tratamientos mostraron una alta calidad de los tubérculos cosechados. Los tratamientos T1 y T3 (*Bacillus subtilis* en combinación con la estrategia), mostraron una mejor sanidad y un control más eficiente de la rizoctoniasis. (piel escamosa y esclerotes). (Cuadro 6).

Cuadro 6. Efecto de los tratamientos sobre la rizoctoniasis (*Rhizoctonia solani*) en tubérculos de papa . Cultivares Waycha y Robusta. Colomi, Cochabamba

Tratamientos	cv. Waycha		Cv. Robusta	
	Indice Daño Piel Escamosa (%)	Indice Daño Esclerotes (%)	Indice Daño Piel Escamosa (%)	Indice Daño Esclerotes (%)
T1= <i>Bacillus subtilis</i> + Estrategia (Acrobat-Polyram)	3 a	0 a	2 a	0 a
T2= Estrategia (Acrobat-Polyram)	20 b	7 b	15 b	5 b
T3= <i>Bacillus subtilis</i> + Estrategia (Cabrio Top-Polyram)	3 a	0 a	2 a	0 a
T4= Estrategia (Cabrio Top- Polyram))	20 b	7 b	14 b	5 b
T5= Estrategia (Ridomil-Dithane)	22 b	8 b	16 b	6 b
T6= Testigo	40 c	15 c	33 c	12 c

Promedios con la misma letra no son estadísticamente diferentes de acuerdo a la prueba de comparación múltiple de Duncan (P=0.05).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El tiempo fue favorable para el cultivo y para el tizón tardío, lo cual permitió una buena evaluación de las estrategias.

En el cultivar susceptible (Waych'a) y en el resistente (Robusta) las estrategias de control del tizón mostraron un control eficiente. Se obtuvo el control más eficiente con los tratamientos T1 y T3 (*Bacillus subtilis* + estrategia con fungicidas), mostrando significativamente una mayor emergencia, un cultivo más uniforme con plantas más altas, vigorosas y sanas, con mayores rendimientos. El testigo (T6), presentó menor desarrollo, alto daño y rendimientos bajos.

Además, los tratamientos con *Bacillus subtilis* (T1 y T3), mostraron una mejor sanidad y un control más eficiente de la rizoctoniasis (piel escamosa y esclerotes), mostrando una alta

calidad de los tubérculos cosechados.

La estrategia de control del tizón, el uso de la bacteria benéfica *Bacillus subtilis*, y los fungicidas, permiten controlar la enfermedad e incrementar los rendimientos por un mejor manejo del cultivo y del suelo, reducir el número de aplicaciones, reducir el costo de producción, y reducir los riesgos de daño a la salud del productor y del medio ambiente. Las estrategias del tizón y los resultados obtenidos están fundamentadas en bases científicas y es una tecnología para una agricultura sostenible.

La eficiencia en el control del tizón está relacionada con la aplicación de la bacteria *Bacillus subtilis*, y la estrategia con fungicidas. La incorporación de la bacteria *Bacillus subtilis*, es una tecnología muy novedosa para el manejo del cultivo y el suelo, ya que este agente de control biológico, puede ser usado para incrementar la resistencia de una planta hacia los patógenos, fenómeno denominado “resistencia sistémica inducida” (Sutton, 2005; Dion, 2009).

La resistencia sistémica inducida, es uno de los mecanismos de control de mayor importancia y de mayor interés para el control de enfermedades de plantas, dado que se ha demostrado que ciertas bacterias son capaces de inducirla cuando se introducen en la planta y que puede tener un espectro más o menos amplio de actuación, incluyendo patógenos de distinto tipo, como hongos, bacterias y virus (Sutton, 2005; López y Peñalver, 2009). Es decir, que la mayor resistencia de las plantas de papa no sólo será para tizón, sino también para otras enfermedades como rizoctoniasis, tizón temprano, oidiosis, y otros.

Se considera que los agentes más eficaces de control biológico son aquéllos que tienen capacidad para utilizar mecanismos múltiples de actuación. Este es el caso de la bacteria benéfica *Bacillus subtilis*, que tiene múltiples mecanismos de acción. *Bacillus subtilis* promueve el crecimiento de plantas (PGPR), tiene alta competencia en la rizósfera; coloniza el rizoplano; es persistente en el suelo, suprime algunos patógenos principales incluyendo: *Pythium*, *Phytophthora*, *Fusarium* y *Rhizoctonia*, y tiene antibiosis directa (ej. Iturin, amplio espectro), y son activos en una gran variedad de condiciones (8-40°C, pH 5-9, óptima 7) (Killian *et al*, 2000; Sutton, 2005).

El control biológico, utilizando microorganismos autóctonos o importados, pero seleccionados en función de su actividad y de su bajo impacto medio ambiental, tiene un gran futuro potencial en el control de enfermedades de plantas. Se trata de utilizar interacciones planta-microorganismo, que sean beneficiosas para los cultivos y que mejoren el control de patógenos, pero situando la lucha biológica en un contexto de control integrado. La lucha contra las enfermedades requiere un planteamiento integrado que incluya todo tipo de medidas preventivas, genéticas, culturales, químicas y que disminuyan el nivel de inóculo presente y/o la receptividad de la planta al ataque por patógenos, y permitan un desarrollo del cultivo en las condiciones menos favorables para la enfermedad (López y Peñalver, 2009).

Por otra parte, la estrategia de control químico estuvo basado en: (1) la aplicación preventiva de fungicidas a los diez días después del 80% de emergencia, antes de que aparezca el tizón; (2) la alternancia de un fungicida sistémico y de contacto, (3) frecuencias de aplicación de 7-14 días según las condiciones climáticas muy favorables a poco favorables respectivamente, (4) y la no utilización de fungicidas sistémicos en más de tres oportunidades. Es decir, se ha implementado los principios de la estrategia de control químico del tizón desarrollado por PROINPA (Navia et al, 1996; Fernández-Northcote et al, 2000, Navia et al, 2009), pero esta vez, integrado con el uso de agentes de control biológico como *Bacillus subtilis*.. Es una estrategia que permite un uso racional y eficiente de los fungicidas.

BIBLIOGRAFÍA

Backman, P.A., Brannen, P.M. y W.F. Mahaffe, (1994). “Plant response and disease control following seed inoculation with *Bacillus subtilis*”. En: *Improving plant productivity with Rhizosphere Bacteria*, Ryder, M.H. et al. (eds.), CSIRO division of soils, Glen Osmond.

Bochow, H., El-Sayed, S.F., Junge, H., Stavropoulou, A. y G. Schmiedeknecht, (2001). “Use of *Bacillus subtilis* as bio control agent. IV. Salt-stress tolerance induction by *Bacillus subtilis* FZB24 seed treatment in tropical vegetable field crops, and its mode of action”. *Journal of Plant Diseases and Protection* 108:21-30.

Bojanic, A., (1995). *Sondeo sobre demanda nacional de semilla de papa para el sector formal y su pertinencia para la UPS-SEPA*. Informe. Cooperación Técnica Suiza. La Paz.

Dion,P., (2009). *Microbiología de organismos benéficos para la agricultura*. Universidad. Canadá.

Fernández-Northcote.E.N., Navia, O. y A. Gandarillas, (2000). “Basis of strategies for chemical control of potato late blight developed by PROINPA in Bolivia”. En: *Fitopatología* 35 (3): 137-149.

Fernández-Northcote, E.N.; Navia, O. y A. Gandarillas, (1999). “Bases de las estrategias de control químico del tizón desarrolladas por PROINPA en Bolivia” en: *Revista Latinoamericana de la Papa* 11: 1-25.

Gregory, P., (1996). *Combatiendo al tizón tardío*. Circular CIP 22: 1-4.

Henfling, J.W, (s/f). *El tizón tardío de la papa: Phytophthora infestans*. Centro internacional de la Papa (CIP). Boletín de información técnica 4.

Hooker, W.J. (1980). *Compendio de enfermedades de la papa*. Trad. Teresa Ames de Icochea. Lima,Perú. Centro Internacional de la papa (CIP).

Jimenez Diaz, R., (2003). “El papel que juega la Fitopatología en la agricultura sostenible” en: *Fitopatología* 38 (2): 62- 73.

Kessmann,H., Oostendorp M. y T. Saub, (1996). *Bion 50 WG: modo de acción de un nuevo activador de plantas*. Ciba-Geigy Limitada, 4002. Basel, Suiza.

Kilian, M., Steiner, U., Krebs, B, Junge, H., Schmiedeknecht, G. y R. Hain, (2000). FZB24@*Bacillus subtilis* – mode of action of a microbial agent enhancing plant vitality. *Pflanzenschutz-nachrichten Bayer* 1/00, 1.

López, M. y R. Peñalver, (2009). *Control biológico de bacterias fitopatógenas*. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA). Valencia.

Navia, O. y E.N. Fernández – Northcote, (1996). *Estrategias de control químico del tizón*. Ficha Técnica 2/96 Fitopatología. Programa de Investigación de la papa -PROINPA (IBTA_CIP_COSUDE). Cochabamba - Bolivia.

Navia, O., A. Trujillo, Gandarillas, A., Fernández-Northcote, E.N. y J. Gabriel, (1999). “Strategies of chemical control of late blight (*Phytophthora infestans*) for resistant and susceptible cultivars in Bolivia”. En: *Late Blight: A threat to global food security*. Quito, Ecuador. March 16-19, pp. 15-16. (Abstract).

Navia, O., Ortuño, N. y J. Franco, (2006). “Integration of new strategies in the management of potato late blight (*Phytophthora infestans*) and the soil for a sustainable agriculture” en: *Fitopatología* 41: 102-108.

Navia, O.,Plata, G., Equize, H., Gabriel, J. y A. Gandarillas, (2009). “Tizón tardío (*Phytophthora infestans*)” en: *Compendio de enfermedades, insectos, nematodos y factores abióticos que afectan el cultivo de papa en Bolivia*. Fundación PROINPA, Cochabamba, pp. 181.

Navia, O., Ortuño, N. y E. Meneses, (2009). *Catálogo de bioinsumos, para mejorar la productividad de los cultivos ecológicos y convencionales*. Fundación PROINPA- BIOTOP. Cochabamba, pp. 38.

Ruess, W., Mueller, K., Knauf-Beiter G., Kunz, W. y T. Staub, (1996). *Activador de plantas Bion 50 WG: Un acercamiento innovativo para el control de enfermedades en cereales y tabaco*. CIBA-GEIGY LTD., 4002 BASEL, SUIZA.

Schwin, F.J. y P. Margot, (1991). “Control with chemicals” en: “The cause of late blight of

potato”. *Advances in Plant Pathology*. D.S. Ingram and P.H. Williams (eds.), Academic Press, London, pp. 225-265.

Smith, K.P., Handelsman, J. y R.M. Goodman, (1999). *Genetic basis in plants for interaction with disease-suppressive bacteria*. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 96, 4786-4790.

Sutton, J.C., (2005). *Present and future perspectives of biological disease control in crops*. *En: Libro de resúmenes XIII Congreso Latinoamericano de Fitopatología- III taller de la Asociación Argentina de Fitopatólogos*. Córdoba, Argentina. Abril 19-22, 2005. pp. 11-14.

Thiele, G.; O. Navia, y E.N. Fernández-Northcote, (1998). “Análisis económico de la estrategia de control químico del tizón tardío (*Phytophthora infestans*) para cultivares de papa susceptibles en Cochabamba, Bolivia” en *Fitopatología* 33 (3):176-181.

Zapata, J.L., (1991). *Combinación de inmunidad a los virus X e Y de la papa, y resistencia a P. infestans, en clones de papa*. Tesis M.Sc. Univ. Nac. Agraria, La Molina, Lima.

Zeballos, H., (1997). *Aspectos económicos de la producción de papa en Bolivia*. COSUDE – Centro Internacional de la Papa (CIP). Lima.