ESCUELA AGRÍCOLA PANAMERICANA
EL ZAMORANO

CARRERA DE CIENCIA Y PRODUCCIÓN AGROPECUARIA

LABORATORIO DE CONTROL BIOLÓGICO

EVALUACIÓN DE MAÍZ GENETICAMENTE MODIFICADO POWERCORE CON GENES APILADOS MON-89Ø34-3 × DAS-Ø15Ø7-1 × MON-ØØ6Ø3-6, EN HONDURAS 2014.

ROGELIO TRABANINO, M.Sc.
MIGUEL COCOM, Ing. Agr.
ABELINO PITTY, Ph.D.

ZAMORANO
8 DE ABRIL DE 2015

Tabla de Contenido

RESUMEN **4**

INTRODUCCIÓN **5**

OBJETIVOS **7**

MATERIALES Y MÉTODOS **7**

GENERALES DEL EXPERIMENTO 7
Ubicación. *7*
Método de Siembra. *8*
Fertilización. *8*
Riego. *8*
EVALUACIONES DE INSECTOS 8
Aplicaciones de Insecticidas y Fungicidas. *8*
Muestreos de Trampas Pit-fall. *9*
Muestreos de Plantas, Mazorcas y Tallos. *9*
Muestreos de Plantas Enteras. *10*
Expresión de la Toxina. *11*
COSECHA DE ENSAYO DE CULTIVO DE MAÍZ 12
DISEÑO EXPERIMENTAL 13
ANÁLISIS ESTADÍSTICO. 13

EVALUACIONES DE LOS HERBICIDAS GLIFOSATO Y GLUFOSINATO **13**

TRATAMIENTOS. 13
APLICACIÓN DE LOS HERBICIDAS. 13
DETERMINACIÓN DE LA FITOTOXICIDAD 14
DISEÑO ESTADÍSTICO. 14

RESULTADOS Y DISCUSIÓN **14**

EVALUACIONES DE INSECTOS 14
Presencia de larvas de Spodoptera frugiperda. *14*
Daño a las mazorcas por larvas de Helicoverpa zea. *15*
Daño del barrenador mayor del tallo Diatraea saccharalis. *16*
RENDIMIENTO 17
RESULTADOS DE LA DIVERSIDAD DE ARTRÓPODOS EN EL SUELO Y EN EL FOLLAJE 18
Diversidad de artrópodos recolectados en trampas Pit Fall *18*
Diversidad de artrópodos recolectados en muestreos de plantas enteras. *20*
ANÁLISIS DE COSTO Y BENEFICIO 21
ÍNDICE DE IMPACTO AMBIENTAL 22
Ahorro de Agua *25*

RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE HERBICIDAS **25**

EVALUACIÓN DEL CONTROL DE MALEZAS 25
EVALUACIÓN DE LA FITOTOXICIDAD. 29

CONCLUSIONES **30**

BIBLIOGRAFÍA **31**

ANEXOS **33**

Índice de Cuadros

Cuadro 1. Porcentaje de plantas con presencia de larvas de *Spodoptera frugiperda* en el cultivo de maíz por etapa de crecimiento. Zamorano, Honduras, 2014. 15
Cuadro 2. Evaluación del daño y barrenado causado por larvas de *Helicoverpa zea* en mazorcas de maíz Powercore y convencional, a los 81 y 91 días después de siembra (dds). Zamorano, Honduras, 2014..... 16
Cuadro 3. Mediciones de las mazorcas del maíz Powercore y convencional. Zamorano, Honduras, 2014. 16
Cuadro 4. Porcentaje de daño y promedio de galerías ocasionadas por larvas del barrenador mayor del tallo (*D. saccharalis*) en el cultivo de maíz convencional y Powercore. Zamorano, Honduras, 2014. 17
Cuadro 5. Cuadro de rendimientos de producción de maíz en grano al 14% de humedad. Zamorano, Honduras, 2014..... 17
Cuadro 6. Análisis estadístico de los resultados de abundancia, riqueza y diversidad de las poblaciones de insectos recolectados en los muestreos utilizando las trampas Pit Fall. Zamorano, Honduras, 2014..... 19
Cuadro 7. Diversidad de Insectos en las plantas recolectadas durante el ciclo del cultivo. Zamorano, Honduras, 2014..... 20
Cuadro 8. Análisis de Costos, Tasa de Retorno Marginal y Productividad del maíz Powercore y convencional. Zamorano, Honduras, 2014. 22
Cuadro 9. Parámetros y sistema de calificaciones para calcular el coeficiente de Impacto Ambiental EIQ para cada ingrediente activo (Kovach et al., 1992). 23
Cuadro 10. Índice de Impacto Ambiental (IIA) de los agroquímicos empleados en el manejo de campo del maíz convencional en relación al maíz Powercore. 24
Cuadro 11. Porcentaje del control de malezas a los 9, 15, 28 y 43 días después de la aplicación de los herbicidas posemergentes glifosato y glufosinato. Zamorano, Honduras, 2014..... 26
Cuadro 12. Especies de malezas presentes el 28 de agosto de 2014 en los lotes donde no se aplicó ningún herbicida. 26
Cuadro 13. Altura de la planta de maíz (m) y la altura de la inserción de la primera mazorca en el tallo a los 61 días después de la siembra. Zamorano, Honduras, 2014. 30

Índice de Figuras

Figura 1. Diagrama de las Trampas Pit Fall usadas para la recolección de insectos no blanco. Zamorano, Honduras, 2014. 9
Figura 2. Porcentaje de plantas de maíz convencional y Powercore con presencia *de S. frugiperda* durante su etapa vegetativa. Zamorano, Honduras, 2014. 15
Figura 3. Familias de Artrópodos recolectados en trampas Pit Fall. 19
Figura 4. Diversidad de familias de Artrópodos en las plantas. 21
Figura 5. En la parte izquierda se observa muchas malezas, este corresponde al área entre las líneas de maíz que están separadas 1.80m. La parte derecha de la foto es donde iba la cinta de riego y los surcos de maíz estaban separados 50 cm, se observan menos malezas. Zamorano, Honduras, 2014..... 28
Figura 6. Foto de la izquierda, se observa una gran cantidad de malezas creciendo entre las líneas del maíz separadas a 1.80 m, se observa que los surcos del maíz no han sombreado el suelo. Foto de la derecha, pocas malezas creciendo entre los surcos del maíz que están separados 50 cm, el maíz ha sombreado el suelo. Zamorano, Honduras, 2014..... 28

Índice de Fotos

Foto 1. Herramienta utilizada para la toma de muestra de la planta entera de maíz. 10
Foto 2. Muestra de la planta entera después de ser extraída del cuarto frío para extraer los insectos muertos, contarlos e identificarlos. 11
Foto 3. Insectos recolectados de la muestra de plantas enteras puestos en viales con alcohol. 11
Foto 4. Test rápido de Elisa para determinar la presencia de los cinco eventos en el maíz. 12
Foto 5. Toma de muestra para determinar el porcentaje de humedad del grano a la cosecha y cosechadora picando todo el material. 12

Índice de Anexos

Anexo 1. Resultados de la prueba de Elisa para determinar la presencia de los cinco eventos. 33
Anexo 2. Lote Experimental Florencia utilizado para evaluación y divisiones de unidades experimentales. 34
Anexo 3. Escala para la evaluación del daño a la mazorca del maíz- 34
Anexo 4. Relación de prácticas agronómicas y costos relacionados con la producción del maíz convencional y tecnología Powercore. 35

RESUMEN

El cultivo de maíz es uno de los cultivos más importantes en términos de superficie sembrada en Honduras. Por muchos años se han investigado varios métodos para el control de plagas y en los últimos 17 años se han evaluado una serie maíces genéticamente modificados. En el 2008 se realizaron las primeras evaluaciones sobre el Mon 89034, conocido como VTPro y el evento TC 1507. Las evaluaciones fueron realizadas por separado y no apiladas en la misma planta. En este estudio se evaluó un híbrido de maíz amarillo de la empresa Dow AgroSciences para determinar la eficacia de los genes apilados MON-89034-3 × DAS-011507-7 × MON-00603-6 en una superficie de 15 ha para el control de *Spodoptera frugiperda*, *Diatraea saccharalis* y *Helicoverpa zea*, además la eficacia de la aplicación de los herbicidas glifosato y glufosinato. El ensayo fue bajo infestaciones naturales de las plagas en los lotes de Zamorano, Honduras, y se comparó el maíz con tecnología Powercore con un isohíbrido producido convencionalmente. Los resultados mostraron que el maíz Powercore tuvo menos plantas infestadas por *Spodoptera frugiperda* que el maíz convencional. Las mazorcas de maíz Powercore no presentaron daño de *Helicoverpa zea*, pero el maíz convencional presentó 85% de las mazorcas dañadas, el daño fue de 29 mm de largo. Los tallos del maíz convencional tuvieron 7.5% de presencia de daño con un promedio de galería de 16 cm de largo, en comparación con un 0.5% en el maíz Powercore y sin galerías. Los mayores rendimientos se obtuvieron con el maíz Powercore con una diferencia de 0.42 toneladas por hectárea. Los muestreos de artrópodos no blanco recolectados en las trampas Pit Fall no se encontró diferencia significativa entre las poblaciones de artrópodos totales, plagas, enemigos naturales y saprofitos para los parámetros abundancia, riqueza de familias, e índice de Shannon a una probabilidad de ($P< 0.05$) entre los tratamientos Powercore y el Isohíbrido convencional. Los resultados de los muestreos de artrópodos no blancos de planta completa no se encontró diferencia significativa entre las poblaciones de artrópodos totales recolectados, enemigos naturales y saprofitos para los parámetros Abundancia, Riqueza de familias, e índice de Shannon a una probabilidad de ($P< 0.05$) entre los tratamientos Powercore y el maíz convencional. Si se encontró una mayor abundancia de plagas en el maíz convencional en relación al Maíz Powercore significativamente. El Índice de Impacto Ambiental (IIA) de los agroquímicos utilizados para el control de plagas en comparación a las proteínas fueron, para el ingrediente activo clorfenapir un IIA de 58.3 y para zeta-cipermetrina un valor IIA de 31.55 en comparación con 6.7 IIA de las proteínas tóxicas. El glifosato y glufosinato fueron más eficientes en el control de malezas que la aplicación de los herbicidas preemergentes atrazina + pendimetalina. Ninguno de los herbicidas aplicados causó clorosis, quemado, malformaciones ni reducción del crecimiento en el maíz, por lo tanto, el maíz es totalmente tolerante a las dosis evaluados de estos herbicidas. Los costos variables al usar maíz Powercore se redujeron 41% y la productividad se incrementó en 17%, el beneficio neto por hectárea también se incrementó 22% al utilizar maíz con tecnología Powercore. Los resultados confirman el potencial de esta tecnología para el manejo de un complejo de plagas lepidópteras, así como la inocuidad que tiene sobre los insectos no blancos que se encuentran en el suelo y en el follaje. También confirma la tolerancia a los herbicidas

glifosato y glufosinato conferida por los genes CP4 EPSPS y PAT, respectivamente, y el control efectivo de malezas gramíneas y de hoja ancha con los herbicidas glifosato y glufosinato.

Palabras clave: *Diatraea saccharalis*, glifosato, glufosinato, *Helicoverpa zea*, herbicidas, malezas, *Spodoptera frugiperda*, *Zea mays*, Cry1F, Cry2Ab2, Cry1A.105, PAT, CP4EPSPS.

INTRODUCCIÓN

Los productores de maíz en Honduras enfrentan todos los años muchos obstáculos que generalmente no pueden sobrepasar y como causa de eso los rendimientos son muy bajos, los costos de producción son elevados y con rentabilidades muy bajas. La producción nacional en los últimos años no ha sido tan halagadora, de las 330,000 Ha que se sembraron en el 2013, la producción fue de 545,000 toneladas métricas y el país tuvo que importar 435,000 toneladas métricas para suplir su demanda. Esto indica que los rendimientos promedios de la nación fueron de 1.58 toneladas métricas, equivalente a 34 qq por hectárea. Si hacemos una comparación con los rendimientos de los Estados Unidos, en 1961 tenían una producción promedio de 3.92 toneladas métricas por hectárea, equivalente a 78.3 qq, es decir 1.5 veces mayor que la de Honduras y el promedio de Centro América (FAOSTAT).

Estas estadísticas son muy desiguales en el sentido que la producción de maíz en Honduras es muy baja, esto se debe en gran parte a los problemas ocasionados por el complejo de plagas lepidópteras, especialmente *Spodoptera frugiperda*, *Helicoverpa zea* y *Diatraea saccharalis*, cuyo daño de este complejo de larvas puede reducir los rendimientos hasta 40% (Andrews, 1988). Además, favorece la entrada de infecciones fungosas que incrementaran las pérdidas por aflotoxinas que se producen una vez que el grano está listo para comercializarse.

Los daños que ocasionan las larvas de *Diatraea saccharalis*, conocida como barrenador del tallo, causa una reducción en rendimiento considerable, el problema radica que la larva una vez dentro del tallo no es susceptible a los pesticidas sintéticos y por esa razón el agricultor no la puede controlar. Las plantas con daño del barrenador, por lo general, no producen. De igual forma tenemos el daño ocasionado por *Helicoverpa zea* a los granos de la mazorca, que al igual que *Spodoptera frugiperda* dañan los granos y permiten la entrada de hongos y otros insectos como las moscas del género *Euxesta* que pudren gran parte de la mazorca.

Los híbridos basados en los eventos MON 89034-3 × DAS-01507-1 que contienen la proteína Cry1A.105, es una proteína quimérica que contiene los dominios de las proteínas Cry1Ab, Cry1Ac y Cry1F de *Bacillus thuringiensis subsp. Kurstaki*. Por su parte la proteína Cry2Ab2 es miembro de la familia de proteínas Cry2Ab de *Bacillus thuringiensis subsp. Kurstaki.* El gen Cry1Fa2, aislado de *Bacillus thuringiesis var. Aizawai* produce la proteína toxica Cry1F las cuales han demostrado consistentemente eficacia prolongada y alta expresión de las proteínas durante todo el ciclo del cultivo para

las plagas *Spodoptera frugiperda*, *Diatraea saccharalis* y *Helicoverpa zea*. Sin embargo, estos eventos no se han evaluado apilados ni se ha comparado la efectividad de las proteínas PAT y CP4 EPSPS en el mismo híbrido. El evento de transformación NK603 contenido en el maíz genéticamente modificado MON 89034 × TC1507 × NK603 contiene el gen *cp4epsps* que confiere tolerancia a herbicidas conteniendo el ingrediente activo glifosato. El gen *cp4epsps*, obtenido de *Agrobacterium* sp. cepa CP4, codifica para la proteína sintetasa 5-enolpiruvil shikimato 3 fosfato sintetasa, enzima que no es sensible al glifosato, esto permite el desarrollo normal de la planta y mantener sus funciones vitales en presencia de este herbicida (Comisión Europea, 2002). Gracias a la excelente tolerancia a glifosato, el control de malas hierbas puede realizarse de forma más sencilla, aplicando el herbicida cuando se amerita, generalmente pocas semanas después de germinar el cultivo.

Según los datos de la OMS (Organización Mundial de la Salud) del 2002, más de 800 mil personas en el mundo mueren prematuramente cada año y millones sufren enfermedades respiratorias y cardiovasculares debido a la contaminación del aire. La contaminación más común son las partículas derivadas del petróleo y los agroquímicos asperjados en los cultivos entre otros. La universidad de Cornell de NewYork USA desarrolló un nuevo concepto llamado Índice de Impacto Ambiental IIA que promueve cuantificar mediante un índice el riesgo a la salud y el medio ambiente por el uso de los plaguicidas. Se determinó el Índice de Impacto Ambiental para los insecticidas utilizados y se estimó la reducción de compuestos inorgánicos gaseosos con mayores efectos potenciales adversos en la salud humana al no utilizar combustible para equipos de aspersión para el control de plagas en los cultivo genéticamente modificados.

El evento de maíz DAS-01507-1, contenido también en el maíz genéticamente modificado MON 89034 × DAS-1507-1 × MON-00603, contiene el gen PAT dentro de su construcción genética, este gen codifica la proteína PAT (fosfinotricina acetil transferasa) (Barbour *et al*., 2008). La proteína fosfinotricina acetitransferasa (PAT) confiere tolerancia al glufosinato de amonio. La enzima PAT cataliza la conversión de fosfonitrocina-L, el ingrediente activo del glufosinato de amonio, a una forma inactiva y por lo tanto desintoxica a la planta de maíz, del herbicida glufosinato de amonio. El gen PAT, que confiere la tolerancia al herbicida glufosinato de amonio, fue insertado en la construcción genética del evento DAS-01507-1 como parte del evento apilado MON-89034-3 × DAS- 01507-1 × MON-00603-6, solamente como gen marcador de selección (Barbour *et al*., 2008).

La línea de maíz MON 89034 × TC1507 × NK603 ofrece al productor una herramienta simple, altamente efectiva y benigna desde el punto de vista ambiental, para controlar las plagas que lo afectan y para facilitar y mejorar el manejo del cultivo ya que es utilizado para la protección contra insectos lepidópteros y con tolerancia a herbicidas cuyo ingrediente activo es el glifosato y glufosinato de amonio.

OBJETIVOS

Evaluar la eficacia de los eventos Cry1F, Cry1A.105 y Cry2Ab2 contra *Spodoptera frugiperda*, *Diatraea saccharalis* y *Helicoverpa zea*.

Determinar el porcentaje de daño y el rendimiento bajo la presión de las infestaciones naturales ocasionadas por *Spodoptera frugiperda*, *Diatraea saccharalis* y *Helicoverpa zea* al material con MON 89034-3 × DAS 01507-1 × MON 00603-6

Determinar el porcentaje de daño y los promedios de rendimientos bajo la presión de las infestaciones naturales ocasionadas por *Spodoptera frugiperda*, *Diatraea saccharalis* y *Helicoverpa zea* al maíz sin evento, el cual llevará aplicaciones normales de insecticidas para estas plagas que no afectarán el desarrollo ni resultados de este estudio.

Determinar el efecto de las proteínas sobre la presencia de insectos no blancos en los tratamientos.

Identificar las poblaciones de artrópodos e insectos plaga y no plaga presentes a lo largo del ciclo de cultivo del maíz Powercore y el maíz convencional.

Generar información costo/beneficio al utilizar el maíz Powercore para el control de insectos objetivo, en comparación con el híbrido del maíz convencional, considerando rendimiento, costos de producción (ejemplo: insumos, maquinaria, mano de obra, etc.) impacto al ambiente en el uso y tipo de insecticidas.

Evaluar la eficacia de los eventos PAT y CP4 EPSPS, proteínas que confieren tolerancia a glufosinato de amonio y glifosato, respectivamente, sobre el control de malezas y la susceptibilidad a los herbicidas.

Demostrar que las prácticas comerciales comunes en el cultivo de maíz, son adaptables, eficientes y/o adecuadas para el manejo del maíz Powercore.

MATERIALES Y MÉTODOS

GENERALES DEL EXPERIMENTO

Ubicación.

El estudio se realizó en los lote de producción denominado Florencia I y II de la Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano, ubicada en el valle del río Yeguare, departamento de Francisco Morazán, Honduras. El sitio está a 30 km al este de Tegucigalpa, 14° latitud

norte, 87° longitud oeste (Anexo 1), a 800 msnm, la precipitación promedio anual es de 1200 mm y la temperatura promedio anual de 23°C.

Método de Siembra.

La preparación del terreno consistió de un pase de arado y dos pases de rastra. Se sembró con una sembradora Baldan con disparador de disco, el 9 y 10 de agosto de 2014. El 9 de agosto se sembraron las parcelas que tenían el isohíbrido (maíz convencional) y el 10 la siembra de los lotes con el maíz Powercore.

Se sembró en lotes usados para la producción de sandía y cuyo sistema de goteo tiene las líneas o las mangueras del riego por goteo separadas 2.30 m. El maíz se sembró siguiendo este sistema de riego por goteo. A ambos lados de cada línea de goteo se sembró un surco a 25 cm de la línea de goteo, así que entre los dos surcos habían 50 cm de separación; así que unos surcos adyacentes estaban separados 1.80 m y otros 50 cm. Se sembró a una densidad de 57,500 plantas por hectárea. Las semillas fueron colocadas a 19.30 cm entre ellas.

Fertilización.

Se fertilizó al momento de la siembra con 300 kg/ha del fertilizante 18-46-0; y a los 30 días después de la siembra se aplicaron 68 kg de KCl y 136 kg de urea por hectárea a través del sistema de riego por goteo.

Riego.

Se instaló un riego por goteo con cinta de 6 mm de grosor con goteros espaciados a 15 cm, con una descarga de un 3.8 L por metro por hora.

EVALUACIONES DE INSECTOS

Se evaluaron los siguientes tratamientos:

Tratamiento 1 = Maíz Powercore

Tratamiento 2 = Maíz convencional

Cada unidad experimental tenía un tamaño variado pero entre 18,000 y 20,000 metros cuadrados, el área total del experimento fue de 15 Ha, de las cuales 7.5 Ha fueron sembradas con cada tratamiento (Anexo 2).

Aplicaciones de Insecticidas y Fungicidas.

Al momento de la siembra para resguardar la semilla, especialmente contra las hormigas e insectos cortadores se trató con bifentrina (Brigadier 0.3 G), el cual controla insectos del suelo, se utilizó 0.15 L/ha. Posteriormente se aplicaron los insecticidas Zeta cipermetrina (Mustang Max 12EC) a razón de 0.4 L/ha, forato (Thimet 10 Gr) y Chlorfenapyr (Sunfire 24 SC). La aplicación del Chlorfenapyr fue la única que se realizó con bombas de mochila debido a que el cultivo se encontraba muy alto y la entrada con equipo tractorizado fue imposible .

Se aplicaron los fungicidas Epoxiconazole + carbendazin (Duett 25 SC) y Triazol + Strobirulina (Nativo 75 WG) para el control de la mancha de asfalto (*Phyllachora*

maydis) en ambos tratamientos. La aplicación fue necesaria debido a que ninguno de los materiales genéticos es resistente a dicha enfermedad.

Muestreos de Trampas Pit-fall.

Se colocaron cuatro trampas de caída libre (pit-fall traps) en el suelo en cada unidad experimental para el muestreo de los insectos no objetivo, estas trampas permanecían en el campo 8 días (Figura 1). Las trampas de caída libre fueron colocadas al azar en cada unidad experimental y consistieron en usar envases plásticos a los cuales se les colocaban 100 mL de refrigerante (coolant) con el objetivo de mantener intactos y flotando a los insectos recolectados y un techo para evitar la entrada de agua de lluvia. El muestreo o la recolección de los insectos de cada trampa fue cada 8 días y consistió extraer el líquido de cada contenedor, el líquido era colocado en envases de vidrio con su respectiva nomenclatura para luego ser transportados al laboratorio para su identificación. Las trampas se colocaron por 10 semanas.

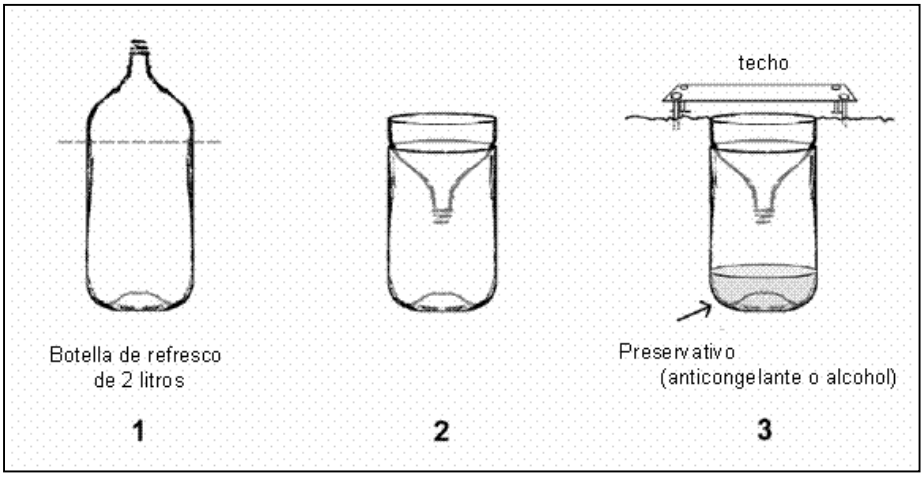


Figura 1. Diagrama de las Trampas Pit Fall usadas para la recolección de insectos no blanco. Zamorano, Honduras, 2014.

Muestreos de Plantas, Mazorcas y Tallos.

Los muestreos foliares se realizaron dos veces por semana durante todo el ciclo del cultivo para evaluar la presencia de las larvas de *S. frugiperda*. En los muestreos se seleccionaron 10 sitios al azar en cada unidad experimental y en cada sitio se observaron 10 plantas para un total de 100 plantas para determinar el porcentaje de plantas infestadas con presencia de larvas de *S. frugiperda*.

Para determinar la población y daño de *Helicoverpa zea*, a los 81 y 91 días después de la siembra (dds) se tomaron datos, se extrajeron 25 mazorcas de cada unidad experimental, estas se abrieron y determinó la presencia o ausencia de larvas de *Helicoverpa zea*. Se evaluó el nivel de daño según escala de daño elaborada por Windstrom, N.W. en 1967 (Windstrom, 1967).

En el muestreo de la mazorca se tomaron datos fenotípicos de la mazorca, largo, diámetro, número de granos y filas por mazorca. El muestreo de los tallos de las plantas de maíz se realizó a la cosecha evaluando 100 tallos tomados al azar por unidad experimental, los tallos se abrieron longitudinalmente en búsqueda de galerías y/o presencia de larvas del barrenador del tallo *Diatraea lineolata*. En el caso de encontrar galerías o túneles, estos fueron medidos.

Muestreos de Plantas Enteras.

Se iniciaron a los 37 dds y se terminaron a los 86 dds; se colocó una bolsa plástica dentro de un barril plástico (Foto 1), de acuerdo al tamaño de la planta, para cubrir completamente la planta la cual una vez dentro del barril se cortaba a ras del suelo para luego amarrar la bolsa y no dejar escapar ningún insecto que se encontrara en la planta. Una vez recolectadas, las muestras fueron almacenadas en un cuarto frío a 4 ºC por 3 días para que los insectos murieran. Las plantas luego eran sacadas de las bolsas plásticas para extraer los insectos allí presentes (Foto 2) y preservarlos en alcohol (Foto 3). Se tomaron en total 32 muestras por tratamiento y el muestreo se realizo 2 veces por semana.

Foto 1. Herramienta utilizada para la toma de muestra de la planta entera de maíz.

Foto 2. Muestra de la planta entera después de ser extraída del cuarto frío para extraer los insectos muertos, contarlos e identificarlos.

Foto 3. Insectos recolectados de la muestra de plantas enteras puestos en viales con alcohol.

Expresión de la Toxina.

Para evaluar la presencia de los genes se realizó un bioensayo para determinar la expresión de las proteínas insecticida y herbicida de la planta a través de un test rápido de Elisa (Foto 4). Esta prueba se realizó a los 29 y 60 dds, se analizaron 10 plantas recolectadas al azar de cada unidad experimental. Se cortó la hoja más cerca al cogollo y de cada una se recortaron piezas de 0.5 × 0.5 cm y se colocaron en un tubo Eppendorf, luego se les agregó 0.5 mL de la solución buffer y se maceró el tejido. Una vez macerado, el tejido se introdujo el immunostrip para detectar presencia o ausencia de la proteína.

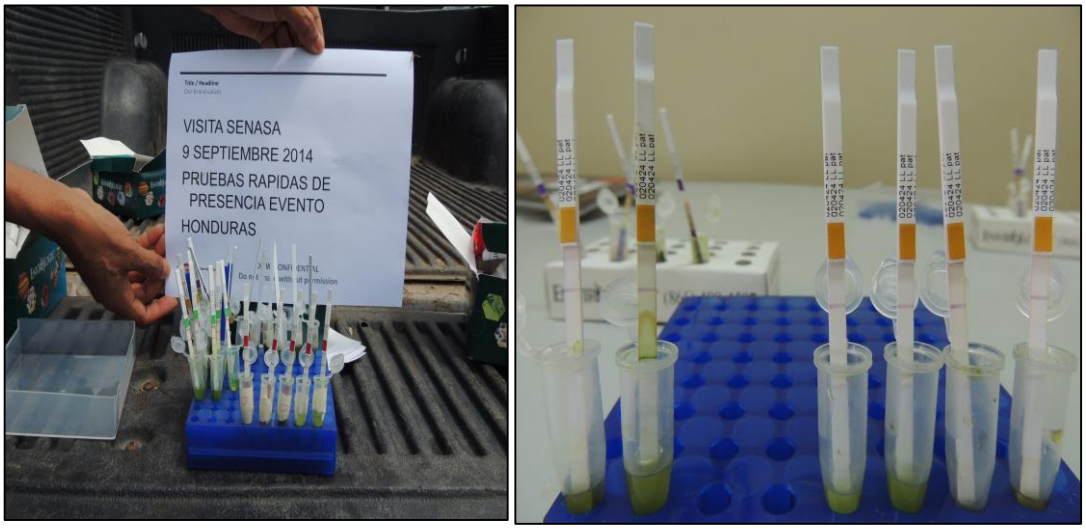


Foto 4. Test rápido de Elisa para determinar la presencia de los cinco eventos en el maíz.

Cosecha de ensayo de cultivo de maíz

La cosecha fue el 24 de noviembre del 2014, a los 107 dds. De cada unidad experimental se cosechó un surco doble de 10 m lineales en 10 sitios tomados al azar (Foto 5), para un total de 800 metros lineales por tratamiento. El maíz se cosechó con una humedad de 37%, la cual se estandarizó a 14% para los cálculos del rendimiento según la siguiente fórmula.

Fórmula para estandarizar humedad **Pf = Pi (100 – Hi / 100 – Hf)**

Pf = Peso final

Pi = Peso inicial

Hi = Humedad inicial

Hf = Humedad final

Foto 5. Toma de muestra para determinar el porcentaje de humedad del grano a la cosecha y cosechadora picando todo el material.

Diseño Experimental.

El área sembrada para el estudio fue de 150,000 m^2. Se diseñó con cuatro repeticiones y dos tratamientos con un total de ocho unidades experimentales, las cuales fueron ubicadas en un diseño de Bloques Completamente al Azar (BCA). Cada unidad experimental tenía tamaño diversos por la dimensión del terrero, el promedio fue de 18,000 m^2 por unidad experimental del maíz Powercore y de 19,000 m^2 el tratamiento del maíz convencional.

Análisis Estadístico.

Se realizó un Análisis de Varianza (ANDEVA) usando un Modelo Lineal General (GLM) y una separación de medias Duncan con una probabilidad ($P \leq 0.005$), usando el programa SAS para el análisis de los datos.

EVALUACIONES DE LOS HERBICIDAS GLIFOSATO Y GLUFOSINATO

Tratamientos.

Cada lote sembrado con el maíz Powercore y usado en la evaluación de insectos fue divididos por la mitad y a cada mitad se le asignó el herbicida glifosato o glufosinato. Se aplicaron los siguientes tratamientos:

1. Híbrido Sin Evento y aplicación preemergente de los herbicidas atrazina (Gesaprim® 90 WG a 1.20 kg/ha) + pendimetalina (Prowl® 50 EC a 3.0 L/ha) al momento de la siembra.
2. Híbrido Powercore y aplicación posemergente del herbicida glifosato (Roundup Max® 68 SG a 1.8 kg/ha) durante el estado fenológico del maíz V4 - V6.
3. Híbrido Con Evento y aplicación posemergente del herbicida glufosinato (Basta® 15 SL a 2.5 L por hectárea) durante el estado fenológico del maíz V4 - V6.

Aplicación de los Herbicidas.

Los herbicidas preemergentes fueron aplicados el 12 de agosto con un tractor y bomba de aplicación, las boquillas eran teejet 8003. Se aplicó a 260 L/ha, los herbicidas aplicados fueron atrazina (Gesaprim® 90 WG a 1.20 kg/ha) y pendimetalina (Prowl® 50 EC a 3.0 L/ha). Los herbicidas posemergentes fueron aplicados el 28 de agosto con el mismo equipo de aplicación y con 265 L/ha de agua. Se aplicó glifosato (Roundup Max® 68 SG a 1.8 kg/ha) y glufosinato (Basta® 15 SL a 2.5 L/ha).

En todos los lotes se dejaron cuatro parcelas con un área aproximada de 80 m^2 sin aplicarles herbicidas, estas fueron los testigos contra los que se comparó el control de malezas y la fitotoxicidad al maíz. Se determinó la eficacia de los herbicidas a los 9, 15, 28 y 43 días después de la aplicación de los herbicidas posemergentes. La evaluación fue visual con una escala porcentual (0-100%), donde 0% es que las malezas no fueron

afectadas y 100% que fueron completamente eliminadas (Australian Weeds Committee, 1979).

Determinación de la Fitotoxicidad.

Se determinó la fitotoxicidad (porcentaje de clorosis, porcentaje de plantas malformadas y porcentaje de reducción visual del crecimiento) a los 9 y 28 días después de la aplicación de los herbicidas posemergentes. La evaluación fue visual con una escala porcentual (0-100%), donde 0% es que el maíz no fue afectado y 100% que fue completamente dañado. Las plantas de maíz en las áreas que se dejaron sin aplicación de herbicidas se consideraban con 0% de daño (Australian Weeds Committee, 1979).
En cada parcela se midió la altura de 100 plantas de maíz, se midió de la base del suelo hasta el extremo distal del raquis de la inflorescencia masculina. También se midió la altura de inserción en el tallo de la mazorca más alta (en caso de tener más de una mazorca). Ambas mediciones fueron a los 61 dds.

Diseño Estadístico.

En todas las evaluaciones el análisis fue un diseño de bloques randomizados con tres tratamientos y cuatro réplicas, la separación de medias fue con la prueba de Tukey al 5%. En ninguno de los análisis se usaron los lotes que se dejaron como testigos sin aplicación de herbicidas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

EVALUACIONES DE INSECTOS

Presencia de larvas de *Spodoptera frugiperda.*

El tratamiento de maíz Powercore presentó los porcentajes de plantas infestadas más bajos durante los muestreos en todo el ciclo vegetativo del maíz, se encontró menos plantas con presencia de larvas de *S. frugiperda*, en comparación con la cantidad de plantas infestadas en el tratamiento de maíz convencional (Cuadro 1). La mayor presión de *S. frugiperda* fue durante la etapa de V9-V10. Se realizaron dos aplicaciones de insecticidas en el tratamiento de maíz convencional para el control de *S. frugiperda*, la primera fue durante la etapa V2-V8 y la segunda en la etapa V9-V10, por lo cual el promedio de larvas se nota bastante disminuido. No se aplicaron insecticidas en el maíz Powercore en ninguna etapa.

La población de *S. frugiperda* tuvo tres crestas que sobrepasaron el nivel crítico de 20% de infestación utilizado comercialmente en Honduras, por lo cual en esta etapa se realizaron dos aplicaciones de insecticidas, la primera con el insecticida Zeta-Cipermetrina y la segunda con el insecticida Chlorfenapyr (Figura 2). Además, la población de *S. frugiperda* en el maíz Powercore se mantuvo abajo del 5% y las larvas encontradas fueron siempre de estadios iniciales indicando que no se desarrollaron.

Cuadro 1. Porcentaje de plantas con presencia de larvas de *Spodoptera frugiperda* en el cultivo de maíz por etapa de crecimiento. Zamorano, Honduras, 2014.

Tratamientos	Etapas de crecimiento vegetativo		
	V2 a V8	V9 a V10	V11 a VT
Maíz Powercore	0.6 b[§]	2.9 b	0.8 b
Maíz convencional	13.6 a	14.5 a	12.8 a
Probabilidad	0.0004	0.0001	0.0001

[§] Medias en la misma columna con letras diferentes indican que hubo diferencias significativas

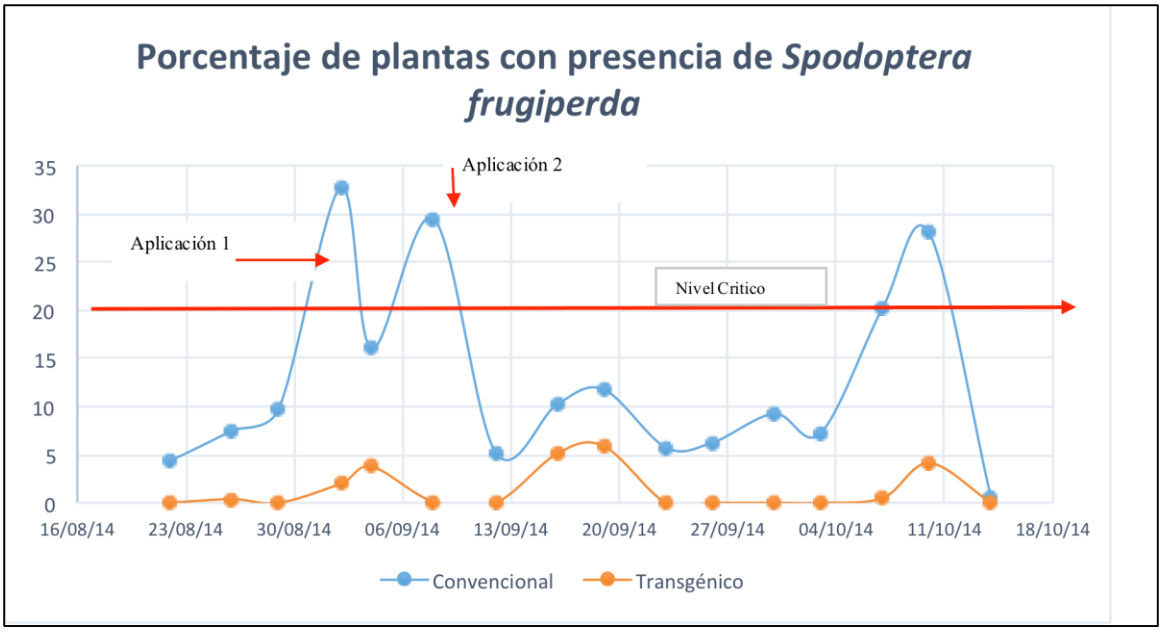


Figura 2. Porcentaje de plantas de maíz convencional y Powercore con presencia *de S. frugiperda* durante su etapa vegetativa. Zamorano, Honduras, 2014.

Daño a las mazorcas por larvas de *Helicoverpa zea*.

El 85% de las mazorcas evaluadas en el tratamiento de maíz convencional tenían presencia de larvas de *H. zea* a los 81 y 91 dds (cuadro 2). Las mazorcas del maíz convencional evaluadas a los 81 dds presentaron un barrenado en la mazorca promedio de 27.17 mm de largo, significativamente mayor que el barrenado ocasionado en las mazorcas del maíz Powercore las cuales no presentaron barrenado. A los 91 dds hubo la misma tendencia, las mazorcas de maíz convencional tuvieron mayor barreno (32.10 mm de largo por mazorca), comparado con mazorcas sin barrenado en el maíz Powercore.

Cuando utilizamos las escala de Windstrom para evaluar el daño ocasionado, se observa que las mazorcas de maíz convencional tenían una escala de daño de 2.54 y el máximo valor en la escala de Windstrom es de 3.00. En cambio, el maíz Powercore tuvo 0.00 de daño en esta escala lo cual nos indica que el control de las larvas de *H. zea* fue total (Tabla Windstrom en anexo 3).

Cuadro 2. Evaluación del daño y barrenado causado por larvas de *Helicoverpa zea* en mazorcas de maíz Powercore y convencional, a los 81 y 91 días después de siembra (dds). Zamorano, Honduras, 2014.

Tratamientos	dds	Daño (mm)	Mazorcas dañadas	Escala Windstrom
Maíz Powercore	81	0.00 b[§]	0.00 b	0.00 b
Maíz convencional	81	27.17 a	0.85 a	2.37 a
Probabilidad		0.0001	0.0001	0.0010
Maíz Powercore	91	0.00 b	0.00 b	0.00 b
Maíz convencional	91	32.10 a	0.85 a	2.54 a
Probabilidad		0.0001	0.0001	0.0001

[§] Medias en la misma columna con letras diferentes indican que hubo diferencias significativas

Las mazorcas del maíz convencional tuvieron mayor largo que las mazorcas del maíz Powercore, debido principalmente a que la densidad de plantas en este tratamiento fue menor que en el maíz Powercore (Cuadro 3). No se observaron diferencias significativas para diámetro de la mazorca, número de filas por mazorca, granos por fila ni granos totales por mazorca, entre los tratamientos.

Cuadro 3. Mediciones de las mazorcas del maíz Powercore y convencional. Zamorano, Honduras, 2014.

Tratamientos	Largo (cm)	Diámetro (cm)	Filas de granos	Granos por filas	Granos por mazorca
Maíz Powercore	19.00 b[§]	56.65	17.11a	38.92	672
Maíz convencional	20.57 a	49.97	16.54 b	39.29	649
Probabilidad	0.001	0.4075	0.163	0.311	0.207

[§] Medias en la misma columna con letras diferentes indican que hubo diferencias significativas

Daño del barrenador mayor del tallo *Diatraea saccharalis*.

El promedio de plantas dañadas fue bien bajo en el maíz Powercore (0.50%), comparado con el maíz convencional (7.5%). Es importante hacer notar que las aplicaciones que van dirigidas a la población de *S. frugiperda* ayuda a reducir las poblaciones de *D. saccharalis*, según datos recolectados en ensayos anteriores. Se aprecia que las galerías ocasionadas por las larvas de *D. saccharalis* fueron significativamente mayor de 16 cm

de largo en promedio en el maíz convencional en cambio en el maíz Powercore no se encontraron galerías, lo que indica que las larvas murieron antes que ocasionaran daño al tallo.

Cuadro 4. Porcentaje de daño y promedio de galerías ocasionadas por larvas del barrenador mayor del tallo (*D. saccharalis*) en el cultivo de maíz convencional y Powercore. Zamorano, Honduras, 2014.

Tratamientos	Presencia de *D. Saccharalis* (%)	Longitud de galerias por *D. saccharalis* (cm)
Maíz Powercore	0.50 a[§]	0 a[§]
Maíz convencional	7.50 b	16.56 b
Probabilidad	0.0001	0.0001

[§] Medias en la misma columna con letras diferentes indican que hubo diferencias significativas

Rendimiento

El maíz Powercore tuvo un rendimiento significativamente mayor que el maíz convencional en 0.42 toneladas equivalente a 9.5 qq/ha lo que representa un 6% de incremento al compararlo con el maíz convencional (Cuadro 5). Esta diferencia en rendimiento ocasionada principalmente por las altas poblaciones de los insectos evaluados. Es importante mencionar que el maíz convencional presentó más malezas significativamente por unidad de área que el maíz Powercore durante todo el ciclo del cultivo (Cuadro 9), la alta presencia de malezas en el maíz convencional pudo incidir también en la reducción del rendimiento. De igual forma, la cantidad de plantas de maíz sembradas se redujo en el maíz convencional (Cuadro 5), aunque ambos tratamientos fueron sembrados a la misma densidad de 57,500 plantas por hectárea. Esta merma en densidad pudo ser ocasionada por daño de cortadores o insectos del suelo que no fueron contabilizados. Otra posible causa de la reducción en la densidad de las plantas en el maíz convencional puede estar muy ligada a que la semilla del maíz convencional quedó muy superficial en el suelo y pudo haber entrado en contacto directo con el herbicida Pendimentalina (Prowl). Cuando la semilla entra en contacto con este herbicida hay daño al sistema radical debido a que la mitosis es afectada y muchas veces la planta muere (BASF 2001).

Cuadro 5. Cuadro de rendimientos de producción de maíz en grano al 14% de humedad. Zamorano, Honduras, 2014.

Tratamientos	Mazorca por planta	Plantas/ha	kg/ha	Toneladas/ha	Quintales/ha
Maíz Powercore	1.00 b[§]	57,505 a	7049.9 a	7.04 a	155.45 a
Maíz convencional	1.06 a	48,576 b	6620.0 b	6.62 b	145.97 b
Probabilidad	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001

[§] Medias en la misma columna con letras diferentes indican que hubo diferencias significativas

Resultados de la diversidad de artrópodos en el suelo y en el follaje

La diversidad de los artrópodos en el suelo y en el follaje se puede ver reflejada en el cuadro 6 y 7, en los cuales se detalla la composición específica de la comunidad total de artrópodos (insectos totales), enemigos naturales, saprófitos y plagas de cada método o herramienta de muestreo utilizados.

Diversidad de artrópodos recolectados en trampas Pit Fall

Los insectos recolectados en las trampas Pit Fall fueron procesados e identificados en el museo de insectos de la Universidad de Zamorano. Los datos recolectados del suelo durante el período del 2 de septiembre al 4 de noviembre 2014, se obtuvieron de la recolecta de las trampas por 11 semanas consecutivas. Los artrópodos recolectados fueron categorizados por grupos funcionales y luego analizados en el programa SAS utilizando una separación de medias usando Duncan y un análisis de varianza GLM con un grado de significancia menor al 0.05 para los parámetros de Índice de Diversidad de Shannon-Wiever, Abundancia y Riqueza de familias.

Al comparar los artrópodos recolectados con las trampas Pit Fall (Cuadro 6), no se encontró diferencia significativa entre las poblaciones de artrópodos totales, plagas, enemigos naturales y saprófitos para los parámetros Abundancia, Riqueza de Familias, e Índice de Shannon-Wiever a una probabilidad de $P< 0.05$ entre el maíz Powercore y el maíz convencional. Esto nos indica que al utilizar la tecnología Powercore no tiene ningún impacto negativo sobre la población de artropodos no blancos recolectados en las trampas pit fall.

Los índices de diversidad, en este caso Shannon-Wiever, se utilizan para evaluar la biodiversidad específica de una población, este dato se presenta por un número positivo entre el rango 0.5 a 3.0 siendo el número 3 una población diversa con la misma cantidad de insectos de diferentes familias y 0.5 una población con unas familias de insectos dominantes. Como se aprecia en el Cuadro 6 el valor del índice de Shannon-Wiever estuvo arriba de 2.0 en el tratamiento de maíz Powercore y 1.92 en maíz convencional, en todos los grupos funcionales lo que indica que la población encontrada son igualmente diversas en ambos tratamientos lo cual nos hace concluir que la tecnología de maíz Powercore no tiene ningún impacto sobre la diversidad de especies recolectadas en este ensayo. Si comparamos los grupos funcionales individualmente vemos que las plagas encontradas en el maiz convencional presentaron mayor cantidad de familias y en abundancia mayor que las plagas encontradas en el maíz Powercore significativamente. Los enemigos naturales encontrados en ambos tratamientos no mostraron diferencias en ambos tratamientos. En cuanto a los saprofitos podemos observar que se encontraron mayor cantidad de saprofitos en las trampas colocadas en el maiz convencional que el maiz Powercore significativamente y no se encontraron diferencias en la riqueza de familias recolectadas. Se reporta que no hay efectos destructivos sobre los enemigos naturales, saprófitos y plagas en las trampas de Pit Fall de los tratamientos de maíz Powercore.

En la Figura 3 se evidencia fácilmente cuatro familias de insectos dominantes que son: Carabidae, Formicidae, Scarabaeidae y Gryllidae, estas familias fueron las más abundantes en las trampas Pit Fall. Estos datos son muy similares a los reportados por Al-Deeb y Wilde en 2003.

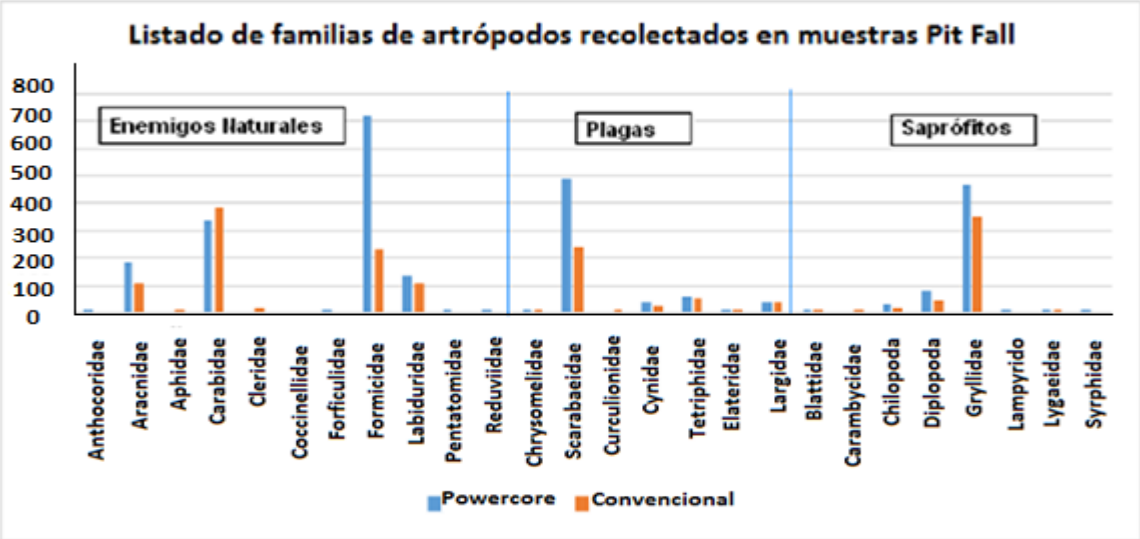


Figura 3. Familias de Artrópodos recolectados en trampas Pit Fall.

Cuadro 6. Análisis estadístico de los resultados de abundancia, riqueza y diversidad de las poblaciones de insectos recolectados en los muestreos utilizando las trampas Pit Fall. Zamorano, Honduras, 2014.

Artrópodos totales	Abundancia	Riqueza	Índice Shannon-Wiever
Maíz Convencional	134.83	9.25	1.92
Maíz Powercore	108.75	8.87	2.2
Probabilidad	0.2015	0.4829	0.567
Plagas			
Maíz Convencional	29.67a	3.08a	0.7296
Maíz Powercore	26.41 b	2.58 b	0.6633
Probabilidad	0.05137	0.0693	0.4339
Enemigos Naturales			
Maíz Convencional	70.67	3.75	0.8807
Maíz Powercore	57.71	3.7	0.9538
Probabilidad	0.4203	0.8988	0.7507

Saprófitos			
Maíz Convencional	34.41a	2.41	0.3041
Maíz Powercore	24.62 b	2.58	0.5738
Probabilidad	0.0811	0.5166	0.075

Diversidad de artrópodos recolectados en muestreos de plantas enteras.

Se realizaron 15 muestreos de plantas enteras, cada muestreo era constituido de 10 plantas por unidad experimental durante el periodo del 14 de septiembre al (37 dds) al 28 de octubre 2014.

Al igual que con los muestreos de las trampas Pit Fall, los artrópodos recolectados fueron categorizados por grupos funcionales y luego analizados en el programa SAS utilizando una separación de medias Duncan y un análisis de varianza GLM con un grado de significancia menor al 0.05 para los parámetros de Índice de Diversidad de Shannon-Wiever, Abundancia y Riqueza de familias.

Al comparar los artrópodos recolectados de las muestras de plantas enteras (Cuadro 7), no se encontró diferencia significativa entre las poblaciones de artrópodos totales recolectados, enemigos naturales y saprófitos para los parámetros Abundancia, Riqueza de familias, e Índice de Shannon-Wiever a una probabilidad de P< 0.05 entre el maíz Powercore y el maíz convencional, lo que nos indica claramente que la tecnologia Powercore no tiene ningun impacto sobre la población de artropodos recolectados en las plantas muestreadas. Sí se encontró significativamente mayor Abundancia de plagas en el maíz Convencional en relación al maíz Powercore lo que nos indica que la tecnologia Powercore reduce significativamente la abundancia de plagas lo mismo se encontró que el Índice de Shannon-Wiever o la diversidad de plagas encontradas fueron significativamente mayores en el maíz Convencional.

Cuadro 7. Diversidad de Insectos en las plantas recolectadas durante el ciclo del cultivo. Zamorano, Honduras, 2014.

Artrópodos totales	Abundancia	Riqueza	Índice Shannon-Wiever
Maíz Convencional	40.66	10.07	1.67
Maíz Powercore	43.8	10	1.8
Probabilidad	0.6321	0.9172	0.1793
Plagas			
Maíz Convencional	27.33a	5	1.67a
Maíz Powercore	22.86 b	4.83	1.19 b
Probabilidad	0.0236	0.6253	0.0001

Enemigos Naturales			
Maíz Convencional	11.46	3.07	0.73
Maíz Powercore	19.43	3.5	1.03
Probabilidad	0.2106	0.3046	0.0594
Saprófitos			
Maíz Convencional	1.86	1	0.17
Maíz Powercore	1.67	0.733	0.15
Probabilidad	0.7089	0.2649	0.7851

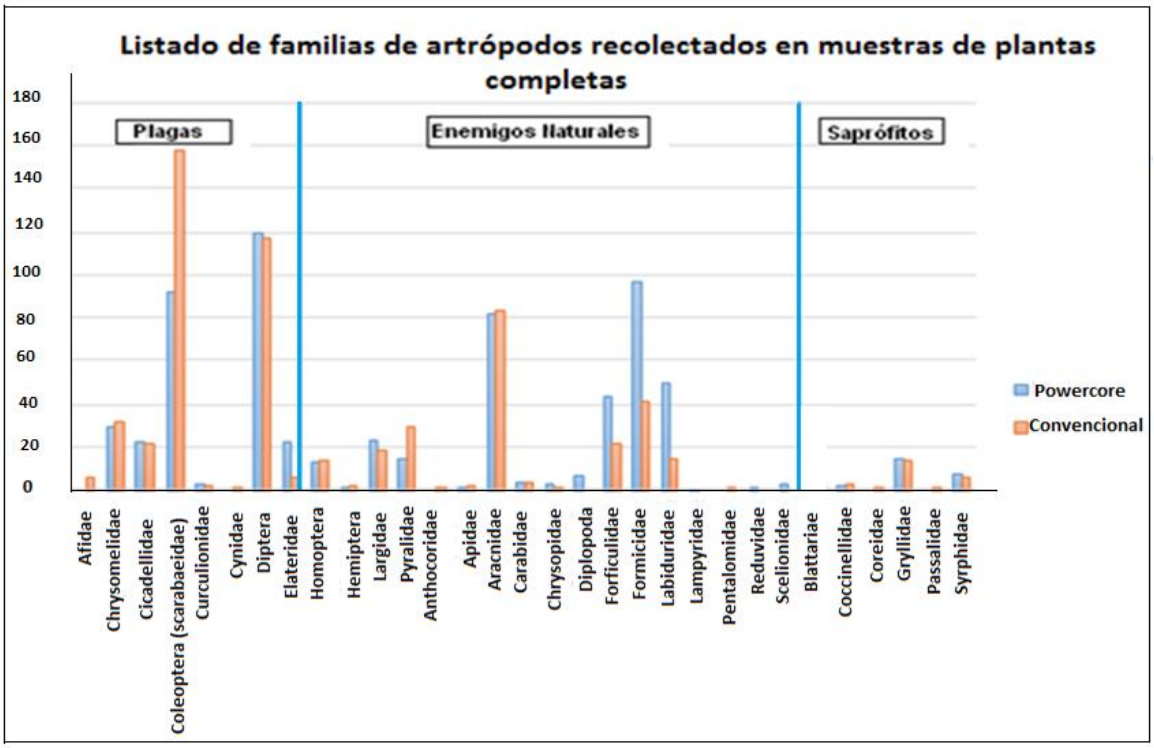


Figura 4. Diversidad de familias de Artrópodos en las plantas.

Análisis de Costo y Beneficio.

Al realizar el análisis de costos de la productividad de maíz Powercore y el maíz Convencional se aprecia un incremento en el costo de la semilla de maíz genéticamente modificado en comparación a la semilla de maíz convencional de $73.82, esto representa un 34% de incremento en el costo de la semilla (Cuadro 8). Los costos variables, que incluyen los agroquímicos para proteger el cultivo del daño de insectos, enfermedades y malezas se redujeron en el maíz Powercore en $283.75 por hectárea, lo que representa un 41% menos que los costos utilizados en el tratamiento de maíz Convencional.

La productividad (Rendimiento/costos variables) se incrementó en un 17% como efecto de tener mayor producción y menor costos variables por hectárea al usar maíz Powercore. De igual forma, el beneficio neto en el tratamiento maíz Powercore, se incrementó en 22%. En conclusión, debido a que la tecnología genéticamente modificada Powercore, tiene costos que varían menores y los benéficos netos son mayores, la tasa de retorno marginal es 163.5%. Esto significa que por cada dólar menos que se invierte al utilizar la tecnología de maíz Powercore en comparación a la de maíz Convencional ($283.75 es la diferencia en los costos que varían) se recupera el dólar invertido más 1.63 dólares adicionales. Existe un incremento marginal de $747.62 al utilizar la tecnología de maíz Powercore por hectárea. (ver anexo 4 detalle de costos de ambas tecnologías).

Cuadro 8. Análisis de Costos, Tasa de Retorno Marginal y Productividad del maíz Powercore y convencional. Zamorano, Honduras, 2014.

Descripción	Maíz convencional	Maíz Powercore
Costo de semilla/ha	$ 141.18	$ 215.00
Costo total que varían $/ha	$ 698.75	$ 415.00
Rendimiento quintales/hectárea	145.97	155.45
Valor de un quintal de maíz	$ 19.00	$ 19.00
Beneficio brutos por hectárea	$ 2,773.43	$ 2,953.55
Beneficio netos $/ha	$ 2,074.68	$ 2,538.55
Productividad	3.97	7.12
Tasa de retorno marginal		-163.5%

Índice de Impacto Ambiental

Este índice se ha definido en base a 11 parámetros que miden el nivel de impacto que un determinado insecticida puede causar a la salud humana (componente trabajadores de campo y componente consumidores), salud animal, aves silvestres, abejas, artrópodos benéficos, potencial de infiltración en el suelo, vida media en la superficie de las hojas y el suelo (componente ecológico). La Universidad de Cornell de New York estableció un concepto denominado Índice de Impacto Ambiental (EIQ en inglés) para cuantificar y comparar el efecto ambiental causado por los agroquímicos. En el cuadro 9 se define cada parámetro a los que se les da una calificación de 1, 3 ó 5 para calcular en Índice de Impacto Ambiental (IIA). El parámetro 1 denota la más baja toxicidad y menor daño y 3 ó 5 los más altos niveles de toxicidad.

Cuadro 9. Parámetros y sistema de calificaciones para calcular el coeficiente de Impacto Ambiental EIQ para cada ingrediente activo (Kovach et al., 1992).

		Calificación otorgada		
Parámetros	**Símbolo**	**1**	**3**	**5**
Toxicidad crónica	C	Poca o ninguna	Posible	Definida
Toxicidad dermal (LD50 en ratas)	DT	>2000 mg/kg	200-2000 mg/kg	0-200 mg/kg
Toxicidad para aves (LC50 en 8 días)	D	>1000 ppm	100-1000 ppm	1-100 ppm
Toxicidad para abejas	Z	No tóxico	Moderadamente tóxico	Altamente tóxico
Toxicidad para artrópodos benéficos	B	Bajo impacto	Moderado	Impacto Severo
Toxicidad en peces (96 horas LC50)	F	>10 ppm	1-10 ppm	< 1 ppm
Vida media en la superficie de la planta	P	1-2 semanas	2-4 semanas	> 4 semanas
Vida media en el suelo (TI/2)	S	<30 días	30-100 días	>100 días
Modo de acción (Sistemicidad)	SY	No sistémico	Sistémico	
Potencial de infiltración	L	Bajo	Moderado	Severo
Pérdida potencial en la superficie	R	Bajo	Moderado	Severo

Seis de estos parámetros se basan en propiedades medibles y a cinco se les asigna una clasificación de impacto bajo, moderado o severo. Una vez otorgada la calificación a cada parámetro, es posible determinar un IIA (EIQ) para cada ingrediente activo en específico mediante la siguiente fórmula compleja (Kromann et al., 2011):

IIA={C[(DTx5)+(DTxP)]+[(Cx((S+P)/2)xSY)+(L)]+[(FxR)]+(Dx((S+P)/2])x3)+(ZxPx3)+(BxPx5)]}/3

Parámetros que se estiman para determinar el IIA.

C = Toxicidad crónica.

DT = Toxicidad dermal.

P = Vida media en la superficie de la planta.

S = Vida media en el suelo.

SY = Sistemicidad.

L = Potencial de infiltración.

F = Toxicidad en peces

R = Pérdida potencial en la superficie

D = Toxicidad en pájaros.

Z = Toxicidad en abejas.

B = Toxicidad en artrópodos benéficos

Este índice y su fórmula consiste de tres componentes, el trabajador de campo, el consumidor y el componente ecológico, cada componente tiene un peso equivalente.

Componente trabajador de campo:

C (DT x 5) + (DT x P)

Componente del consumidor:

(Cx (S+P)/2xSY) + (L)

Componente ecológico (peces, pájaros, abejas, otros insectos benéficos):

(FxR) + (DxS+P)/2x3)+(ZxPx3)+(BxPx5)

La suma de estos tres factores da como resultado la formula antes mencionada

Cuadro 10. Índice de Impacto Ambiental (IIA) de los agroquímicos empleados en el manejo de campo del maíz convencional en relación al maíz Powercore.

Nombre comercial	A.I	CT		CC		CE		IIA		Clasificación	
		ISO	GM	ISO	GM	ISO	GM	ISO	GM	ISO	GM
Mustang Max 12 EC	**Zeta-cipermetrina**	18.0	0	7.0	0	69.67	0	31.55	0		
Sunfire 24 SC	**Clorfenapir**	40	0	9.0	0	126.7	0	58.33	0	IIA Mayor	
Bt (Cry)	**Bt (Cry)**	0	6	0	2	0	12	0	6.7		IIA Menor
CT =Componente Trabajador		CC = Componente del Consumidor			CE = Componente Ecológico			IIA = Índice de Impacto Ambiental			

Con la información de las hojas de seguridad de cada pesticida utilizado se determinaron los parámetros para calcular los diferentes componentes y el Índice de Impacto Ambiental. El maíz Convencional presento el mayor valor de IIA debido a las dos aplicaciones del insecticida, para el caso Clorfenapir presento el IIA más alto en comparación con las proteínas tóxica de los *Bacillus thuringensis*. Los insecticidas Clorfenapir y Zeta-cipermetrina ambos tuvieron CC, CE y CT mayores que los valores presentados por las proteínas tóxicas. Esto nos indica claramente que los maíces genéticamente modificados tienen un impacto ambiental favorable con respecto a la salud humana tanto en el componente del trabajador como del consumidor y el impacto ecológico como se aprecia en el cuadro 10.

Ahorro de Agua

En este ensayo en el tratamiento de maíz Powercore se dejaron de utilizar 512 litros de agua por hectarea en las dos aspersiones de insecticidas químicos comparadas con la cantidad de agua utilizada en el maíz Convencional. Se puede asumir con base a este estudio que por cada hectárea de maíz genéticamente modificado que se siembre en Honduras puede existir una economía de 4.5 millones de galones de agua.

RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE HERBICIDAS

Evaluación del control de malezas.

En todas las evaluaciones, el mayor control de malezas fue con el herbicida glifosato, seguido por glufosinato y luego por la aplicación convencional de atrazina + pendimetalina. Hubo diferencia estadística entre glifosato y glufosinato en todas las evaluaciones, igual ocurrió entre glifosato y atrazina + pendimetalina. En la evaluación a los 9 y 43 días después de la aplicación no hubo diferencia estadística entre glufosinato y atrazina + pendimetalina, pero en la evaluación a los 15 y 28 días después de la aplicación hubo diferencia estadística entre estos dos tratamientos (Cuadro 9).

Las especies más abundantes al momento de la aplicación de los herbicidas posemergentes fueron: *Digitaria* spp., *Portulaca oleracea*, *Melampodium divaricatum*, *Eleusine indica*, *Leptochloa filiformis* y *Sclerocarpus phyllocephalus*. En total se encontraron ocho especies de gramíneas, 11 especies de hoja ancha y una de ciperácea, la densidad era de 228 plantas por metro cuadrado (Cuadro 10). Estas especies son las comunes en el área donde se estableció el experimento. Solamente hubo una especie de hoja ancha que no se pudo identificada, la cual mostro una baja de importancia relativa.

Cuadro 11. Porcentaje del control de malezas a los 9, 15, 28 y 43 días después de la aplicación de los herbicidas posemergentes glifosato y glufosinato. Zamorano, Honduras, 2014.

Herbicidas	Producto comercial (dosis/ha)	Días después de la aplicación			
		9	15	28	43
Glifosato	Roundup Max® 68 SG (1.8 kg/ha)	97 a§	92 a	59 a	51 a
Glufosinato	Basta® 15 SL (2.5 L/ha)	88 b	85 b	52 b	46 b
Convencional (Atrazina + Pendimetalina)	Gesaprim® 90 WG (1.20 kg/ha) + Prowl® 50 EC (3.0 L/ha)	85 b	80 c	46 c	42 b
Probabilidad		0.0005	0.0003	0.0002	0.0026

§ Medias en la misma columna con letras diferentes indican que hubo diferencias significativas

Cuadro 12. Especies de malezas presentes el 28 de agosto de 2014 en los lotes donde no se aplicó ningún herbicida.

Especies de maleza	Plantas/m²	Porcentaje del total
Gramíneas		
Rottboellia cochinchinensis	15	6.6
Leptochloa filiformis	18	7.9
Digitaria spp.	32	14.0
Sorghum halepense	4	1.8
Chloris virgata	7	3.1
Cenchrus equinatus	5	2.2
Cenchrus brownii	3	1.3
Eleusine indica	20	8.8
Hojas ancha		
Sclerocarpus phyllocephalus	14	6.1
Emilia fosbergii	3	1.3
Amaranthus spp.	11	4.8
Melampodium divaricatum	18	7.9
Ageratum conyzoides	5	2.2
Portulaca oleracea	32	14.0
Baltimora recta	5	2.2
Bidens pilosa	8	3.5
Nicandra physalodes	10	4.4
Kallstroemia maxima	11	4.8
Desconocida	2	0.9
Ciperaceas		
Cyperus rotundus	5	2.2

Total	228	100.0

En los tres tratamientos, el control de malezas disminuyó más de lo esperado al pasar el tiempo. A los 9 días después de la aplicación el control estaba de 85 a 97%, a los 43 días bajó a 42 a 51% (Cuadro 9). Esto se atribuye al sistema de siembra utilizado. Se sembró en unos lotes usados para la producción de sandía y cuyo sistema de goteo tiene las líneas o las mangueras del riego por goteo separadas 2.30 m. El maíz se sembró siguiendo este sistema de riego por goteo, a ambos lados de cada línea de goteo se sembró un surco a 25 cm, así que entre los dos surcos habían 50 cm de separación; así que unos surcos estaban separados 1.80 m y otros 50 cm. A los 43 días se notó que hubo más malezas en el área de los surcos separados 1.80 m que en los separados a 50 cm (Figuras 5 y 6).

La mayor presencia de malezas entre los surcos separados 1.80 m se debe a que llega más luz directa sobre el suelo cuando los surcos estaban separados a 50 cm. La diferencia en el espacio se debe a que se tuvo que sembrar de esa manera por el sistema de riego por goteo existente en el lote. Cuando llega más luz directa del sol se promueve la germinación de más semillas de malezas (Taylorson y Borthwick 1969, Leon y Owen 2003; Socolowski *et al*. 2010). En los surcos separados 50 cm llega menos luz ya que es interceptada por las hojas del maíz, además la luz es filtrada por las hojas del maíz y esto causa que haya menos germinación de semillas porque permanecen en latencia.

El efecto que causa la luz se debe a que las hojas del maíz filtran la luz solar; absorben la luz roja (660 nm) y dejan pasar la luz rojo lejano (730 nm). El filtrado se debe a que la clorofila que está en los cloroplastos usa la luz roja para fotosíntesis, pero dejan pasar la luz rojo lejano ya que no es usada en fotosíntesis (Brooker 2011). La luz solar sin filtrar por las hojas del cultivo favorece el rompimiento de la latencia en semillas de malezas, pero la luz rojo lejano no promueve el rompimiento de la latencia y germinan menos semillas (Socolowski *et al*. 2010, Brooker 2011). La percepción de la calidad de la luz es por los fotorreceptores llamados fitocromos. Estos cambian de forma al absorber luz roja o rojo lejano, lo que activa respuestas celulares que causan que se rompa la latencia de la semilla.

Figura 5. En la parte izquierda se observa muchas malezas, este corresponde al área entre las líneas de maíz que están separadas 1.80m. La parte derecha de la foto es donde iba la cinta de riego y los surcos de maíz estaban separados 50 cm, se observan menos malezas. Zamorano, Honduras, 2014.

Figura 6. Foto de la izquierda, se observa una gran cantidad de malezas creciendo entre las líneas del maíz separadas a 1.80 m, se observa que los surcos del maíz no han sombreado el suelo. Foto de la derecha, pocas malezas creciendo entre los surcos del maíz que están separados 50 cm, el maíz ha sombreado el suelo. Zamorano, Honduras, 2014.

Evaluación de la Fitotoxicidad.

En ninguna evaluación se observó daño al maíz (clorosis ni malformación causada por los herbicidas), lo que indica que el maíz es totalmente tolerante a los herbicidas glifosato y glufosinato, debido a la expresión de los genes CP4 EPSPS y PAT, respectivamente.
El gen PAT obtenido del actinomiceto *Streptomyces viridochromogenes* codifica por la enzima fosfinotricina acetiltransferasa que confiere al maíz la tolerancia al herbicida glufosinato. La tolerancia se debe a la conversión de L-fosfinotricin, el ingrediente activo en el glufosinato, a una forma inactiva que no daña a la planta. Los datos generados en esta investigación corroboran lo que se conoce y se ha reportado en varias publicaciones, que el gen PAT expresado en el maíz evaluado solamente confiere una tolerancia alta al herbicida glufosinato, pero no afecta su fenotipo (Center for Environmental Risk Assessment 2011, Wehrmann *et al*. 1996).

El gen CP4 EPSPS codifica por la enzima 5-enolpiruvil shikimato-3-fosfato sintasa aislada de *Agrobacterium tumefaciens* cepa CP4 (CP4 EPSPS), una bacteria común del suelo, que le confiere tolerancia al maíz. Los datos generados en esta investigación corroboran lo que se conoce y se ha reportado en varias publicaciones (Nida *et al*. 1996, Padgette *et al*. 1996), que el gen CP4 EPSPS expresado en el maíz evaluado solamente confiere una tolerancia alta al herbicida glifosato, pero no afecta su fisiología o el fenotipo (Center for Environmental Risk Assessment 2010).

Glufosinato es un inhibidor de la biosíntesis de glutamina al unirse a la enzima glutamina sintetasa, en vez del sustrato ácido glutámico, en las plantas susceptibles. Esto causa que se acumule el amoníaco y eventualmente se forman especies reactivas de oxígeno que destruyen las membranas celulares (Senseman 2007). En las plantas que toleran al glufosinato por el gen PAT, el herbicida es modificado y no tiene actividad como herbicida. Los datos de esta investigación corroboran que el gen PAT es efectivo en darle tolerancia al maíz pues no se observaron daños (clorosis, necrosis ni malformaciones) en el maíz, a la dosis recomendadas y usada en este estudio.

En plantas no tolerantes al glifosato, el herbicida evita la formación de los aminoácidos aromáticos fenilalanina, triptófano y tirosina, esenciales para la planta. Esto ocurre porque bloquea la unión de fosfoenol piruvato con la enzima 5-enolpiruvil shikimato-3-fosfato sintasa (Center for Environmental Risk Assessment 2010). En las plantas tolerantes que tienen el gen CP4 EPSPS, la enzima que codifica tiene más afinidad por fosfoenol piruvato que por el Glifosato, así que la formación de estos aminoácidos no sufre daño y la planta crece normalmente. Los datos generados en esta investigación indican que esta reacción está ocurriendo ya que no hay daño al maíz.

Al final del ciclo del cultivo, no hubo diferencia entre la altura de las plantas aplicadas con glifosato o con glufosinato (Cuadro 10). Solamente hubo diferencia estadística entre las aplicadas con glifosato (2.24 m) y las aplicadas con atrazina + pendimetalina (2.16 m), que fueron las más bajas. La diferencia en altura puede deberse a la diferencia en el control de malezas (Cuadro 9) que hubo en cada tratamiento, y no a un efecto de los genes CP4 EPSPS y PAT, ya que hubo más malezas en los lotes aplicados con atrazina + pendimetalina, lo que pudo causar mayor interferencia con el cultivo. Interferencia se refiere a los efectos de la competencia y alelopatía.

La altura de inserción de la mazorca en el tallo fue igual en los tres tratamientos (Cuadro 11). Este resultado corrobora otra vez que la modificación genética para conferir tolerancia a los herbicidas glifosato y glufosinato no afecta este parámetro y las plantas transformadas se comportan igual que las no transformadas genéticamente.

Cuadro 13. Altura de la planta de maíz (m) y la altura de la inserción de la primera mazorca en el tallo a los 61 días después de la siembra. Zamorano, Honduras, 2014.

Herbicida	Producto comercial (dosis/ha)	Altura (m)	
		Planta	Mazorca
Glifosato	Roundup Max® 68 SG (1.8 kg/ha)	2.24 a§	1.09
Glufosinato	Basta® 15 SL (2.5 L/ha)	2.22 ab	1.10
Convencional (Atrazina + Pendimetalina)	Gesaprim® 90 WG (1.20 kg/ha) + Prowl® 50 EC (3.0 L/ha)	2.16 b	1.11
Probabilidad		0.0026	NS

§ Medias en la misma columna con letras diferentes indican que hubo diferencias significativas

CONCLUSIONES

El maíz Powercore presentó porcentajes más bajos de plantas infectadas por *S. frugiperda* que el maíz Convencional. Las mazorcas del maíz Powercore no tuvieron daño de *Helicoverpa zea*, en cambio el maíz Convencional tuvo 85% de las mazorcas dañadas, con un daño promedio de 29 mm de largo. Los tallos del maíz Convencional presentaron hasta un 7.5% de presencia de daño con un promedio de galería de 16 cm de largo, en comparación con un 0.5% de daño en el maíz Powercore y no tuvo galerías. Los mayores rendimientos se obtuvieron con el maíz Powercore con una diferencia de 0.42 toneladas por hectárea lo que representa un 17% en la productividad, el beneficio neto se incremento en un 22%. La tasa de retorno marginal indica que por cada dólar adicional que se utiliza por sembrar maíz Convencional se recupera ese dólar más $1.63 adicional por usar la tecnología maíz Powercore.

Los muestreos realizados con las trampas Pit Fall y de plantas enteras identificaron que no existió cambio en la población de los artrópodos totales no blanco presente en el maíz Powercore y el maíz Convencional. Indicando claramente que el uso de la tecnología Powercore no afecta la Abundancia, Riqueza de familias y Biodiversidad de artrópodos totales.

El Índice de Impacto Ambiental para el maíz Convencional fue mayor porque incluye en su manejo los ingredientes activos Clorfenapir con IIA de 58.33 y Zeta-cipermetrina de 31.55 en comparación al maíz Powercore con las proteínas tóxicas que obtuvo un IIA menor de 6.7. Este índice indica un mayor riesgo a la salud y al medio ambiente al utilizar agroquímicos para en control de plagas en la tecnología Convencional en comparación con la tecnología Powercore.

El glifosato y glufosinato fueron más eficientes en el control de malezas que la aplicación de los preemergentes atrazina + pendimetalina. Ninguno de los herbicidas aplicados posemergentes causó clorosis, quemado, malformaciones ni reducción del crecimiento en el maíz, por lo tanto, el maíz es totalmente tolerante a las dosis evaluados de estos herbicidas.

BIBLIOGRAFÍA

Al-Deeb, M. y Wilde, G. 2003. Effect of Bt corn expressing the Cry3Bb1 toxin for corn rootworm control on aboveground nontarget arthropods. Environ. Entomol. 3285):1164-1170

Andrews, K.L. 1988. Latin American research on *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). Florida Entomologist 71:630-653

Australian Weeds Committee. 1979. Guidelines for Field Evaluation of Herbicides. Australian Government Publishing Service. Canberra, Australian. 200 p.

BASF. 2001. Basagran Herbicide. BASF Corporation Agricultural Products, Research Triangle Park, NC, Estados Unidos. 12 p.

Brooker, R.J., Widmaier, E.P., Graham, L.E. y Stiling, P.D. 2011. Biology for BIO 211 and 212. McGraw-Hill, Boston. 1282 p.

Center for Environmental Risk Assessment. 2010. A review of the environmental safety of the CP4 EPSPS protein. Environmental Biosafety Research 10:5–25.

Center for Environmental Risk Assessment. 2011. A review of the environmental safety of the PAT protein. Environmental Biosafety Research 10:73–101.

Davis, F.M., Ng, S.S.S., y Williams, W.P. 1992. Visual rating scales for screening whorl-stage corn for resistance to fall armyworm. Technical Bulletin 186. Miss. Agric. and Forestry Exp. St., Mississippi State, MS.

Leon, R.G. y Owen, M.D.K. 2003. Regulation of weed seed dormancy through light and temperature interactions. Weed Science 51:752–758.

Nida D.L., Patzer S., Harvey P., Stipanovic R., Wood R. y Fuchs R.L. 1996. Glyphosate-tolerant cotton: the composition of the cottonseed is equivalent to that

of conventional cottonseed. Journal of Agriculture and Food Chemistry 44:1967-1974.

Owen, M.D.K. 2008. Weed species shifts in glyphosate-resistant crops. Pest Management Science 64(4):377-387.

Padgette S.R., Biest-Taylor N., Nida D.L., Bailey M.R., MacDonald J., Holden L.R. y Fuchs R.L. 1996. The composition of glyphosate-tolerant soybean seeds is equivalent to that of conventional soybeans. Journal of Nutrition 126: 702-716.

Pitty, A. 1997. Interferencia: competencia, alelopatía y parasitismo. In. A. Pitty (ed.) Introducción a la biología, ecología y manejo de malezas. Zamorano Academic Press, Zamorano, Honduras. p 49-73.

Senseman, S.A. 2007. Herbicide Handbook, 7th ed. Champaign, IL: Weed Science Society of America. 458 p.

Socolowski, F., Mascia Vieira D.C., Simão, E. y Massanori Takaki, M. 2010. Influence of light and temperature on seed germination of *Cereus pernambucensis* Lemaire (Cactaceae) Biota Neotropica 10(2):53-56.

Taylorson, R.B. y Borthwick, H.A. 1969. Light Filtration by Foliar Canopies: Significance for Light-Controlled Weed Seed Germination. Weed Science 17(1):48-51.

Trabanino, R. 1998. Guía para el manejo integrado de plagas invertebradas en Honduras. Zamorano Academic Press, Zamorano, Honduras. 157 p.

Wehrmann A., van Vliet A., Opsomer C., Botterman J., y Schulz A. 1996. The similarities of bar and pat gene products make them equally applicable for plant engineers. Nature Biotechnology 14:1274−1278.

Windstrom, N.W. 1967. An evaluation of methods for measuring corn earworm injury. Journal of Economic Entomology 60: 791-794.

J. Kovach, C. Petzoldt, J. Degni and J. Tette, "A Method Measure the Environmental Impact of Pesticides," New York's Food and Life Sciences Bulletin, No. 139, 1992, pp. 1-8.

Dow Agrosciences de México S.A, "Estudio de Liberación al Ambiente programa Piloto del Maíz Genéticamente Modificado DAS-01507-1 en el estado de Sinaloa", Senasica Gobierno de Mexico, 2013, Online: www.senasica.gob.mx/includes/asp/download.asp?IdDocumento

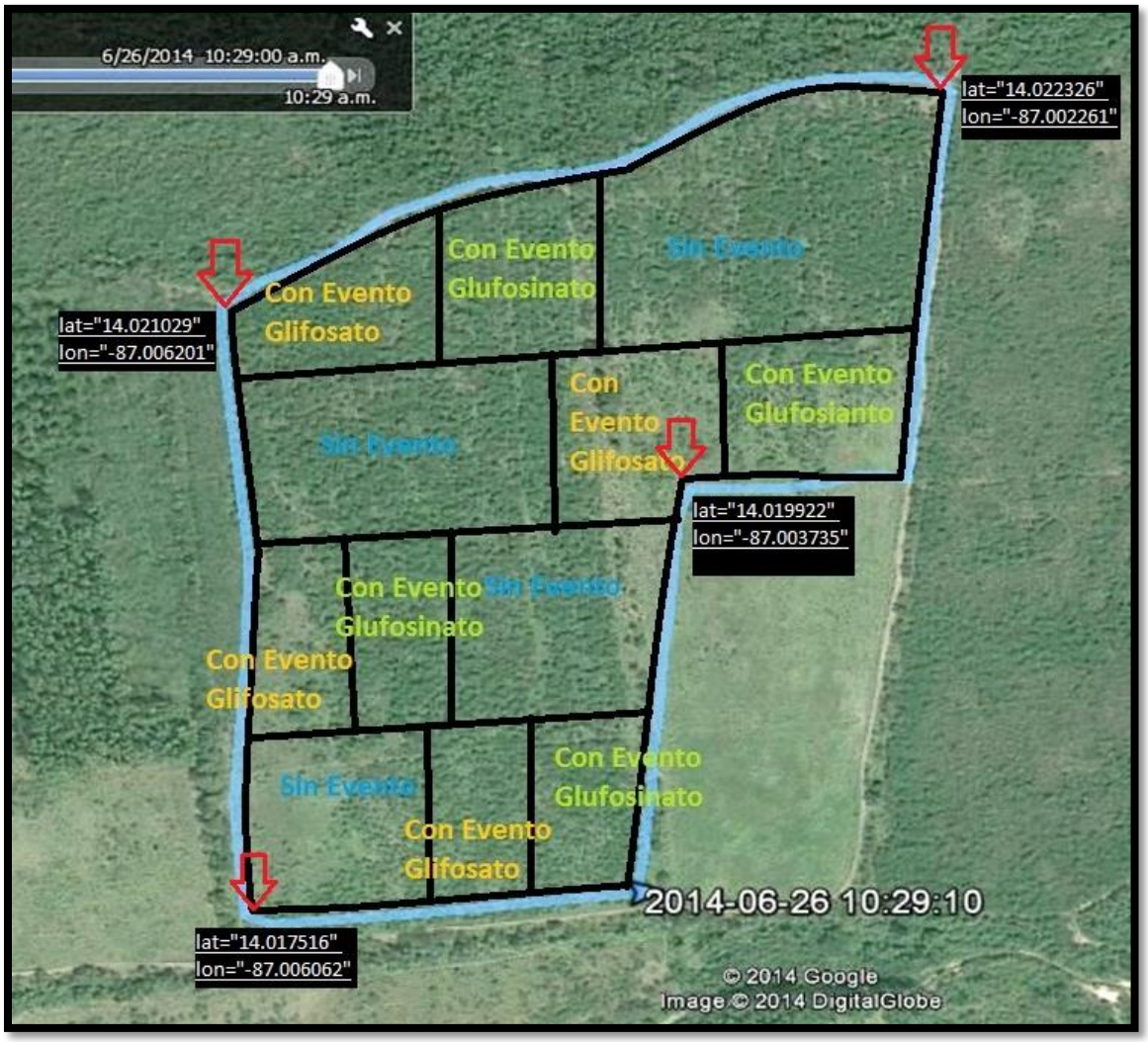
Ferrís et al., 2003. Autobuses escolares y motores diésel: contaminación atmosférica exposión pediátrica y efectos adversos en la salud humana. Revista Española de Pediatría: 59(2): pp 132-154 . Online: www.pehsu.org/az/pdf/bus_diesel.pdf

ANEXOS

Anexo 1. Resultados de la prueba de Elisa para determinar la presencia de los cinco eventos.

Tratamiento	Cry1Ab	Cry2A	Cry1F	PAT	CP4EPSPS
Maíz Powercore A	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo
Maíz Powercore B	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo
Maíz convencional	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo

Anexo 2. Lote Experimental Florencia utilizado para evaluación y divisiones de unidades experimentales.



Anexo 3. Escala para la evaluación del daño a la mazorca del maíz-

0 = Sin daño
1 = Con daño solamente en los estigmas
2 = Alimentación hasta 1 cm por debajo de la punta de la mazorca
3 = Alimentación hasta 2 cm por debajo de la punta de la mazorca

La siguiente escala fue propuesta por: Windstrom, N.W. en 1967

Anexo 4. Relación de prácticas agronómicas y costos relacionados con la producción del maíz convencional y tecnología Powercore.

PREPARACIÓN DEL SUELO	No.	Costo unitario	Total Iso	Total GM
Alquiler de Tierra	1	$136.50	$1,023.75	$1,023.75
Rastreo Round Plow	2	$115.60	$867.00	$867.00
Rastreo Round Plow	1	$115.60	$867.00	$867.00
FERTILIZACIÓN				
Aplicación 1	1	$319.00	$2,392.50	$2,392.50
Aplicación 2	2	$319.00	$2,392.50	$2,392.50
SIEMBRA				
Semilla Hibrida	1	$141.18	$1,058.85	
Semilla con Tecnología		$215.00		$1,612.50
Siembra	1	$108.00	$810.00	$810.00
LABORES CULTURALES				
Mover mangueras	2	$90.00	$675.00	$675.00
RIEGOS				
Riego Cuota	1	$976.00	$7,320.00	$7,320.00
Riego Manguera	1	$507.25	$3,804.38	$3,804.38
CONTROL DE PLAGAS				
Insecticidas	1	$181.35	$1,360.13	$-
Aplicaciones	2	$1,010.91	$1,010.91	$-
CONTROL DE MALEZA				
Herbicida Prowl y Gesprin	1	$71.21	$534.08	$-
Herbicida Round up o Basta	1	$43.53		$246.77
Aplicaciones	1		$220.00	$192.76
CONTROL DE ENFERMEDADES				
Fungicida: Duett, Nativo, Duett	3	$89.29	$669.68	$669.68
Aplicaciones	1	$140.92	$1,056.90	$1,056.90
COSECHA				
Cosecha y acondicionamiento	15	$557.82	$4,183.65	$4,183.65
TOTAL			**$30,246.31**	**$28,114.38**