

## “CONTROL DE LOS PATÓGENOS DE SUELO EN LA PRODUCCIÓN ORGÁNICA DE SÉSAMO”

Fundación PROINPA / René Pereira, Oscar Navia, Giovanna Plata, Edson Gandarillas, Antonio Gandarillas

### 1. Ubicación

La innovación fue desarrollada en los laboratorios de la Fundación PROINPA en El Paso en Cochabamba y en parcelas de cultivo de sésamo en diferentes zonas de Santa Cruz. El trabajo participativo en campo se desarrolló en la zona de la Chiquitanía; las localidades de Carmencita y 15 de Agosto en el Municipio de San Ignacio; la localidad de Nueva Esperanza en el Municipio de San José y la zona de San Silvestre en el Norte Integrado cruceño.

### 2. Justificación

El cultivo de sésamo (*Sesamum indicum* L) fue introducido hace 10 años al país y desde entonces ha tenido un crecimiento sostenido en el departamento de Santa Cruz, alcanzando el 2018 más de 17.000 hectáreas. El sésamo es un cultivo típico de pequeños agricultores, actualmente lo cultivan en Santa Cruz unas 5000 familias (CABEXSE 2016), entre ellas, menonitas, colonizadores (interculturales) y poblaciones originarias. Para muchas familias representa el único cultivo de valor económico, dependiendo sus ingresos del éxito del cultivo y de los precios internacionales. El destino de la producción en gran porcentaje (mayor a 90%) es para la exportación, el consumo local es creciente pero todavía muy bajo. Para que Bolivia sea competitiva en el mercado internacional se debe invertir en tecnología que mejore su productividad y diferenciar el producto, una forma es tener una producción orgánica, para ello se necesita tecnología que permita este tipo de producción.

Uno de los factores que más incide en los bajos rendimientos del sésamo en Bolivia, es el ataque de los patógenos de suelo y la falta de tecnología para su control. El rendimiento potencial del sésamo en el país es de más de 1.110 kg/ha; sin embargo, el rendimiento ha sido decreciente y actualmente fluctúa entre 400 y 600 kg/ha.

Los patógenos han incrementado significativamente en los suelos debido al monocultivo, escasa rotación de cultivos y uso de fungicidas sintéticos que han eliminado la población de microorganismos benéficos. Es decir, que se ha producido un desbalance negativo en la salud del suelo.

PROINPA ha trabajado por dos campañas (2015-2016 y 2016-2017) en estudios de identificación de los principales patógenos de suelo y en estimar la incidencia y severidad de cada patógeno en cada zona. En base a esta información, se han planteado opciones de control en el marco de la producción orgánica. Se ha encontrado que los patógenos con mayor incidencia y severidad en todos los suelos son *Fusarium oxysporum* y en menor importancia el hongo *Macrophomina phaseolina*. Estos dos hongos presentan estructuras de conservación, lo que les permite sobrevivir varios años en el suelo.

Para el control de estos patógenos, los productores y empresas del sector han ensayado una diversidad de fungicidas químicos sintéticos, pero con un éxito limitado. La intensidad del daño está influenciada por las condiciones del suelo, régimen de lluvias durante el ciclo del cultivo y la abundancia del inóculo en el suelo. Las pérdidas fluctúan entre 30 y 70% de la cosecha, en algunos casos alcanzan al 100%. Se cultivan alrededor de

17.000 ha/año, las pérdidas causadas por los patógenos de suelo, se estiman entre 5 a 11 millones de dólares al año.

Los síntomas al inicio se presentan como marchitamiento de plantas aisladas, luego marchitamiento de grupos de plantas, al arrancar estas se observa una pudrición negra en las raíces. La pudrición comienza en las raicillas, estas presentan necrosis longitudinal en la epidermis. Por debajo del tejido, se observa la presencia de puntos negros, que son las clamidosporas (estructuras de conservación de *Fusarium*) o microesclerocios (estructuras de conservación de *Macrophomina*).

Posteriormente, estas manchas se tornan de color gris oscuro y se desarrollan extensamente sobre las raíces, subiendo también al tallo y las ramas, donde también se localizan los microesclerocios. Realizando cortes longitudinales en el tallo se observa necrosamiento de los haces vasculares y de la médula, esto impide el normal flujo de los fotosintatos y de agua. Por lo tanto, estas plantas llegan a secarse y se mueren.

El problema se agudiza debido a que los hongos sobreviven por muchos años en el campo por las estructuras de resistencia (clamidosporas y microesclerotes) que se quedan en el suelo o en los restos de los cultivos anteriores, esto da lugar a que el campo siempre cuente con inóculo del patógeno, que espera tener las condiciones adecuadas para nuevamente germinar y afectar a nuevas plantas. Además estos hongos presentan un amplio rango de hospederos y se transmiten por semilla.

En resumen, para incrementar la productividad del cultivo de sésamo se debe resolver el tema de los patógenos de suelo. Para mejorar la competitividad y responder al mercado internacional se debe contar con tecnología orgánica. En base a estos antecedentes, PROINPA ha trabajado en identificar microorganismos biocontroladores de los patógenos del suelo en el sésamo y ha desarrollado una estrategia de manejo de la enfermedad, que sea eficiente, económica y orgánica.

### **3. Objetivo**

#### **Objetivo General:**

Desarrollar una estrategia de manejo orgánico de patógenos de suelo en el cultivo de sésamo, que sea factible de ser implementada por pequeños agricultores

#### **Objetivos Específicos:**

- Identificar microorganismos biocontroladores para el control de patógenos de suelo del sésamo.
- Combinar varios biocontroladores para desarrollar una estrategia de manejo de los patógenos de suelo.

### **4. Descripción de la innovación**

El trabajo de innovación desarrollado por PROINPA presenta dos fases, la primera referida a la identificación de biocontroladores y la segunda a la combinación de varios productos biocontroladores en una estrategia.

#### **Aislamiento e identificación de biocontroladores**

Como primer paso se ha trabajado en la identificación de los principales patógenos de suelo en las zonas productoras de sésamo (Chiquitanía, Zona Sur, Norte Integrado). Se han tomado muestras con síntomas iniciales y síntomas avanzados, en más de 10 parcelas. El patógeno encontrado en el 100% de plantas enfermas fue *Fusarium oxysporum*. En un porcentaje menor se encontró el hongo *Macrophomina phaseolina*. En los laboratorios

de PROINPA en Cochabamba se obtuvieron aislamientos puros de ambos patógenos. En base a observaciones de PROINPA y de técnicos, las pérdidas se encuentran entre el 30 y 70%, en casos severos puede llegar al 100% (Cabexse, 2016; PROINPA, 2017).

Basados en el concepto de que los patógenos tienen antagonistas biológicos o biocontroladores, que actúan por competencia por nutrientes, competencia por espacio, antibiosis, parasitismo y/o resistencia sistémica, es que PROINPA cuenta con un banco activo de microorganismos benéficos, con accesiones de diferentes partes del país y que también cuenta con accesiones colectadas en las zonas de producción de sésamo. En laboratorio, los aislamientos son caracterizados por sus diferentes mecanismos de acción (producción de AIA, velocidad de crecimiento, parasitismo, lisis, fijación de nitrógeno, solubilización de fósforo e inducción de resistencia).

En los laboratorios de PROINPA se realizaron pruebas bajo condiciones in vitro para evaluar 28 cepas de *Trichoderma* de las especies *T. harzianum*, *T. viride*, *T. koningiopsis* y *T. lignorum*, en el control de *Fusarium* y *Macrophomina*. De igual manera se evaluaron 15 cepas de la bacteria *Bacillus*, siendo los géneros más estudiados *B. subtilis*, *B. amilolyquefaciens* y *B. pumilus*.

Las cepas que resultaron más efectivas en el control fueron las aisladas de las zonas de producción de sésamo. Estas cepas también fueron evaluadas por otras funciones, entre ellas, la producción de la hormona AIA que actúa como promotora de crecimiento, es decir, ayuda a incrementar el volumen radicular. Si la raíz se ve afectada por cualquier patógeno de suelo, los microorganismos biocontroladores ayudan a la reposición de nuevas raíces.

Después de este proceso se ha seleccionado una cepa de *Trichoderma harzianum* y una cepa de *Bacillus subtilis*. Las mismas fueron formuladas en una concentración de  $1.5 \times 10^8$  esporas/g y  $3 \times 10^7$  ufc/g, respectivamente. Producidas en una escala comercial en formulación en polvo, el producto fue registrado ante el SENASAG en agosto del 2017 como Biozera (3578 Registro SENASAG).

### **Estrategia de manejo de patógenos de suelo del sésamo**

La segunda fase de la innovación fue el desarrollo de una estrategia de manejo de los patógenos de suelo en campo. Para esto se realizaron varios ensayos en las zonas de producción de sésamo, junto a las empresas asociadas a CABEXSE (Cámara Boliviana de Exportadores de Sésamo).

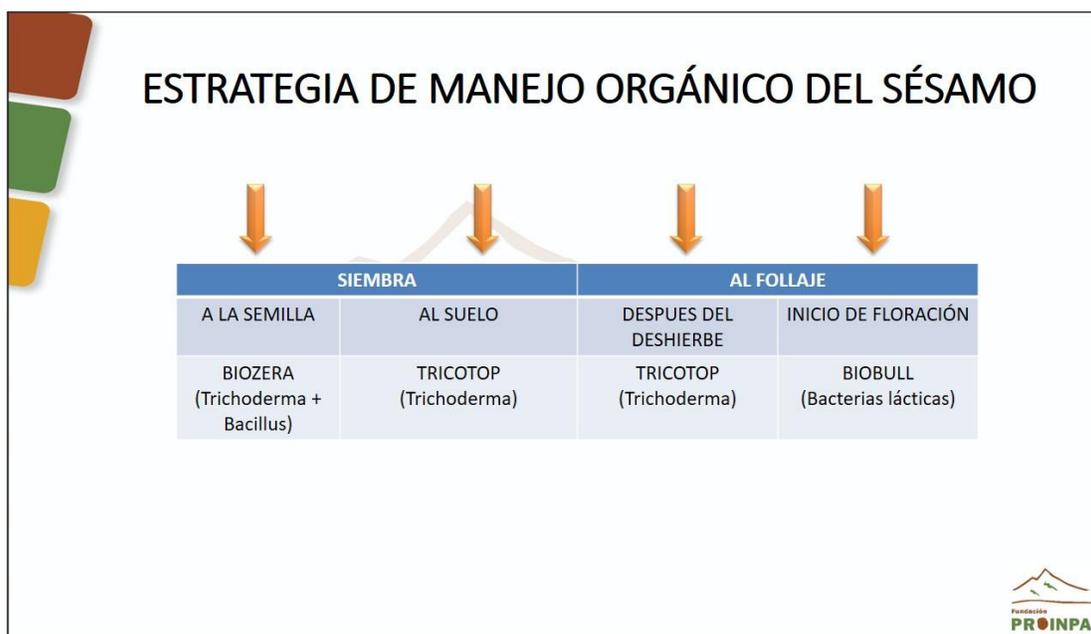
La estrategia de manejo de patógenos de suelo considera el ciclo biológico de los patógenos, las características de los productos y el momento adecuado para la aplicación. La estrategia se inicia a la siembra, con el tratamiento de las semillas, para proteger el embrión y la emergencia de raíces; el segundo tratamiento es al suelo, inmediatamente después de la siembra y luego del deshierbe, para controlar la germinación de las clamidosporas de los hongos que se encuentran en el suelo y un tercer tratamiento al follaje, para evitar la infección secundaria y la invasión sistémica a la planta.

Para el tratamiento a la semilla se usó el biocontrolador obtenido en las pruebas de laboratorio (Biozera). Para el tratamiento al suelo se usó un producto previamente formulado por PROINPA (Tricotop) que cuenta en su formulación con dos especies de *Trichoderma* y para el tratamiento al follaje otro biocontrolador producido por PROINPA, denominado Biobull, formulado en base a bacterias lácticas. Los tres productos están registrados por IMO Cert para la producción orgánica.

En base a los productos mencionados se planteó la siguiente estrategia de manejo de la enfermedad:

- Aplicación del **Biocontrolador 1 (BIOZERA)**, a la semilla antes de la siembra. Protege las semillas y las nuevas plantas de patógenos de suelo (complejo damping off).
- Aplicación del **Biocontrolador 2 (TRICOTOP)**, al suelo por aspersion, inmediatamente después de la siembra y un refuerzo después del deshierbe. Evita la germinación de las clamidosporas de *Fusarium*, microesclerocios de *Macrophomina* y otros patógenos de suelo.

- Aplicación del **Biocontrolador 3 (BIOBULL)**, mezcla de bacterias benéficas, aplicadas al follaje y tallo en forma preventiva, al inicio de la floración, la cual evitará el desarrollo de los patógenos en el tallo, follaje y semilla.



Estrategia de manejo de patógenos de suelo en el cultivo de sésamo.

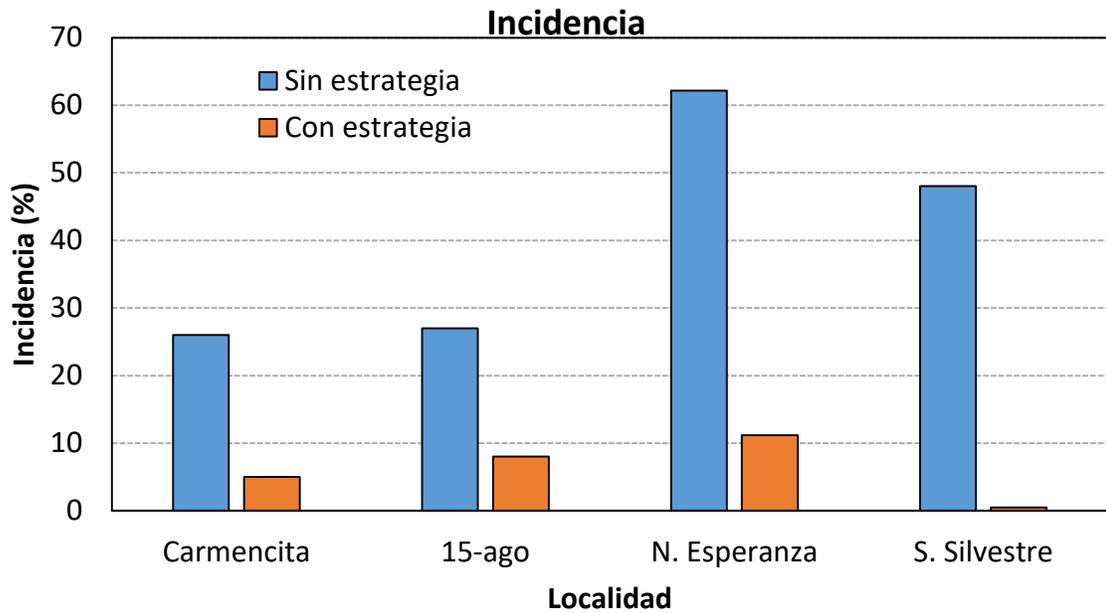
### Evaluación de la estrategia en campos de agricultores

La estrategia de manejo de los patógenos de suelo fue evaluada junto con los agricultores, técnicos de las empresas beneficiadoras y exportadoras de sésamo y técnicos de CABEXSE. Para la evaluación se tomó en cuenta que la estrategia sea eficiente en el manejo de los patógenos, muestre una relación beneficio/costo positiva, sea viable de registrarla para la producción orgánica y la exportación, y técnicamente factible de ser adoptada por los agricultores.

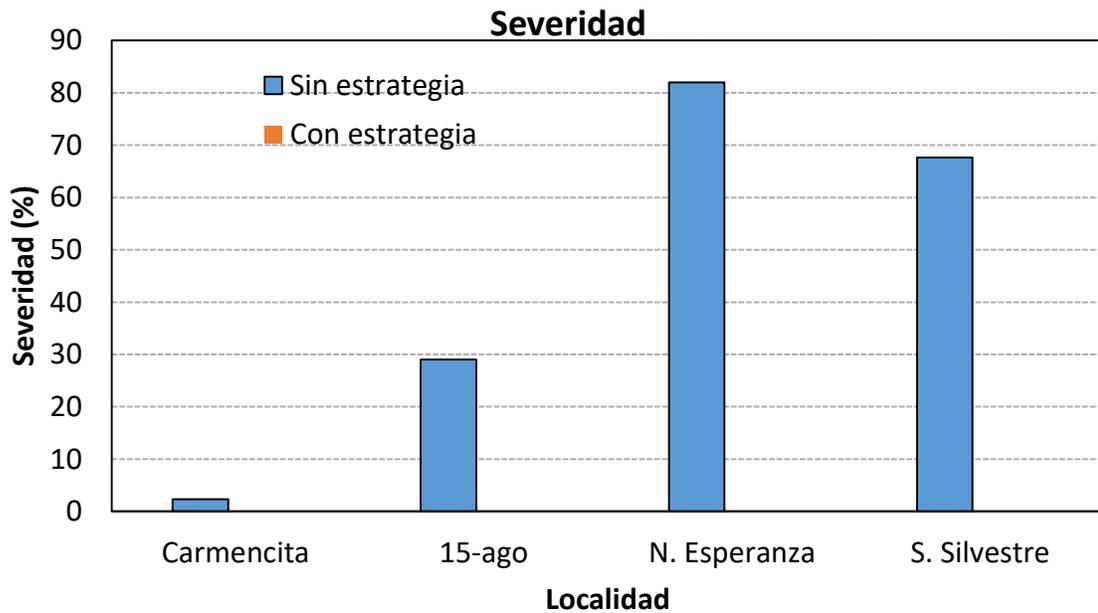
La estrategia fue evaluada en parcelas de cultivo de sésamo en la zona de la Chiquitanía; en las localidades de Carmencita y 15 de Agosto en el Municipio de San Ignacio; en la localidad de Nueva Esperanza en el Municipio de San José y en la zona de San Silvestre en el Norte Integrado de Santa Cruz.

En cada zona se estableció una parcela con la estrategia y una parcela con la práctica local. Las parcelas fueron de 5.000 a 10.000 m<sup>2</sup>. Todas las parcelas tuvieron el mismo manejo agronómico, fechas de siembra, labores culturales, etc. La variedad usada en todos los casos fue Escoba Blanca, susceptible a los patógenos de suelo y de uso común por los productores en las zonas de trabajo. En ambas parcelas, se controlaron las plagas de la misma manera (con productos orgánicos). La única diferencia es que en las parcelas con la estrategia se aplicaron los biocontroladores, mientras en la parcela con la práctica local el manejo de los agricultores, que incluye el uso de fungicidas sintéticos.

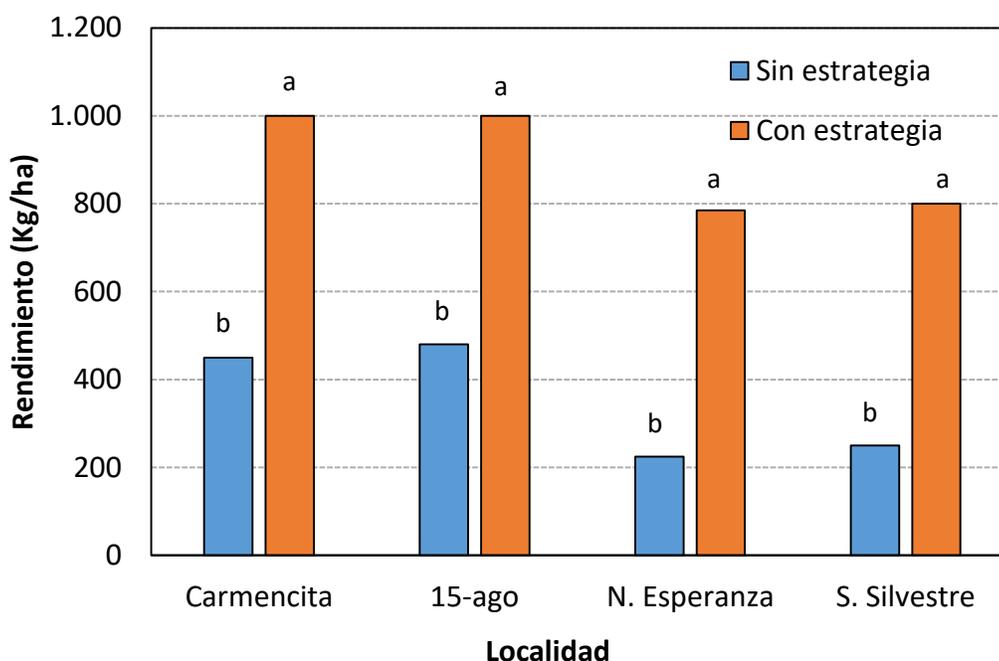
En las cuatro zonas, las parcelas donde se aplicó la estrategia muestran un control eficiente de los patógenos de suelo (manejo orgánico), presentan menor incidencia y severidad de las enfermedades, respecto a sus respectivos testigos de la práctica local (Figuras 1 y 2). La estrategia mostró significativos incrementos de rendimiento respecto a los testigos (Figura 3), de 122% en Carmencita, 108 % en 15 de Agosto, 248 % en Nueva Esperanza y 220 % en San Silvestre.



**Figura 1.** Incidencia (%) de enfermedades de suelo, bajo estrategias de manejo del cultivo de sésamo.



**Figura 2.** Severidad (%) de enfermedades de suelo, bajo estrategias de manejo del cultivo



**Figura 3.** Rendimiento (kg/ha) comparando la estrategia con la practica local

## 5. Costos de producción y análisis financiero

Se ha realizado el análisis económico de presupuestos parciales en los ensayos. Mediante esta técnica, se consideran en el análisis los costos que varían en los tratamientos, en nuestro caso, los costos que varían son el uso de los productos orgánicos (biocontroladores) para el control de las enfermedades (168,3 Bs/ha) y en la práctica local son los fungicidas que utilizan los productores (30 Bs/ha). Asimismo, el análisis se hizo considerando dos precios de mercado del grano de sésamo, la primera (Cuadro 1.) con un precio bajo de 4,872 Bs (700 usd/ha) y el segundo (Cuadro 2.) con precio alto 6,960 Bs (1000 usd/ha).

**Cuadro 1. Análisis económico de presupuestos parciales en cuatro zonas de la estrategia de manejo orgánico de enfermedades de suelo en el cultivo de sésamo, con precio Bajo del sésamo (4,872 Bs /t).**

Zona y Tratamiento	Rend. (T/ha)	Costos que varían (Bs/ha)	Beneficio Bruto (Bs/ha)	Beneficio Neto (Bs/ha)	Incremento		Tasa Retorno Marginal (%)
					Beneficio neto (Bs/ha)	Costos que varían (Bs/ha)	
Carmencita/Con Bioinsumos	1	168,3	4872	4703,7	2541,3	168,3	15,10
Carmencita/Práctica local Qmc	0,45	30	2192,4	2162,4			

15 de Agosto/Con Bioinsumos	1	168,3	4872	4703,7	2395,14	168,3	14,23
15 de Agosto/Práctica local Qmc	0,48	30	2338,56	2308,56			
Nueva Esperanza/Con Bioinsumos	0,785	168,3	3824,52	3656,22	2590,02	168,3	15,39
Nueva Esperanza/Práctica local Qmc	0,225	30	1096,2	1066,2			
San Silvestre/Con Bioinsumos	0,8	168,3	3897,6	3729,3	2541,3	168,3	15,10
San Silvestre/Práctica local Qmc	0,25	30	1218	1188			

El análisis económico nos indica que el agricultor, en las cuatro comunidades, puede ganar entre 2.395,14 a 2.590,02 Bs/ha, cuando el precio de venta del grano es bajo (4.872 Bs/ton o 700usd/t). Cuando el precio del grano sube a 6.960 Bs/ton (1000 usd/ha), el beneficio neto de los agricultores esta entre 3.480,9 a 3759,3 Bs/ha. En consecuencia la tasa de retorno marginal también muestra lo atractivo que resulta invertir en la estrategia, que varía entre 14,23 a 15,39 % con precio bajo y entre 20,68 y 22,34% con el precio alto.

**Cuadro 2. Análisis económico de presupuestos parciales en cuatro zonas de la estrategia de manejo orgánico de enfermedades de suelo en el cultivo de sésamo, con precio Alto del sésamo (6,960 Bs /t).**

Zona y Tratamiento	Rend (t/ha)	Costos que varían (Bs/ha)	Beneficio Bruto (Bs/ha)	Beneficio Neto (Bs/ha)	Incremento		Tasa Retorno Marginal (%)
					Beneficio neto (Bs/ha)	Costos que varían (Bs/ha)	
Carmencita/Con Bioinsumos	1	168,3	6960	6791,7	3689,7	168,3	21,92
Carmencita/Práctica local Qmc	0,45	30	3132	3102			
15 de Agosto/Con Bioinsumos	1	168,3	6960	6791,7	3480,9	168,3	20,68
15 de Agosto/Práctica local Qmc	0,48	30	3340,8	3310,8			
Nueva Esperanza/Con Bioinsumos	0,785	168,3	5463,6	5295,3	3759,3	168,3	22,34

Nueva Esperanza/ Práctica local Qmc	0,225	30	1566	1536			
San Silvestre/Con Bioinsumos	0,8	168,3	5568	5399,7	3689,7	168,3	21,92
San Silvestre/Práctica local Qmc	0,25	30	1740	1710			

El análisis demuestra que la aplicación de la estrategia, da lugar a importantes beneficios para las familias de en comparación con la práctica local en todas las zonas y bajo precios altos y bajo de la cosecha. Existe una variación entre las zonas, que está asociada a si son nuevas o antiguas en la producción de sésamo, las antiguas presentan un grado mayor de infestación de sus suelos y por tanto mayores pérdidas (Cuadro 1 y 2).

## 6. Efectos/impactos ambientales y sociales

La estrategia fue desarrollada en la campaña 2016 – 2017. Al ser una tecnología orgánica reduce el uso de pesticidas que contaminan el medio ambiente y el agua; mejora la salud del suelo, su capacidad productiva y su sostenibilidad; evita la intoxicación de los agricultores y sus familias; y permite obtener un producto inocuo para los consumidores.

Al incrementar los rendimientos por hectárea, el agricultor puede mejorar significativamente sus ingresos (mejor tasa de retorno marginal), este hecho hace que no sea necesario ampliar la frontera agrícola, ya que pueden realizar un uso sostenible del suelo en los predios que ya están trabajando. El incremento de ingresos, permite a las familias a mejorar sus medios de vida, ya que les da la liquidez para planificar la inversión de su ingreso.

La tecnología por sus bondades fue rápidamente apreciada por los agricultores, la campaña 2017 -2018 la empresa BIOTOP que comercializa los productos de PROINPA alcanzó a vender 6.000 unidades de Biozera que alcanzan para tratar 6.000 hectáreas, es decir un tercio del área total de cultivo.

## 7. Contribución al sector, al medio y a la sociedad

Miles de familias de pequeños agricultores mejoran sus ingresos entre 2.395 a 3.759 Bs/ha gracias al incremento en los rendimientos en más de 100 %. La aplicación en las 6.000 has de la estrategia permitió un ingreso adicional entre 14 y 22 millones/Bs. Si la estrategia se aplicaría en toda la superficie cultivada el beneficio estaría entre 45 y 66 millones/Bs por año.

La producción de sésamo orgánico a su vez genera un beneficio a las industrias que procesan y exportan el sésamo, en un valor al menos igual al que recibieron las familias de agricultores. La sociedad en su conjunto se beneficia al fortalecer la cadena de sésamo, creando fuentes de trabajo en industrias, proveedores de insumos, proveedores de equipos, transporte, etc. Por otro lado, por la exportación del sésamo se generan divisas para el país.

El mercado internacional del sésamo es muy competitivo, la mayor parte de países ingresan con sésamo convencional, muy difícil de competir para Bolivia. Por ello, es importante el desarrollo de la producción orgánica del sésamo en Bolivia, es un nicho creciente, donde el país debe consolidar el mercado ya ganado y abrir nuevos mercados.

## **8. Lecciones aprendidas (en las áreas: técnico, administrativo, ambiental y social)**

- Muchos de los problemas de plagas y enfermedades no siempre se resuelven con pesticidas químicos, más bien pueden exacerbar el problema.
- La selección de cepas de microorganismos benéficos aisladas de las zonas donde existe el problema parece ser más efectiva para el control, aparentemente debido a su mejor adaptación a las condiciones de la zona.
- Es factible contar con tecnología para el control de patógenos de suelo en la producción orgánica del sésamo en Santa Cruz.
- No solo es importante generar la tecnología o el conocimiento, sino es fundamental hacerla accesible al productor (técnica, comercial y social), para generar la innovación.
- Los productores han adoptado rápidamente la tecnología, por la motivación de mejorar la salud de sus suelos, por la tecnología orgánica que les da opción de mejores precios en el mercado internacional y por qué el producto es accesible.

## **9. Conclusiones y recomendaciones**

- El principal capital que tienen los agricultores es su suelo, es importante que mantengan en condición óptima su capacidad productiva y su sostenibilidad, el uso de bioinsumos basados en microorganismos son una excelente contribución para este propósito.
- La estrategia basada en biocontroladores permite incrementar los rendimientos en más del 100% y generar ingresos adicionales para las familias de agricultores entre 2.395 a 3.759 Bs/ha.
- La innovación desarrollada por PROINPA ayuda a que el sésamo boliviano pueda ingresar a nichos de mercado orgánico, que son crecientes en Europa, Norte América y el Asia.
- PROINPA gracias a la investigación de esta tecnología puede comercializar productos, los fondos que se obtienen son reinvertidos en desarrollar más tecnología, logrando así un proceso sostenible de investigación y la generación de innovaciones.

## **Revisión de literatura**

Backman, P.A., Brannen, P.M., and Mahaffe, W.F. 1994. Plant response and disease control following seed inoculation with *Bacillus subtilis*. In: 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. and Schmiedeknecht, G. 2001. Use of *Bacillus subtilis* as biocontrol 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.

El-Bramawy, M. y A. Al-Wahid. 2009. Evaluation of resistance of selected sesame (*Sesamum indicum*) genotypes to Fusarium wilt disease caused by *Fusarium oxysporum* f.sp. *sesami*. *Tunisian Journal of Plant Protection* 4:29-39

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

Nirenberg, H. 1990. Recent advances in the taxonomy of *Fusarium*. *Stud. Mycol.* 32:91-101

Pineda, J. y J. Ávila. 1988. Alternativas para el control de *Macrophomina phaseolina* y *Fusarium oxysporum* patógenos del ajonjolí (*Sesamum indicum* L.). *Agronomía Tropical* 38(4-6):79-84

Riveros, A. E. 2010. Inducción de resistencia en plantas. Interacción planta – patógeno. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura IICA. San José, Costa Rica. 238 p.

Smith, K.P., Handelsman, J. and Goodman, R.M. 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. p. 11-14.