

FUNDACIÓN
PRODUCE
Sinaloa A.C.
INICIATIVA DE INNOVACIÓN Y PRODUCTOS



Búsqueda de bacterias benéficas para el control de fusariosis en maíz



Ignacio Maldonado Mendoza
Jesus-Damián Cordero-Ramírez
Alejandro Miguel Figueroa López



RESULTADOS DE PROYECTOS

Búsqueda de bacterias benéficas para el control de fusariosis en maíz

Ignacio Maldonado Mendoza*
Jesús Damián Cordero Ramírez*
Alejandro Miguel Figueroa López*

Índice

Introducción	7
Metodología.....	10
Resultados.....	16
Beneficio/costo	17
Conclusiones	19
Bibliografía	20

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo muestra una forma novedosa para aislar bacterias nativas de suelos de Sinaloa e identificar aquéllas que puedan combatir al hongo, causante de la pudrición de raíces y tallos del maíz, *Fusarium verticillioides* (*F. moniliforme*).

El objetivo del proyecto a mediano plazo es desarrollar, a partir de estas bacterias, un producto biológico efectivo para el control de la fusariosis en maíz, que además sea generoso con el ambiente y más económico que los fungicidas químicos.

En la actualidad el maíz es uno de los cultivos más redituables, ha propiciado un aumento en la tendencia de la superficie sembrada, generando así el monocultivo y, por consiguiente, el aumento de enfermedades que lo afectan, provocando daños económicos de gran magnitud.

Cabe señalar que en el ciclo 2007-2008 se reportaron cerca de 5000 hectáreas que, por distintos problemas, no fueron cosechadas, lo cual provocó una pérdida aproximada a 102 millones de pesos. De esta superficie resulta difícil calcular el área afectada por enfermedades relacionadas al hongo fitopatógeno¹ *Fusarium*.

Es importante indicar que durante el ciclo 2009-2010, se reportó que enfermedades como la fusariosis están cada vez más presentes en

¹ Fitopatógeno es el microorganismo que causa daño a los vegetales.

los suelos de Sinaloa. Esta enfermedad causa daños en raíces y tallos, provocados por *Fusarium* spp. y *Macrophomina* spp.

En relación a este punto, estudios realizados por el Laboratorio de Diagnóstico Fitosanitario de la Junta Local de Sanidad Vegetal del Valle del Fuerte, efectuados en 2007, encontraron que el hongo *Fusarium* está distribuido en un rango de 70 a 84 % de los lotes; mientras que el hongo *Macrophomina* se encuentra en solamente 1 % de éstos.

Además, *Fusarium* representa un problema en la superficie que se emplea para el cultivo de hortalizas y otros granos: es posible que el manejo intensivo y la tendencia al monocultivo en Sinaloa, sea la principal causa de su aumento en los suelos.

Ahora bien, es necesario señalar que no resulta nada fácil la erradicación de organismos patógenos del suelo: métodos como la solarización² o la esterilización química del suelo, han sido empleados para disminuir la presencia residual de *Fusarium*; sin embargo, se ha observado que estos métodos son ineficientes, puesto que también eliminan microorganismos benéficos que pudieran ejercer un control sobre el hongo de manera natural. En la esterilización química se emplean compuestos que pueden ser inefectivos, además de que conllevan efectos nocivos para el ambiente y la salud humana. Por tal motivo, se deben concentrar esfuerzos en aprender a convivir con estos patógenos, buscando alternativas biológicas que permitan controlar su desarrollo y que disminuyan los daños durante el ciclo de cultivo. Estas tecnologías también contribuyen a la sustentabilidad del cultivo y aportan beneficios extras al suelo, ya que incrementan el contenido de materia orgánica.

Otra dificultad radica en que el maíz es hospedero de organismos capaces de producir micotoxinas (como el hongo *Fusarium verticilloides*) que se alojan en el grano y generan sustancias nocivas para la salud humana y de los animales. Estas toxinas no han sido propiamente caracterizadas en Sinaloa ni en el resto de México.

Como estrategia de biocontrol se han utilizado especies de bacterias de los géneros *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Burkholderia*, con resultados eficientes para controlar el desarrollo y la enfermedad causante de *Fusarium* en plantas, tanto en la parte aérea como radical. Incluso algunos bioplaguicidas³ comerciales que incluyen bacterias correspondientes a los géneros *Agrobacterium*, *Bacillus*, *Pseudomonas* y *Streptomyces*, se han usado con éxito en México y otras partes del mundo. Asimismo,

2 Solarización es la técnica que consiste en cubrir el suelo húmedo con plástico transparente y delgado durante el verano, a fin de incrementar las temperaturas, para destruir a la mayoría de los fitopatógenos, insectos y malas hierbas.

3 Bioplaguicida es el compuesto que destruye organismos en virtud de sus efectos biológicos específicos más que por su actividad como tóxico químico.

es importante señalar que el uso de cepas⁴ nativas, las cuales ya se encuentran adaptadas localmente a los tipos de suelo y a las condiciones climáticas propias de cada región, han sido la clave para obtener un biocontrol adecuado en la mayoría de los casos, por lo que este proyecto es de gran importancia para el desarrollo de bioplaguicidas efectivos en Sinaloa.

En la fase previa, se aislaron diez mil organismos de tipo bacteriano de suelos sinaloenses —específicamente asociados a la raíz del maíz—, con los que se constituyó una colección que se mantiene criopreservada⁵ a -70 °C, temperatura que permite mantener vivos a los organismos por décadas y resguardarlos en las instalaciones del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR-Sinaloa).

Las diez mil bacterias de dicha colección fueron identificadas molecularmente; es decir, a nivel de una región de su material genético (ADN) que se emplea como huella genética. Para ello, se utilizaron una serie de robots que permiten su rápido y fácil manejo. También se llevó a cabo un inventario: actualmente se encuentran en una colección tipo biblioteca que permite un acceso preciso a su nombre y a su sitio, y de esta forma poder regresar a ellas cuando sea necesario.

En este mismo ciclo se diseñó una estrategia para realizar bioensayos⁶ de antagonismo a *Fusarium* con cada una de las bacterias aisladas a nivel de laboratorio: se confrontaron contra un aislado de este hongo, altamente agresivo y patogénico, previamente caracterizado en el laboratorio, para ver si alguna de las bacterias de la colección podría contrarrestar su crecimiento y desarrollo.

Se presentan resultados del montaje de una metodología que permitirá continuar probando estas bacterias ahora en plantas jóvenes de maíz (inicialmente en condiciones de laboratorio). La finalidad es que en etapas posteriores se prueben —a escala de maceta, invernadero y finalmente en campo— los mejores organismos que controlan a *Fusarium*. El principal objetivo a mediano plazo es obtener un paquete tecnológico de manejo seguro para el control de *Fusarium*, utilizando organismos antagonistas propios de los suelos del estado. Esto permitirá desarrollar un producto biológico a escala comercial para el control de la fusariosis del maíz en Sinaloa.

4 Cepas es el conjunto de organismos de una misma especie que presentan ligeras variaciones detectables en su fisiología, bioquímica o genética.

5 Criopreservación se refiere a congelación a temperaturas mucho más bajas que las de un congelador casero o convencional (-18 °C).

6 Bioensayo es el proceso experimental mediante el cual se determina una actividad biológica determinada; en este trabajo se refiere a evaluar la capacidad antagonista de un microorganismo sobre otro.

METODOLOGÍA

Muestreo de suelos asociados a maíz

Se realizó la recolección de cincuenta muestras de suelos asociados al maíz en las localidades de El Serrano (Salvador Alvarado); Alhuey y 18 de Diciembre (Angostura); Casa Blanca y La Trinidad (municipio de Guasave, Sinaloa). En total se tomaron diez muestras de cada parcela: cinco plantas en condiciones sanas, y cinco enfermas o con indicios de daño por la presencia de *Fusarium*.

Las muestras se emplearon para crear colecciones de organismos. Se elaboraron diez de éstas: cinco de plantas sintomáticas y cinco de plantas asintomáticas. Cada colección está constituida por 1152 organismos de suelo, conformando un banco completo de 11 520 bacterias, aisladas y purificadas a partir de una colonia.

De cada una de las muestras se recolectó el suelo adherido fuertemente a la raíz, se secó y posteriormente se tamizó para eliminar el material grueso. Después de haberse tamizado, se mezcló suelo de cada punto para formar muestras compuestas (5 rizosferas⁷ de un lote para cada condición), y se almacenaron a 4 °C hasta su empleo. Se tomó una submuestra de 100 gramos para realizar un análisis completo de nutrientes, pH⁸, materia orgánica y textura.

PURIFICACIÓN DE LOS MICROORGANISMOS DE LA RIZOSFERA DEL MAÍZ Y GENERACIÓN DEL BANCO DE GERMOPLASMA⁹ VIVO

Se tomó una submuestra de 1 gramo para preparar una mezcla acuosa destinada al aislamiento de los organismos. Se empleó el método de diluciones seriales del homogeneizado en cuatro tipos de medios de cultivo:

1. Medio de Luria y Bertani (LB) para favorecer el crecimiento de *Bacillus*.
2. Medio B de King para beneficiar el aislamiento de *Pseudomonas*.
3. Agar para el aislamiento de actinomicetos (*Actinomyces Isolation Agar*, AIA), que favorece el crecimiento de *Streptomyces* (Bressan y Fontes-Figueiredo, 2008).
4. Medio de Man, Rogosa y Sharpe (MRS) para favorecer el crecimiento de bacterias acidolácticas.

5. Lo anterior se hizo para localizar poblaciones específicas de algunos grupos bacterianos importantes, reportados previamente para el

⁷ La rizosfera es una parte del suelo inmediata a las raíces donde tiene lugar una interacción dinámica con los microorganismos.

⁸ pH es una medida de la acidez o alcalinidad de una solución.

⁹ El banco de germoplasma consiste en ubicar, recolectar, conservar y caracterizar cualquier grupo de organismos y mantenerlos vivos. Éstos, por sus atributos son considerados de interés prioritario para algún beneficio.

biocontrol de *Fusarium verticillioides* (Bressan y Fontes-Figueiredo, 2008).

El total de los organismos que crecieron en el transcurso de 24¹⁰ y 48-72¹¹ horas, fueron resebrados hasta lograr su total purificación. Una vez purificados, los organismos se pusieron a crecer en medio líquido, en placas de formato de 96 pozos de 2 mililitros, por 24 (LB, B de King y MRS) y 48 horas (AIA) a 25 °C, conteniendo 1 mililitro de medio líquido.

La suspensión bacteriana resultante se mezcló con glicerol, hasta alcanzar una concentración de 15 %, y fue empleada para colocar —por triplicado, en placas de formato de 96— cada uno de los microorganismos en criopreservación a -70 °C, y conformar el banco de germoplasma. Estas muestras están colocadas en congeladores diferentes en el CIIDIR-Sinaloa, para evitar la pérdida accidental del banco de germoplasma.

IDENTIFICACIÓN MOLECULAR DE LOS MICROORGANISMOS DEL BANCO DE GERMOPLASMA

Al total de las bacterias pertenecientes a la colección se les extrajo el ADN (material genético) por medio de un *kit*¹² comercial; enseguida, ese material se utilizó para la identificación molecular, mediante la técnica de reacción en cadena de la polimerasa (PCR, por sus siglas en inglés)¹³. Una vez purificado se envió a secuenciar al Laboratorio Nacional de Genómica para la Biodiversidad (LANGEBIO), en el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV), Irapuato.

IDENTIFICACIÓN MOLECULAR DE AISLADOS PATOGENICOS DE *FUSARIUM*

El ADN genómico de los aislados de *Fusarium*, fue analizado para su identificación molecular, también mediante la técnica de la reacción en cadena de la polimerasa (PCR).

¹⁰ Medio LB, medio B de King, y MRS.

¹¹ Medio AIA.

¹² *Kit*: grupo de reactivos que se emplean para realizar una técnica que se vende de manera comercial y se eliminan problemas de estandarización facilitando el uso de algunas técnicas que pudieran ser complicadas en su empleo.

¹³ La técnica PCR permite el reconocimiento de un organismo reproduciendo muchas veces un solo fragmento de ADN para tener suficiente cantidad del mismo y hacer posible su identificación visual o por medio de la técnica de secuenciación para leer la secuencia del ADN.

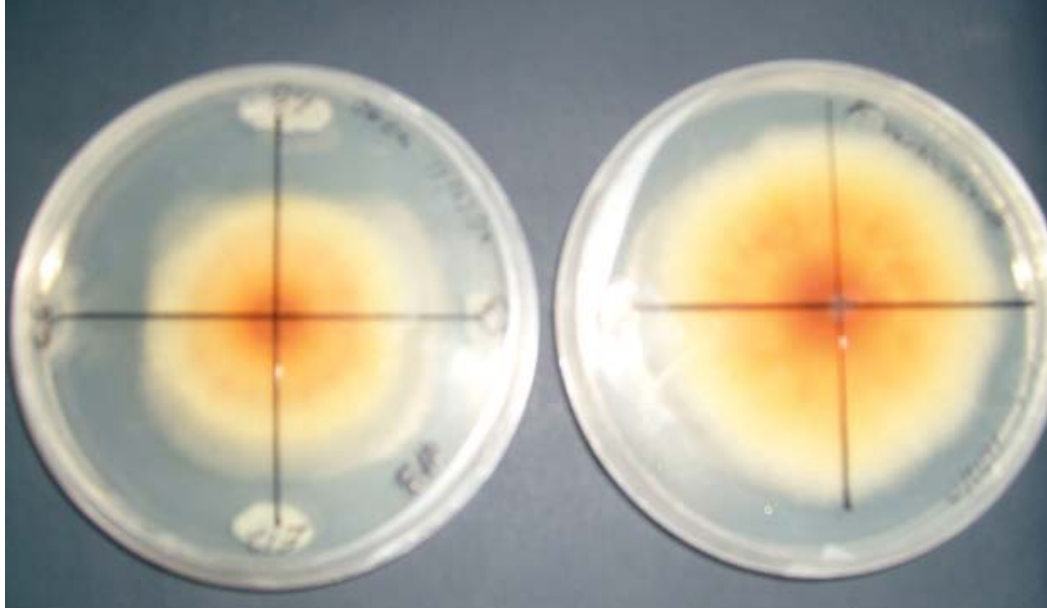


Figura 1. Ensayo de antagonismo en sólido.



Figura 3. Extracción de ADN genómico de *Fusarium* para su identificación molecular.



Figura 2. Ensayo a nivel planta en laboratorio. En la foto se muestra a la derecha un control sin *Fusarium* y los tres frascos de la izquierda muestran el efecto de *F. verticillioides* sobre la parte aérea del maíz.



Figura 4. Procedimiento para esterilizar superficialmente las semillas de maíz blanco. Se muestra el trabajo en condiciones de esterilidad en una campana de flujo laminar.

MONITOREO MASIVO DE ANTAGONISMO¹⁴ EN LOS ORGANISMOS DEL BANCO DE GERMOPLASMA

A partir de los aislados del banco de germoplasma, se realizaron los bioensayos automatizados en el laboratorio: se colocó una suspensión de 1 millón de conidios¹⁵ de una cepa de *Fusarium*, con la característica de ser capaz de desarrollar la enfermedad de fusariosis en semillas de maíz. Después se tomó una muestra y se transfirió al pozo correspondiente, en una placa donde se cultivaron el hongo y la bacteria aislada durante 30 horas, a una temperatura de 25 °C, con agitación a 250 rpm (revoluciones por minuto).

Posteriormente se centrifugaron¹⁶, procediendo a eliminar el sobrenadante (líquido que queda encima de un sedimento).

Se obtuvo una pastilla, se lavó tres veces en 0.5 mililitros, con una solución tampón¹⁷ de fosfatos, para eliminar el exceso de medio de cultivo, dejando la pastilla de hongo y bacteria. Enseguida, se resuspendió¹⁸ en 0.5 mililitros de solución tampón de fosfatos y se agregó un anticuerpo que se une específicamente a algunas regiones de las paredes del hongo. Se repitió el paso de centrifugación y, finalmente, la pastilla se resuspendió (en un volumen de 0.2 mililitros) en la solución de buffer de fosfatos, para ser leído en un lector multimodal¹⁹.

El análisis masivo permitió trabajar con un subgrupo del banco de organismos que mostraron ser potenciales antagonistas *in vitro* (en condiciones de laboratorio) a *Fusarium*. Después, se realizaron bioensayos de antagonismo, también *in vitro*, donde se enfrentaron microorganismo (posible antagonista) contra microorganismo (fitopatógeno) en medio sólido (como se describe en Cordero-Ramírez, 2008) para corroborar el efecto antagónico de cada aislado.

ESTANDARIZACIÓN TÉCNICA DE MONITOREO EN MEDIO SÓLIDO

Del primer análisis masivo se seleccionaron todos los aislados que mostraron potencial antagonista observado en medio líquido.

Para esto, se usaron cajas con formato de 96, por la facilidad de manejo y la rapidez de hacer 96 bioensayos al mismo tiempo. Aquí se

14 Antagonismo: propiedad que tiene un organismo para antagonizar a otro, esto es, evitar su crecimiento, germinación o desarrollo mediante algún mecanismo biológico específico, tal como antibiosis, competencia por nutrientes, parasitismo, etcétera.

15 Conidios son estructuras del hongo de propagación.

16 La centrifugación es el método para separar sólidos de líquidos.

17 Solución que amortigua los cambios bruscos de pH.

18 Es decir, se hizo una disolución.

19 Lector multimodal: aparato que permite obtener una lectura de las placas en formato de 96 celdas que se asocia con la cantidad de hongo presente en cada una de las celdas.

enfrentó cada una de las bacterias seleccionadas contra el hongo, y se corroboró el efecto inhibitorio que tienen sobre *Fusarium*: en cada pozo se colocó el hongo y la bacteria pero en lados opuestos. Para este estudio se colocaron las placas en una incubadora, manteniéndolas durante 48 horas, a 25 °C. El antagonismo se mide como un halo inhibitorio de crecimiento alrededor de la bacteria crecida, indicando una limitación del crecimiento del micelio²⁰. Los ensayos en este tipo de placas (96 pozos) tienen el mismo fundamento que aquellos realizados de manera convencional en cajas de Petri²¹ de 10 centímetros.

PRUEBAS DE ANTAGONISMO A NIVEL *IN PLANTA*

Para este experimento se utilizaron semillas de maíz blanco (híbrido Cebú de Asgrow).

Las cepas de bacterias que presentaron efecto antagonista fueron evaluadas para medir su efecto protector en semillas de maíz. Las cepas seleccionadas se descongelaron del banco de germoplasma, se sembraron en cajas de medio sólido de donde fueron reaisladas y se incubaron a 25 °C por 24 horas.

Después, con la ayuda de un palillo estéril, se transfirió una submuestra de los aislados puros en cajas con medio sólido, del que fueron separadas en recipientes de 250 mililitros, con 50 mililitros de medio líquido, y se dejó en agitación a 25 °C y 200 rpm, por 16 horas. Las bacterias se recuperaron en forma de pastilla, mediante centrifugación a 9000 rpm por 5 minutos, empleando una centrífuga de mesa.

Para continuar, la pastilla se resuspendió en 5 mililitros de agua destilada estéril. Las semillas fueron empapadas en esta suspensión bacteriana por dos horas, a 25 °C. Se colocaron en placas con medio agua-agar²² ocho semillas, de cada uno de los tratamientos, alrededor de un disco de PDA, conteniendo micelio de *Fusarium*, el cual se multiplicó previamente en placas de medio agua-agar.

Las cajas se incubaron a 25 °C por una semana. En total se colocaron tratamientos por triplicado para este experimento. Las variables a medir para cada uno de los tratamientos en este experimento fueron: crecimiento de la raíz de las semillas y el nivel de severidad (empleando una tabla de severidad, reportada por Wang y colaboradores). Los datos

20 Red de filamentos producto del crecimiento de un hongo.

21 Caja de Petri: es un recipiente redondo, de cristal o plástico, con una cubierta de la misma forma que la placa, pero algo más grande de diámetro, para que se pueda colocar encima y cerrar el recipiente. Se utiliza en los laboratorios, principalmente para el cultivo de bacterias y otros microorganismos, solándose cubrir el fondo con distintos medios de cultivo (como el agar) según el microorganismo que se quiera cultivar.

22 Compuesto que permite la formación de una gelatina, obtenido a partir de algas.

obtenidos en este ensayo se convirtieron a porcentaje de severidad, mediante la fórmula de Townsend y Heuberguer (1943). Los resultados se sometieron a un análisis estadístico para detectar diferencias entre los tratamientos; mientras que, para la comparación múltiple entre medias, se recurrió a la prueba de Tukey²³, utilizando un programa estadístico denominado SAS.

RESULTADOS

La metodología empleada para el aislamiento de organismos permitió la obtención de 11 520 aislados. Del número total de aislados del banco, se descongelaron e intentaron reactivar diez mil. De éstos se obtuvo una viabilidad de 95 % de los organismos descongelados: lo que significa que el protocolo utilizado para la conservación de estos organismos es eficiente.

Con las secuencias obtenidas (7000) a la fecha, se han identificado diversos géneros, siendo *Bacillus* el más representado y diverso, encontrándose diferentes especies: *B. megaterium*, *B. cereus*, *B. flexus*, *B. amyloliquefaciens*, *B. pumilus*, *B. licheniformis* y *B. thuringiensis*.

También se obtuvo un buen número de organismos pertenecientes al género *Pseudomonas*, con especies como *P. plecoglossicida* y *P. montellii*. Por otra parte, se encontraron *Paenibacillus* y *Terribacillus*, como géneros representativos perteneciente a los aislados del medio selectivo con lactobacilos.

De igual modo, se ha obtenido un buen grupo de aislados pertenecientes a bacterias endofíticas (internas), siendo éste un grupo muy interesante, pues se alojan dentro del tejido de la raíz y ofrecen una gran ventaja por encima de los otros grupos bacterianos, ya que coexisten con el maíz y se conoce que pueden tener efecto como bioprotectores a enfermedades. Este grupo también permitiría una fácil penetración de las bacterias al interior de las plántulas de maíz, por lo que su persistencia en el ciclo de cultivo debería ser muy buena.

Obtener las secuencias de cada uno de los aislados pertenecientes al banco, proporcionará en el futuro la información para conocer qué géneros y especies están asociados a plantas de maíz sintomáticas y asintomáticas; de esta manera se podrá estudiar la abundancia y distribución de las poblaciones bacterianas en la rizosfera de maíz, así como su relación con los síntomas causados por *Fusarium verticillioides*.

Para realizar los bioensayos planteados en medio líquido tenía que corroborarse por medio de la técnica PCR la identidad de los aislados patogénicos de *Fusarium* que se iban a utilizar. Éstos fueron identificados, hasta nivel de género, por claves taxonómicas; para verificarlo, empleando

²³ La prueba Tukey se usa en experimentos que implican un número elevado de comparaciones.

su huella genética, se realizó una extracción de ADN genómico de los aislados de *Fusarium*. Una vez obtenida la secuencia, se confirmó la identidad de los aislados, probando a nivel de especie que se trata de *Fusarium verticillioides*, confirmando la identidad del agente causal de la fusariosis en maíz en el norte de Sinaloa.

Para la técnica de bioensayos en medio líquido, se realizó una curva de crecimiento de *F. verticillioides*, y así establecer la duración del experimento, la cantidad de inóculo²⁴ y de anticuerpo que deberán utilizarse.

El escrutinio masivo automatizado de los aislados bacterianos permitió evaluar el efecto que ejercen sobre *F. verticillioides*, y su potencial antagónico a este fitopatógeno. Esto ha redundado en obtener cientos de posibles antagonistas con capacidad de controlar el crecimiento de *Fusarium*. A la fecha, después de evaluarse los 11 520 organismos, se han obtenido 621 posibles antagonistas en las pruebas de medio líquido. De éstos, 41 han mostrado antagonismo en medio sólido, resultando 14 potenciales antagonistas que demostraron efecto inhibitorio contra *F. verticillioides*. Al hacer la identificación molecular de estos posibles antagonistas, se observó que pertenecen al género *Bacillus*. De la misma manera, se ha montado la metodología para realizar las siguientes pruebas en plantas jóvenes de maíz, con lo que se asegura el éxito de la siguiente etapa.

El número de potenciales antagonistas es muy elevado, lo que garantiza que en la siguiente etapa encontraremos muy buenos candidatos para continuar la búsqueda de bacterias que controlen la fusariosis del maíz en Sinaloa.

BENEFICIO/COSTO

El beneficio/costo real, con la aplicación de una tecnología como la propuesta, a obtenerse en el proyecto, es difícil de calcular con exactitud. Sin embargo, se presentan dos escenarios posibles a continuación.

El presente ejercicio se llevó a cabo tomando datos del programa de aseguramiento de la empresa Productores Unidos del Río Petatlán (PURP), de Guasave, Sinaloa, que considera un costo de producción aproximado de 13 950 pesos por hectárea, con un rendimiento promedio de 9.15 toneladas por hectárea, (SIAP²⁵-SAGARPA²⁶, 2010).

El supuesto tomado para este cálculo fue la aplicación extra al costo de

²⁴ Cantidad de microorganismo inicial que se emplea para empezar un cultivo del mismo.

²⁵ Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP).

²⁶ Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA).

producción de fungicida sistémico por ataque de *Fusarium* en el cultivo (1000 pesos).

LA RELACIÓN BENEFICIO/COSTO SERÍA DE LA SIGUIENTE MANERA:

Escenario 1

Este escenario (el menos probable) considera que se logra el mismo control de *Fusarium* con la aplicación de un fungicida químico sintético, que con la aplicación del antagonista. Se estima el precio del fungicida en 1000 pesos, más un costo de aplicación de 100 pesos. Se calcula para el antagonista un costo de 350 pesos en total: gastos del producto antagonista comercial (250 pesos) y aplicación (100 pesos). El costo de 250 pesos se toma sobre la base de productos similares, a partir de organismos que no son nativos pero que se encuentran disponibles comercialmente, como inóculo de *Rhizobium meliloti*, *Azotobacter* o *Bacillus*.

La relación de costos, estimando el precio por kilogramo, empleando 1 kg por hectárea, se ilustra de la siguiente forma:

1. Costo total por hectárea, 13 950 pesos.
2. Aplicación del fungicida químico por hectárea, 1100 pesos.
3. Rendimiento por hectárea, 9.15 toneladas.
4. Costo total por tonelada, 15 050 pesos.
5. Costo total por hectárea, 13 950 pesos.
6. Costo aproximado de aplicación del antagonista por hectárea: 350 pesos.
7. Rendimiento por hectárea, 9.15 toneladas.
8. Costo total por hectárea, 14 300 pesos.
9. El beneficio neto por tonelada de maíz producida representaría una disminución en los costos de producción de 5 %.
10. Beneficio neto por tonelada/costo neto por tonelada= $78.14/1630.05=0.048$.
11. Relación beneficio/costo= 0.048 (4.8 %). Si se multiplica esta relación por el 10 % de la superficie sembrada de 590 715 hectáreas (59 071 hectáreas), con un promedio de rendimiento de 9.15 toneladas por hectárea, se habla de 540 505 toneladas, en las que se ahorraría un total de 42.23 millones de pesos en costo de producción, en el estado de Sinaloa.

Sin embargo, este escenario es poco probable que se presente cuando se detecta el problema *Fusarium*, puesto que en una parcela se puede hacer muy poco para revertir los daños. Tomando en cuenta esto, se plantea esta otra posibilidad:

ESCENARIO 2

Se calcula que la aplicación de los organismos como insumos debe ser aproximadamente de 350 pesos por hectárea, comparando los costos de

algunos productos comerciales en el mercado. Este costo puede repercutir en el éxito para obtener la producción completa de maíz esperada. Esto representa para el productor, dependiendo del precio de la tonelada (aproximadamente 2341 pesos) y con un rendimiento de 9.15 toneladas por hectárea, dejar de obtener 21 428 pesos. En este escenario la relación beneficio/costo se expresaría de la siguiente manera:

1. Costo total por hectárea: 13 950 pesos.
2. Aplicación del antagonista por hectárea, 350 pesos.
3. Rendimiento por hectárea: 9.15 toneladas.
4. Costo total por tonelada, 14 300 pesos.
5. Pérdidas totales causadas por *Fusarium*: 21 428 pesos.
6. El beneficio neto por tonelada de maíz cosechada pudiera representar una ganancia hasta del 99 % en los costos de producción.
7. Beneficio neto por tonelada: $21\ 428.57 - 14\ 300 / \text{costo neto por tonelada} = 7\ 128.57 / 1630.05 = 4.37$.
8. Relación beneficio/costo= 4.37. Relación que implica la posibilidad para el productor de percibir ganancias netas de 7128 pesos, en lugar de acumular 21 428 pesos en pérdidas por la inversión en sus costos de producción.

CONCLUSIONES

1. Se ha obtenido el inventario de diez mil microorganismos aislados del suelo de maíz, nativos de Sinaloa, que permitirá la búsqueda de agentes antagonistas a enfermedades del maíz —y de otros cultivos— de Sinaloa.
2. Se han identificado 621 potenciales microorganismos antagonistas de la fusariosis del maíz, de una totalidad de 11 520 aislados que conforman el banco de germoplasma.
3. Se ha identificado molecularmente a *Fusarium verticillioides* como el agente causal de la fusariosis del maíz en el norte del estado de Sinaloa.
4. Se ha montado el ensayo de antagonismo en plántulas de maíz blanco, para continuar en la siguiente etapa del proyecto con la selección de antagonistas a nivel de plántulas de maíz en condiciones de invernadero.

BIBLIOGRAFÍA

Bressan, W. & Fontes-Figueiredo, J. E., 2008. *Efficacy and dose-response relationship in biocontrol of Fusarium disease in maize by Streptomyces spp.* European Journal of Plant Pathology. 120:311-316.

Cavaglieri, L., Orlando, J., Rodriguez, M. I., Chulze, S. & Etcheverry, M., 2005. *Biocontrol of Bacillus subtilis against Fusarium verticillioides in vitro and at the maize root level.* Research in Microbiology 156:748-754.

Pereira P., Nesci A., Etcheverry M., 2007. *Effects of biocontrol agents on Fusarium verticillioides count and fumonisin content in the maize agroecosystem: Impact on rhizospheric bacterial and fungal groups.* Biological control. 42: 281-287.

Quintero-Benítez, José, A. y Apodaca-Sánchez, Miguel, Angel., 2008. *Curso sobre manejo sustentable del maíz.* Los Mochis, Sinaloa.

Shi, T., Reeves, R. H., Gilichinsky, D. A. & Friedmann, E. I., 1997. *Characterization of viable bacteria from Siberian permafrost by 16S rDNA sequencing.* Microbial Ecology 33:169-179.

SIAP-SAGARPA (consultado junio de 2010), disponible en <http://sqm.siap.gob.mx/viocs/>.



FUNDACIÓN PRODUCE SINALOA, A. C.

CONSEJO CONSULTIVO ZONA NORTE Carretera México-Mogalec, km 3509 Tel. (667) 896-18-70 Juan José Fico, Quetzaco Sinaloa, México	OFICINAS CENTRALES Gral. Juan Carrasco No. 757 Rto. Culiacán, Sinaloa, México. Tel./Fax (667) 712-00-16 y 46 Correo electrónico: direcciongeneral@fpa.org.mx divulgacion@fpa.org.mx En Internet: www.fpa.org.mx
--	---

