



MINISTERIO DE
AGRICULTURA,
GANADERÍA
Y ALIMENTACIÓN



Programa de consorcios de Investigación Agropecuaria

Cadena de Maíz

**Validación de dos híbridos de grano amarillo con tolerancia a mancha de asfalto “ICTA
HA-01^{TMA} e ICTA HA-02^{TMA}”**

Mairor Osorio
Juan Carlos Sis Perez
Daniel Peinado Monroy
Marco Antonio Colocho
Eliseo Chun Batzin

San Jerónimo, octubre 2,020

Este proyecto fue ejecutado gracias al apoyo financiero del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés). El contenido de ésta publicación es responsabilidad de su(s) autor(es) y de la institución(es) a las que pertenecen. La mención de empresas o productos comerciales no implica la aprobación o preferencia sobre otros de naturaleza similar que no se mencionan

Contenido

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | INTRODUCCIÓN | 1 |
| 2 | MARCO TEORICO | 2 |
| 2.1 | Situación actual del cultivo de maíz | 2 |
| 2.2 | El maíz amarillo en Guatemala | 3 |
| 2.3 | Problemática | 4 |
| 2.4 | Bajo potencial de rendimiento | 4 |
| 2.5 | Mancha de asfalto | 5 |
| 3 | OBJETIVOS..... | 8 |
| 3.1 | General..... | 8 |
| 3.2 | Específicos:..... | 8 |
| 4 | Hipótesis..... | 8 |
| 5 | MATERIALES Y MÉTODOS | 8 |
| 5.1 | Localidades y época..... | 8 |
| 5.2 | Época de Siembra | 9 |
| 5.3 | Diseño experimental. | 10 |
| 5.4 | Tratamientos. | 10 |
| 5.5 | Tamaño de la unidad experimental..... | 10 |
| 5.6 | Modelo estadístico | 10 |
| 5.7 | Variable de Respuesta. | 11 |
| 5.8 | Análisis de la información..... | 11 |
| 5.8.1 | Estadístico | 11 |
| 5.8.2 | Económico..... | 11 |
| 5.8.3 | Opinión del Agricultor | 11 |
| 5.8.4 | Manejo del experimento..... | 11 |
| 6 | RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 11 |
| 6.1 | Del rendimiento | 11 |
| 6.2 | Análisis económico | 14 |
| 6.3 | Análisis de la opinión del agricultor con relación a los híbridos de maíz ICTA HA-01 ^{TMA} e ICTA HA-02 ^{TMA} | 15 |
| 7 | CONCLUSIONES | 17 |
| 8 | RECOMENDACIÓN..... | 17 |
| 9 | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 18 |
| 10 | ANEXOS..... | 19 |

RESUMEN

Mairor Osorio¹
Juan Carlos Sis Perez²
Daniel Peinado Monroy²
Marco Antonio Colocho³
Eliseo Chun Batzin³

Los objetivos del proyecto fueron, determinar si los híbridos de maíz de grano amarillo ICTA HA-01^{TMA} e ICTA HA-02^{TMA}, son superiores al testigo del agricultor en cuanto a rendimiento de grano, y conocer la opinión de los productores de maíz con relación a las características agronómicas de estos híbridos. El proyecto se ejecutó con fondos del Programa de Consorcios Regionales de Investigación Agropecuaria (CRIA), según Convenio de donación entre la República de Guatemala y los Estados Unidos de América, y el Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas (ICTA). El híbrido de maíz ICTA HA-02^{TMA}, mostró mejor rendimiento de grano, con 3,703 kg/ha, superando a los híbridos cultivados por los agricultores, que tuvieron una media de 2,388 kg/ha. El análisis económico indica que por cada quetzal que se invierte en el costo de la semilla ICTA HA-02^{TMA}, se obtiene un retorno de 1.87 quetzales, en comparación con 0.34 quetzales que se obtienen con los materiales que actualmente se utilizan. Los agricultores emitieron opinión favorable para el híbrido de maíz ICTA HA-02^{TMA}, principalmente por su forma de mazorca, color intenso de grano y rendimiento superior a ICTA HA-01^{TMA} y testigos del agricultor. Con base en la opinión dada por los agricultores sobre el híbrido de maíz ICTA HA-2^{TMA}, se recomienda liberar y promover su uso, considerando como principal actor al Sistema Nacional de Extensión Rural, del Ministerio de Agricultura, Ganadería y alimentación -MAGA-.

¹Investigador Principal, Disciplina de validación y Transferencia de Tecnología, ICTA CINOR

²Investigadores Asociados, Disciplina de validación y Transferencia de Tecnología, ICTA CINOR

³Investigadores Asistentes, Disciplina de validación y Transferencia de Tecnología, ICTA CINOR

ABSTRACT

Mairor Osorio²
Juan Carlos Sis Perez²
Daniel Peinado Monroy²
Marco Antonio Colocho³
Eliseo Chun Batzin³

The objectives of the project were to determine if the yellow grain corn hybrids ICTA HA-01TMA and ICTA HA-02TMA are superior to the farmer's control in terms of grain yield, and to know the opinion of corn producers in relation to the agronomic characteristics of these hybrids. The project was executed with funds from the Regional Consortiums for Agricultural Research Program (CRIA), according to the donation agreement between the Republic of Guatemala and the United States of America, and the Institute of Agricultural Science and Technology (ICTA). The corn hybrid ICTA HA-02TMA, showed better grain yield, with 3,703 kg / ha, surpassing the hybrids cultivated by farmers, which had an average of 2,388 kg / ha. The economic analysis indicates that for each quetzal that is invested in the cost of the ICTA HA-02TMA seed, a return of 1.87 quetzals is obtained, compared to 0.34 quetzals that are obtained with the materials that are currently used. Farmers gave a favorable opinion for the ICTA HA-02TMA maize hybrid, mainly because of its ear shape, intense grain color and superior performance to ICTA HA-01TMA and farmer's controls. Based on the opinion given by farmers about the ICTA HA-2TMA corn hybrid, it is recommended to release and promote its use, considering the National Rural Extension System of the Ministry of Agriculture, Livestock and Food -MAGA

¹Investigador Principal, Disciplina de validación y Transferencia de Tecnología, ICTA CINOR

²Investigadores Asociados, Disciplina de validación y Transferencia de Tecnología, ICTA CINOR

³Investigadores Asistentes, Disciplina de validación y Transferencia de Tecnología, ICTA CINOR

1 INTRODUCCIÓN

El maíz es tradicionalmente el grano básico de mayor consumo en Guatemala, es la base de la dieta de la población, especialmente para la población más pobre (Fuentes *et al.*, 2005). El consumo promedio per cápita por año es de 114 kg, este valor puede duplicarse y en algunos casos hasta triplicarse, dependiendo del ingreso económico de las familias (Fuentes, 2002; ICTA, 2013). Según el informe sobre la situación actual del maíz blanco presentado por el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA), para el año agrícola 2016/2017 (mayo a abril) se cosecharon en Guatemala 883,890 hectáreas, con una producción de 2,093,640 TM (MAGA, 2017).

Durante el periodo 2016-2017 se produjeron 1,885,000 TM de maíz blanco, mientras que de maíz amarillo la producción fue menor a las 200,000 TM (MAGA, 2017). Aproximadamente un 90% de la producción nacional es de maíz de grano de color blanco, mientras que de maíz de grano de color amarillo la producción es menor al 10%. Para el año 2015 se importaron 916,705.15 TM de maíz amarillo, lo que representa \$191,364,791.00 (MAGA, 2015).

En Guatemala el maíz es primordialmente un cultivo de minifundio, el 92% de las fincas en las cuales se produce tienen una extensión menor a 7.00 hectáreas, aunado a esto es un cultivo que se produce con pocos insumos comprados y que está sometido a una serie de problemas biológicos, climáticos y edáficos (MAGA, 1998; Fuentes, 2002; ICTA, 2013). Para el año agrícola 2016/2017 (mayo a abril) el rendimiento promedio en Guatemala fue de 2,155.63 kg/ha (MAGA, 2017).

En Guatemala existen dos sectores industriales que son los mayores consumidores de maíz. El primero es la agroindustria de producción animal (avícola y porcina), que utiliza predominantemente el maíz amarillo como base de los alimentos concentrados. El otro sector es el que elabora productos de consumo humano, donde puede hacerse una división entre la fabricación de harinas, que se basa en el maíz blanco, y la de otros productos, como boquitas y fritos, en su mayoría elaborados con maíz amarillo (Van Etten & Fuentes, 2005).

Desde su creación en 1972, el Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas ha dedicado considerables esfuerzos para conducir investigación en el cultivo de maíz, lamentablemente desde la liberación del híbrido ICTA HA-48, no se ha liberado ningún cultivar de maíz de grano amarillo que apoye al sector agroindustrial, existiendo en la actualidad una fuerte demanda de maíz de grano amarillo, derivada de la demanda de la creciente industria de producción animal, la cual importa más del 80% del maíz que utilizan.

En el año 2018 se condujeron ensayos en fincas de agricultores de las regiones del trópico bajo de Guatemala, con el objetivo de seleccionar el o los mejores híbridos, que superen a los testigos comerciales utilizados por los productores, y con características agronómicas de su preferencia;

producto de esta evaluación, se determinó que los híbridos evaluados superaron en rendimiento a los que utilizan los agricultores, además mostraron un buen nivel de tolerancia al complejo mancha de asfalto.

2 MARCO TEORICO

2.1 Situación actual del cultivo de maíz

El cultivo de maíz es de los de mayor variabilidad genética y adaptabilidad ambiental. A nivel mundial se siembra en latitudes desde los 55° N a 40° S, y del nivel del mar hasta 3,800 m de altitud. El cultivo del maíz tiene una amplia distribución a través de diferentes zonas ecológicas de Guatemala. La distribución del cultivo está en función de la adaptación, condiciones climáticas (precipitación, altitud sobre el nivel del mar, temperatura, humedad relativa), tipo de suelo (Fuentes, 2002; Ferrufino, 2009).

En Guatemala de manera general el cultivo de maíz se concentra en la zona del altiplano y zonas de la costa sur-occidental y nor-oriental. Este cultivo se observa entre altitudes de 0 a 3000 msnm (Fuentes, 2002).

Según USDA (United States Department Agriculture, por sus siglas en inglés) (2010), Guatemala es el cuarto país con mayor consumo de maíz per cápita anual en el mundo. Es el mayor productor y consumidor de maíz en la región centroamericana.

Las estadísticas de producción de maíz en Guatemala muestran una tendencia a mantener constante la superficie total cultivada y el rendimiento promedio por hectárea. Las toneladas producidas desde 1985 hasta el año 2000 se han mantenido alrededor de 1,200,000 TM, con rangos que van desde un millón trescientas mil, hasta niveles menores al millón de toneladas, especialmente después del efecto del huracán Mitch en 1998.

La importación del grano por el contrario se ha incrementado 63 veces, lo cual se debe al incremento de la población, ya que la producción interna en lugar de aumentar se ha mantenido casi constante tendiendo a disminuir.

Los rendimientos por hectárea (ha) se han mantenido cerca de los 1,800 kg, con medias que llegaron a 2,000 kg/ha durante los primeros años de la década de los 90's, hasta su caída como efecto de las inundaciones de 1998. La superficie cosechada también se ha mantenido constante desde 1985, en alrededor de 700,000 ha, con fluctuaciones cercanas a las 100,000 ha por año (Ferrufino, 2009; Gómez, 2013).

Según el informe sobre la situación actual del maíz blanco presentado por el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA), para el año agrícola 2016/2017 (mayo a abril)

se cosecharon en Guatemala 883,890 hectáreas, con una producción de 2,093,640 TM y un rendimiento promedio de 2,155.63 kg/ha (MAGA, 2017).

La producción nacional se encuentra distribuida de la siguiente forma: Petén (18%), Alta Verapaz (10%), Quiché (8%), Jutiapa (7%), Huehuetenango (6%), San Marcos (5%), Retalhuleu (5%), Santa Rosa (5%), Chimaltenango (4%), Escuintla (4%), Quetzaltenango (4%), y los demás departamentos de la República suman el (24%) restante. El 62.3% de la superficie cosechada se encuentra concentrada en siete departamentos: Petén (18.4%), Alta Verapaz (13.1%), Quiché (8.1%), Huehuetenango (7.5%), Jutiapa (6.6%), San Marcos (4.7%), e Izabal (4%) (MAGA, 2015; MAGA, 2017).

En Guatemala el maíz es considerado un cultivo marginal, ya que no aporta mucho a la economía en términos monetarios. Muchas veces se considera la producción de maíz como un sector de importancia “social”, más que económica. Sin embargo, es importante destacar que el maíz ocupa dos terceras partes del área con cultivos anuales. Su presencia es lo suficientemente amplia para merecer atención en su función dentro de la economía doméstica rural (Van Etten & Fuentes, 2005).

En la actualidad la producción de maíz en Guatemala no cubre la demanda nacional y se ve en la necesidad de importar grandes cantidades de este grano para satisfacer las demandas internas. Tradicionalmente las importaciones de maíz provienen en un 70% de Estados Unidos de Norteamérica, y un 30% de México. En el período enero-marzo/2017, las importaciones de maíz blanco fueron en un 90% de Estados Unidos de Norteamérica y el 10% de México (MAGA, 2017).

Según los resultados de la ENA (2014), que presentó el INE, las importaciones de maíz blanco mostraron un comportamiento irregular durante el período 2007-2013; mientras que a partir del año 2014 presentan una tendencia creciente. Este comportamiento también se manifiesta en sus precios promedio, que pasaron de US \$ 245.61/TM en el año 2007 hasta alcanzar los US \$ 400.61/TM en el año 2010; después bajaron a US \$ 318.45/TM en el año 2013 y se situaron en US \$ 264.02/TM en el año 2014, para bajar en el año 2015 a US\$. 231.35/TM, y luego volver a subir en el año 2016 a US\$ 241.60/TM. En los años 2014, 2015 y 2016, se infiere que las importaciones de maíz blanco aumentaron para cubrir parte de las pérdidas provocadas por las canículas prolongadas que se presentaron en esos años (MAGA, 2017).

2.2 El maíz amarillo en Guatemala

La producción de maíz amarillo respecto al maíz blanco es bastante baja, ya que mientras la producción de maíz blanco representa aproximadamente un 90% de lo que se siembra, menos del 10% restante corresponde a maíz de color amarillo.

Según datos del MAGA, para el año agrícola 2016-2017 (mayo a abril) en Guatemala se produjeron 1,885,000 TM de maíz blanco, mientras que de maíz amarillo la producción fue 210,000 TM aproximadamente (MAGA, 2017). Para el año 2015 se importaron 916,705.15 TM, de maíz amarillo, lo que representa \$ 191,364,791.00 (MAGA 2,015).

En Guatemala existen dos sectores industriales que son los mayores consumidores de maíz. El primero es la agroindustria de producción animal (avícola y porcina), que utiliza predominantemente el maíz amarillo como base de los alimentos concentrados. El otro sector es el que elabora productos de consumo humano, donde puede hacerse una división entre la fabricación de harinas, que se basa en el maíz blanco, y la de otros productos, como boquitas y fritos, en su mayoría elaborados con maíz amarillo (Van Etten & Fuentes, 2005).

El maíz blanco y el maíz amarillo tienen diferentes características alimentarias. El maíz amarillo es más rico en carotenoides y por eso es el preferido para los alimentos concentrados para animales, ya que los carotenoides tienen una función importante en el crecimiento y la coloración de la yema de los huevos (Van Etten & Fuentes, 2005).

En el sector de productos para consumo humano la distinción entre maíz amarillo y blanco es más profunda, aunque existen empresas que han diversificado sus actividades y se dedican a la elaboración de productos tanto de maíz amarillo como de blanco (Van Etten & Fuentes, 2005).

2.3 Problemática

El maíz forma la base de la dieta de los guatemaltecos, especialmente para la población pobre. También es el cultivo que ocupa mayor superficie en el país. Dada esta doble importancia, el maíz debe recibir especial atención (Fuentes et al., 2005).

En Guatemala el maíz es primordialmente un cultivo de minifundio, el 92% de las fincas en las cuales se produce tienen una extensión menor a 7.00 ha, aunado a esto es un cultivo que se produce con pocos insumos comprados y que está sometido a una serie de problemas biológicos, climáticos y edáficos (MAGA, 1998; Fuentes, 2002; ICTA, 2013).

Uno de los principales problemas del agro guatemalteco es la desigualdad en la propiedad de las tierras, ya que el 0.15% de los productores (agricultores comerciales) es dueño del 70% de la tierra, el 3.85% (agricultores excedentarios) es dueño del 10% y el restante 20%, se reparte entre el 96% de los agricultores (agricultores de infra subsistencia y subsistencia) (Fuentes, 2002; ICTA, 2012).

2.4 Bajo potencial de rendimiento

El problema central en torno al maíz es que la producción de Guatemala no cubre la demanda nacional. Esto genera una necesidad de importar maíz, lo cual influye en el desequilibrio de la

balanza comercial de Guatemala. Esto ha provocado la pérdida de divisas que de otra forma se hubiesen podido invertir en la economía del país. La débil oferta nacional también provoca aumentos en los precios del maíz, a pesar de las escasas ganancias del sector productivo (Fuentes et al., 2005).

Según el informe del MAGA para el año agrícola 2016/2017 (mayo a abril) el rendimiento promedio fue de 2,155.63 kg/ha (MAGA, 2017). Estos datos comparados con los rendimientos que se obtienen en los países de mayor producción en el mundo, como Estados Unidos (9,339 kg/ha), Argentina (8,080 kg/ha) o China (5,090kg/ha) son bastante bajos (MAIZAR, 2011).

Los rendimientos de grano dependen en gran medida de los insumos para la producción; además la falta de liquidez económica también causa atrasos en la utilización de tecnología, como es el uso de semillas mejoradas y otros insumos. A esta situación se agrega la poca o nula existencia de programas de capacitación y asistencia técnica para los productores. Por otro lado, el aumento de los rendimientos se limita por los ambientes ecológicos en que se desarrolla el cultivo del maíz; muchas de las áreas con maíz son de bajo potencial (laderas con alta pendiente, suelos de vocación forestal) (Fuentes et al., 2005).

En Guatemala estacionalmente las cosechas de maíz se ven disminuidas de mediados de marzo a mediados de agosto, pero la escasez se acentúa entre mayo y julio, periodo en el cual los mercados se abastecen con las reservas de maíz almacenado y de la producción que ingresa de México. En esta época, los hogares son más vulnerables a la inseguridad alimentaria por sus limitados recursos para comprar maíz (MAGA, 2017).

2.5 Mancha de asfalto

Las enfermedades causadas por hongos son una limitante en la producción del cultivo de maíz, en los últimos años la enfermedad conocida como “complejo mancha de asfalto” TSC (Tar spot complex por sus siglas en inglés), ha causado fuertes pérdidas en algunas regiones de Guatemala. Se ha reportado principalmente en el área norte del país, en la época de siembra de noviembre-diciembre y en el municipio de Monjas, departamento de Jalapa, en las siembras de junio.

El primer reporte de mancha de asfalto en maíz, por el hongo *Phyllachora maydis* Maubl., se hizo en México (Maublanc, 1904). Esta enfermedad produce lesiones elevadas oscuras, estromáticas de aspecto liso y brillante, de forma oval a circular, con 0.5 a 2.0 mm de diámetro y forma estrías hasta de 10 mm de longitud (Parbery, 1967; Hamlin, 1999). Un segundo hongo asociado a la enfermedad es *Monographella maydis* Müller & Samuels, el cual provoca lesiones alrededor de las producidas por *P. maydis*. Al principio se observa un halo de forma elíptica, color verde claro de 1-4 mm, posteriormente es necrótico y provoca el síntoma conocido como “ojo de pescado”. En lesiones jóvenes es común encontrar a *Microdochium* sp, anamorfo de *Monographella maydis*. También en el tejido necrótico se puede observar a *Coniothyrium phyllachorae* Maubl.

(Müller y Samuels, 1984), que confiere una textura ligeramente áspera al tejido dañado (Figura 1) (Pereyda-Hernandez *et al.*, 2009, Hernández-Ramos *et al.*, 2015).

Bajo condiciones ambientales favorables, el follaje puede ser atizonado en menos de ocho días, debido a coalescencia de lesiones inducidas por los distintos hongos y atribuido a la producción de una toxina. Factores adicionales que favorecen la enfermedad son: alta humedad en el ambiente (10 a 20 días nublados en el mes), niveles altos de fertilización nitrogenada, dos ciclos de maíz por año, genotipos susceptibles, baja luminosidad, edad de alta vulnerabilidad del hospedante, virulencia de los patógenos involucrados (Hock *et al.*, 1989; Pereyda-Hernandez *et al.*, 2009).

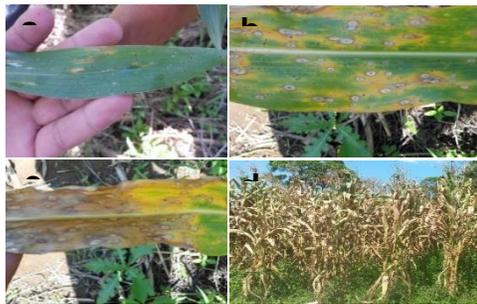


Figura 1. Complejo de hongos que provocan la “mancha de asfalto”. a. *Phyllachora maydis* Maubl. b. *Monographella maydis* Müller & Samuels. c. *Coniothyrium phyllachorae* Maubl. d. Daño de mancha de asfalto en híbridos de maíz, Ixcán, Quiché 2015. (Fotografías de Héctor Danery Martínez, Coordinador del Programa de Maíz del ICTA).

En el “Manual Técnico para el Manejo de la Mancha de Asfalto”, se reporta que las áreas afectadas en la cosecha 2005-2006 fueron Las Cruces y La Libertad, ubicadas en El Petén. En esos lugares, de los 100 mil quintales esperados sólo se logró una producción de unos 40 mil. De esta producción la mitad correspondió a maíz amarillo y la otra a maíz blanco. Estimándose una pérdida equivalente entre 5 a 6 millones de quetzales, de acuerdo al precio de venta del quintal de maíz en ese momento (ICTA, 2013).

En 2009 el MAGA reportó pérdidas por Q 25.9 millones por daños en 1,506 hectáreas de cultivo de maíz en cuatro departamentos, habiendo sido perjudicadas unas 6,542 familias, siendo el municipio de Ixcán, Quiché, uno de los más afectados. La Comisión Técnica Nacional de Mancha de Asfalto del Maíz, indica que el dato anterior fue confirmado por representantes de las familias productoras del Ixcán y del Polochic, en el 3er taller nacional de mancha de asfalto, realizado el 25 de mayo del 2012, en la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos (USAC), quienes expresaron que en los años siguientes, aumentó la afectación hasta llegar a producir entre 10 y 15 quintales de maíz por manzana en las siembras de noviembre-diciembre de 2011, cantidad que no es suficiente ni para el consumo de la familia al año, que es de 20 quintales (ICTA, 2013).

En las provincias del norte de Guatemala se estimaron pérdidas de rendimiento arriba del 75% para el periodo de 2008/2009 y problemas similares se observaron en Honduras y El Salvador en años recientes (Mahuku *et al.*, 2016).

Una práctica de los agricultores ha sido adelantar las fechas de siembra (esto cuando las lluvias lo permiten), con el objetivo de escapar a la incidencia de la enfermedad. Durante el año 2018 el ICTA liberó el primer cultivar con un nivel alto de tolerancia al complejo mancha de asfalto en Guatemala, ICTA HB-17^{TMA}, el cual es un híbrido de grano blanco normal (en cuanto a su contenido de proteína).

En la actualidad no existen cultivares de grano amarillo resistentes o con un buen nivel de tolerancia al complejo mancha de asfalto en Guatemala.

Según Ceballos y Deutsch (1999), quienes realizaron el primer estudio de la genética de la resistencia a mancha de asfalto, indican que la herencia de la resistencia está controlada por un solo gen dominante. Mahuku *et al.*, (2016), reportan que un *QTL Mayor* (*qRtsc8-1*) (Quantitative Trait Loci, por sus siglas en inglés), condiciona la resistencia al complejo mancha de asfalto y estuvo presente en una frecuencia de 3.5% en 890 líneas mejoradas de maíz. Este es el primer reporte de un *QTL Mayor* para resistencia al complejo mancha de asfalto.

El programa de investigación de maíz del ICTA, a través de muchos años ha generado, evaluado y desarrollado a nivel de estación experimental, híbridos triples de maíz de grano amarillo, con alto potencial de rendimiento, sabiendo que éste es uno de los componentes más importantes en un programa de mejoramiento, y por lo tanto debe ser uno de los primeros factores a considerarse al momento de evaluar y seleccionar cultivares mejorados. Además, el programa de maíz centra sus esfuerzos en generar y desarrollar genotipos que posean genes de resistencia a enfermedades, sabiendo que la resistencia genética es el método más viable, económico y factible para el manejo y control de enfermedades.

El uso de la resistencia genética permitirá aumentar los rendimientos del cultivo, además de reducir los costos para los productores. Al mismo tiempo, minimizará el uso de productos químicos que también pueden llegar a ser dañinos para el medio ambiente y para el ser humano.

Desde el año 2017 el equipo de investigadores del Programa de Maíz evaluó, identificó y seleccionó a nivel de estación experimental a los híbridos “**ICTA HA-01^{TMA} e ICTA HA-02^{TMA}**”, siendogenotipos de grano amarillo, que poseen un alto potencial de rendimiento y un buen nivel de tolerancia al complejo mancha de asfalto, que además poseen una textura de grano semicristalina muy apreciada por los agricultores.

Durante el ciclo “B” del año 2018 (junio a noviembre), en áreas del trópico bajo de Guatemala se condujeron ensayos en fincas de agricultores; la finalidad de los ensayos fue en primer lugar validar el buen comportamiento de los genotipos, pero además, identificar y seleccionar el o los mejores híbridos que combinaran, alto potencial de rendimiento, tolerancia al complejo mancha de asfalto y con buenas características agronómicas, haciendo énfasis en el tipo y color de grano.

3 OBJETIVOS

3.1 General

Contribuir mediante el uso de los híbridos “ICTA HA-01^{TMA} e ICTA HA-02^{TMA}” al manejo de la mancha de asfalto y mejorar el potencial de rendimiento de maíz amarillo.

3.2 Específicos:

Establecer si los híbridos de maíz “ICTA HA-01^{TMA} e ICTA HA-02^{TMA}” son superiores al testigo del agricultor, en cuanto a rendimiento de grano.

Recabar la opinión de los productores de maíz con relación a las características mostradas por los híbridos de maíz “ICTA HA-01^{TMA} e ICTA HA-02^{TMA}”

4 Hipótesis

Los híbridos triples de maíz “ICTA HA-01^{TMA} e ICTA HA-02^{TMA}” poseen mayor potencial de rendimiento que el testigo del agricultor.

5 MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Localidades y época

La validación de los híbridos de maíz ICTA HA-01^{TMA} e ICTA HA-02^{TMA} se realizó en trece localidades, distribuidas en los departamentos de Alta Verapaz y El Quiché, ubicados en el área de influencia del programa IICA CRIA, con la participación de productores colaboradores que se dedican al cultivo de maíz, que utilizan semilla de híbridos y que están registrados como colaboradores dentro de la Cadena de Maíz del Consorcio CRIA-Norte (Cuadros 1 y 2).

La ubicación de sitios y agricultores colaboradores se realizó en estrecha coordinación con el equipo de extensión rural del MAGA.

Cuadro 1. Ubicación de parcelas de validación del híbrido amarillo de maíz “ICTA HA-01^{TMA}. Región Norte de Guatemala, 2020.

| Departamento | Municipio | Localidad |
|---------------------|-------------------|----------------------|
| Alta Verapaz | Fray B. Las Casas | El Cacao 1 |
| Alta Verapaz | Fray B. Las Casas | Arenal 1 |
| Alta Verapaz | Panzós | Bella Flor |
| Alta Verapaz | Panzós | Corazón de Maíz |
| Alta Verapaz | Panzós | Sexili |
| Alta Verapaz | Panzós | Rio Sarco Matriz |
| Alta Verapaz | Panzós | Rio Sarco Matriz |
| Alta Verapaz | La Tinta | Sacsuha I |
| Alta Verapaz | La Tinta | Sacsuha II |
| Alta Verapaz | La Tinta | Coop. Valle Polochic |
| Quiché | Ixcán | Nueva Máquina |
| Quiché | Ixcán | Saholom |
| Quiché | Ixcán | Los Olivos |

Cuadro 2. Ubicación de parcelas de validación de los híbridos amarillos de maíz “ICTA HA-02^{TMA}. Región Norte de Guatemala, 2020.

| Departamento | Municipio | Localidad |
|---------------------|-------------------|----------------------|
| Alta Verapaz | Fray B. Las Casas | El Cacao 1 |
| Alta Verapaz | Fray B. Las Casas | Arenal 1 |
| Alta Verapaz | Panzós | San Vicente II |
| Alta Verapaz | Panzós | Panla I |
| Alta Verapaz | Panzós | Panla II |
| Alta Verapaz | Panzós | Xucup I |
| Alta Verapaz | Panzós | Xucup II |
| Alta Verapaz | La Tinta | Sacsuha I |
| Alta Verapaz | La Tinta | Sacsuha II |
| Alta Verapaz | La Tinta | Coop. Valle Polochic |
| Quiché | Ixcán | Nueva Máquina |
| Quiché | Ixcán | Nueva Esperanza |
| Quiché | Ixcán | Riberas del Chixoy |

5.2 Época de Siembra

Noviembre 2019 a febrero 2020 (Ciclo B).

5.3 Diseño experimental.

La comprobación de las hipótesis planteadas se realizó a través del diseño de *Bloques completos al azar*, con tres tratamientos que correspondieron a los híbridos validados y su comparador y los bloques representaron a las localidades donde se establecieron las parcelas de validación.

5.4 Tratamientos.

- Híbrido ICTA HA-01^{TMA}.
- Híbrido ICTA HA-02^{TMA}.
- Híbrido del agricultor como comparador.

5.5 Tamaño de la unidad experimental

El tamaño de la unidad experimental fue una parcela de 0.0289 hectáreas por cada genotipo evaluado.

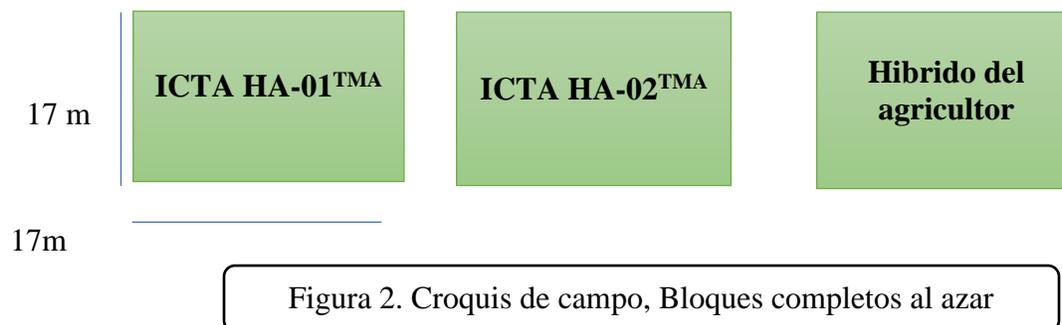


Figura 2. Croquis de campo, Bloques completos al azar

5.6 Modelo estadístico

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

con $i = 1 \dots 3$ *tratamientos*, $j = 1 \dots 13$ *localidades*

Donde:

Y_{ij} = rendimiento

μ = media general.

τ_i = híbrido

β_j = efecto del bloque o localidad $_j$.

ε_{ij} = error aleatorio asociado a la observación Y_{ij} .

Supuestos:

$$\varepsilon_{ijk} \sim N(0, \sigma^2)$$

5.7 Variable de Respuesta.

Rendimiento de grano (kg/ha)

Opinión del agricultor

5.8 Análisis de la información

5.8.1 Estadístico

Se realizó análisis de varianza mediante el software InfoStat®

Tomando en cuenta que para este estudio se tuvieron más de dos muestras o grupos en el mismo planteamiento, se utilizó el análisis de varianza para comprobar si existían diferencias estadísticamente significativas entre más de dos grupos

5.8.2 Económico

Se estimaron los costos de producción, y se cálculo la relación beneficio costo para cada tratamiento.

5.8.3 Opinión del Agricultor

Se determinó por medio de una boleta (ver anexo 1).

5.8.4 Manejo del experimento

El manejo agronómico se realizó de la manera tradicional y con la tecnología propia de los productores colaboradores.

6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Del rendimiento

En los cuadros 3 y 4 se presentan los resultados de la variable rendimiento (kg/ha), de las trece localidades donde se establecieron las parcelas de validación.

Cuadro 3. Rendimiento (kg/ha) del híbrido de maíz amarillo ICTA HA-01^{TMA} en parcelas de validación, Región Norte de Guatemala, 2019.

| Departamento | Municipio | Localidad | Rendimiento ICTA HA-01 (kg/ha) | Rendimiento testigo (kg/ha) |
|--------------|-------------------|----------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| Alta Verapaz | Fray B. Las Casas | El Cacao 1 | 1,567 | 654.23 |
| Alta Verapaz | Fray B. las Casas | Arenal 1 | 2,121 | 676.21 |
| Alta Verapaz | Panzós | Bella Flor | 3,516 | 1,879 |
| Alta Verapaz | Panzós | Corazón de Maíz | 3,924 | 1,241 |
| Alta Verapaz | Panzós | Sexili | 4,520 | 2,021 |
| Alta Verapaz | Panzós | Río Sarco Matriz | 2,936 | 994 |
| Alta Verapaz | Panzós | Río Sarco Matriz | 3,574 | 2,496 |
| Alta Verapaz | La Tinta | Sacsuha I | 1809 | 1727 |
| Alta Verapaz | La Tinta | Sacsuha II | 1909 | 1900 |
| Alta Verapaz | La Tinta | Coop. Valle Polochic | 1945 | 1636 |
| Quiché | Ixcán | Nueva Máquina | 7,696 | 4,616 |
| Quiché | Ixcán | Saholom | 3,194 | 4,383 |
| Quiché | Ixcán | Los Olivos | 7,445 | 6,825 |

Cuadro 4. Rendimiento (kg/ha) del híbrido de maíz amarillo ICTA HA-02^{TMA} en parcelas de validación, Región Norte de Guatemala, 2019.

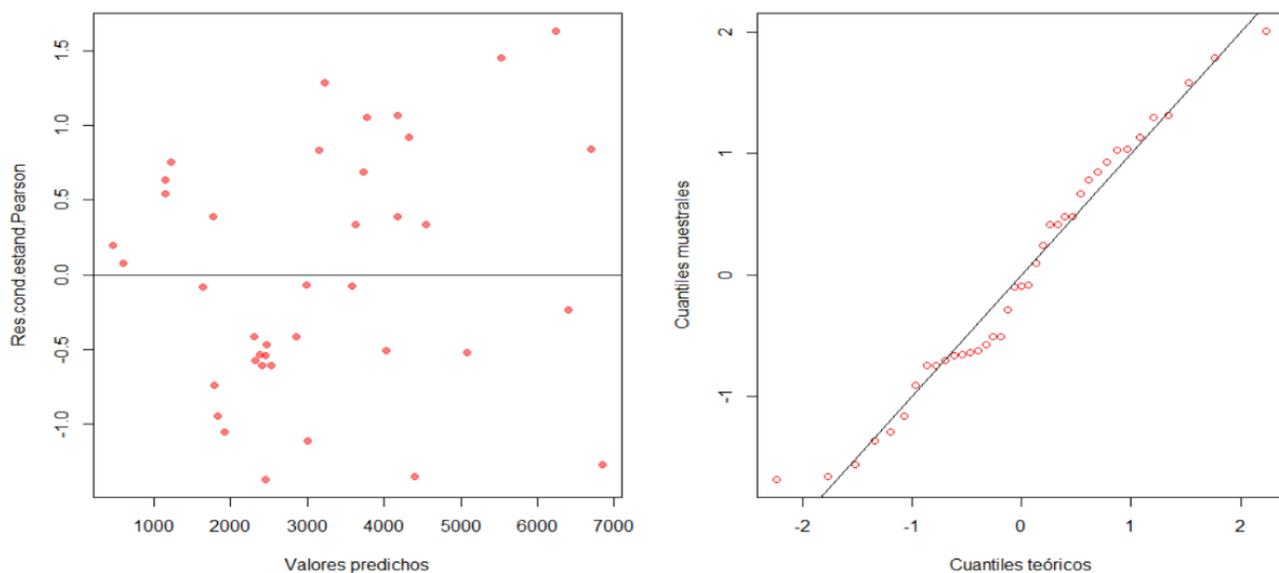
| Departamento | Municipio | Localidad | Rendimiento ICTA HA-02 (kg/ha) | Rendimiento testigo (kg/ha) |
|--------------|-------------------|--------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| Alta Verapaz | Fray B. Las Casas | El Cacao 1 | 1,134 | 654 |
| Alta Verapaz | Fray B. Las Casas | Arenal 1 | 989 | 676 |
| Alta Verapaz | Panzós | San Vicente II | 4,346 | 1,879 |
| Alta Verapaz | Panzós | Panla I | 4,713 | 1,241 |
| Alta Verapaz | Panzós | Panla II | 5,146 | 2,021 |
| Alta Verapaz | Panzós | Xucup I | 3,894 | 994 |
| Alta Verapaz | Panzós | Xucup II | 5,131 | 2,496 |
| Alta Verapaz | La Tinta | Sacsuha I | 2059 | 1727 |
| Alta Verapaz | La Tinta | Sacsuha II | 2000 | 1900 |
| Alta Verapaz | La Tinta | Coop. Polochic | 1986 | 1636 |
| Quiché | Ixcán | Nueva Máquina | 6,185 | 4,616 |
| Quiché | Ixcán | Nueva Esperanza | 4,847 | 4,383 |
| Quiché | Ixcán | Riberas del Chixoy | 5,710 | 6,825 |

Los datos de las parcelas de prueba se procesaron por medio de un análisis de varianza, utilizando modelos generales y mixtos, con el software Infostat, en el cual se determinó que había diferencia significativa entre los tratamientos, con un nivel de confianza de un 95% (Cuadro 5), validando la utilización del modelo a través de los supuestos de homogeneidad de varianzas y normalidad de los datos (Figura 4).

Cuadro 5. Análisis de varianza para la variable de respuesta rendimiento (kg/ha) obtenida en las parcelas de prueba de los híbridos ICTA HA-01^{TMA} e ICTA HA-02^{TMA} y sus comparadores en la región norte de Guatemala, 2019.

| <u>FV</u> | <u>gl</u> | <u>F-value</u> | <u>p-value</u> |
|--------------------|-----------|----------------|-------------------|
| <u>(Intercept)</u> | <u>1</u> | <u>44.7</u> | <u><0.0001</u> |
| <u>Híbridos</u> | <u>2</u> | <u>8.43</u> | <u>0.0017</u> |

Figura 4. Gráficos de diagnóstico de los supuestos de homogeneidad de varianzas y normalidad de datos.



Se efectuó la prueba de comparación de medias debido a que se encontró diferencia significativa para los tratamientos, para lo cual se aplicó la prueba DGC (cuadro 6).

Cuadro 6. Prueba de medias para la variable de respuesta rendimiento (kg/ha). Parcelas de prueba de los híbridos ICTA HA-01^{TMA} e ICTA HA-02^{TMA} y sus comparadores. Región norte de Guatemala, 2019.

| Tratamiento | Media(kg/ha) | EE | Grupo DGC |
|---------------------------|--------------|--------|-----------|
| ICTA HA-02 ^{TMA} | 3703.23 | 521.54 | A |
| ICTA HA-01 ^{TMA} | 3550.60 | 521.54 | A |
| Testigo | 2388.41 | 521.54 | B |

En el cuadro 6 se presenta el resultado de la prueba de medias para la variable rendimiento (kg/ha), donde se determinó que los híbridos ICTA HA-01^{TMA} e ICTA HA-02^{TMA} son similares en rendimiento de grano, pero superiores al testigo (híbridos que están cultivando los agricultores).

6.2 Análisis económico

El análisis económico se basó en la metodología de presupuestos parciales, siendo un método que se utiliza para organizar los datos experimentales alternativos.

De acuerdo a esta metodología, el análisis económico se realizó solamente a los tratamientos ICTA HA-02^{TMA} y el testigo

En el cuadro 7 se muestra el análisis de las variables económicas que representa la comparación entre el uso del híbrido ICTA HA-02^{TMA}, respecto a los híbridos que utiliza el agricultor dentro del área de influencia donde se realizó el estudio.

Cuadro 7. Análisis de las variables económicas para la determinación de la relación beneficio-costos. Parcelas de validación de los híbridos de maíz ICTA HA-02^{TMA} y su comparador en el norte de Guatemala, 2019.

| Variable | Híbrido ICTA HA-02 ^{TMA} | Híbridos testigos |
|------------------------------------|-----------------------------------|-------------------|
| Rendimiento de campo (kg/ha) | 3,703 | 2,388 |
| Precio de maíz (Q/qq) | 110.00 | Q 110.00 |
| Beneficios brutos de campo (Q/ha) | 8,910.00 | Q5,720.00 |
| Costos que varían (insumos) (Q/ha) | 3,100.00 | Q4,257.50 |
| Costos totales que varían (Q/ha) | 3,100.00 | Q 4,257.00 |
| Beneficios netos (Q/ha) | 5,810.00 | Q 1,463.00 |
| B/C | 1.87 | 0.34 |

Dentro de este marco de análisis, los resultados indican que por cada quetzal que se invierte en el costo de la semilla ICTA HA-02^{TMA}, se obtiene un retorno de 1.87 quetzales, en comparación con 0.34 quetzales que se obtiene en promedio con los híbridos que actualmente están cultivando los los agricultores.

Existe diferencia de costos con el insumo semilla dentro de la parcela testigo, principalmente por el costo que conlleva adquirir semilla mejorada de casas comerciales, que para este caso el agricultor estaría invirtiendo Q 450.00 para adquirir 30 libras de semilla híbrida para sembrar una hectárea, a un precio de Q 15.00 por libra.

Para el caso del híbrido ICTA HA-02^{TMA}, el costo de adquisición es de Q 240.00 para adquirir 30 libras de semilla, a un precio de Q 8.00 por libra.

6.3 Análisis de la opinión del agricultor con relación a los híbridos de maíz ICTA HA-01^{TMA} e ICTA HA-02^{TMA}

En la fase de validación de una nueva tecnología es determinante la opinión de los demandantes o potenciales usuarios de la misma, en este caso los agricultores, así como de los técnicos extensionistas, como agentes de cambio.

A través de las localidades de los municipios de La Tinta, Panzós, Fray Bartolomé de Las Casas e Ixcán, de la región norte de Guatemala, donde tuvo cobertura el proyecto de validación de los híbridos de maíz ICTA HA-01^{TMA} e ICTA HA-02^{TMA}, se realizaron actividades de campo, durante las cuales se presentó el proyecto de validación de tecnología de los nuevos híbridos de maíz a una población promedio de 125 agricultores y 8 extensionistas rurales.

Las actividades de campo se realizaron cuando el cultivo se encontraba en la fase pre cosecha, dando a conocer y explicando sus características agronómicas, relacionadas a altura de planta, color y tamaño de grano, días a cosecha, comportamiento ante enfermedades, potencial de rendimiento de grano, entre otros.

Se dio participación a los agricultores colaboradores para que fueran ellos quienes presentaran al grupo de invitados, todas las actividades de manejo agronómico que le dieron a sus parcelas de validación, explicando que el papel del técnico fue de observador del proceso de campo.

Luego del recorrido que realizaron los agricultores a las parcelas de validación para observar los nuevos híbridos de maíz, se corrió una boleta (Anexo 1) en la que se registró la opinión de los agricultores respecto a las características de los dos híbridos en fase de validación.

La población atendida a nivel de la región norte de Guatemala en los días de campo fue de 125 agricultores (100%); de esta población se tomó una muestra de 40 agricultores (32%) para correr la boleta de pre aceptabilidad.

Producto del corrido de la boleta, se tienen las siguientes respuestas:

1. Cómo califica a los híbridos de maíz ICTA HA-01^{TMA} e ICTA HA-02^{TMA} propuestos por ICTA?

ICTA HA-01^{TMA}: 49% bueno y 51% regular.

ICTA HA-02^{TMA}: 59% excelente y 41% bueno.

Los agricultores calificaron mejor al híbrido de maíz ICTA HA-02^{TMA}

2. Problemas o desventajas encontradas en los híbridos:

ICTA HA-01^{TMA}: El 100% vio como desventaja el color de grano, amarillo pálido, y menor rendimiento

ICTA HA-02^{TMA}: El 100% manifestó que n tenía ningún problema

3. Ventajas encontradas en los híbridos:

ICTA HA-01^{TMA}: 100%, tamaño de la mazorca y altura de planta

ICTA HA-02^{TMA}: 100%, tamaño de la mazorca, su buen rendimiento de grano, color amarillo intenso del grano

4. Cumple las expectativas en rendimiento del híbrido:

ICTA HA-01^{TMA}: 58% si; 42% no.

ICTA HA-02^{TMA}: 90% si; 10% no

5. Haría modificaciones a los híbridos:

ICTA HA-01^{TMA}: 100% Si, que el grano de maíz sea más intenso.

ICTA HA-02^{TMA}: 100% no.

6. Recomendaría los híbridos a otros productores de maíz:

ICTA HA-01^{TMA}: 48% por su rendimiento de grano si, 48% no, por color pálido del grano

ICTA HA-02^{TMA}: 100% si, por su buen rendimiento y buen color de grano

7. Utilizaría los híbridos para el próximo ciclo de cultivo:

ICTA HA-01^{TMA}: 45% probablemente si, 55% no.

ICTA HA-02^{TMA}: 100% si, siempre y cuando haya disponibilidad de semilla y a bajo costo.

| |
|---------|
| 3703.23 |
| 3550.60 |
| 2388.41 |

7 CONCLUSIONES

Los híbridos de maíz ICTA HA-01^{TMA} (3,703 kg/ha) e ICTA HA-02^{TMA} (3,551 kg/ha) fueron superiores en rendimiento, en comparación con el testigo del agricultor (2388 kg/ha), con lo cual se acepta la hipótesis planteada.

El análisis económico realizado a los tratamientos ICTA HA-02^{TMA} y el Testigo, indica que por cada quetzal que se invierte en el costo de la semilla, ICTA HA-02^{TMA}, se obtiene un retorno de 1.87 quetzales, en comparación con 0.34 quetzales que se obtiene con los híbridos que actualmente están utilizando los agricultores.

Con base en la opinión de los agricultores, ellos aprecian más al híbrido de maíz ICTA HA-02^{TMA}, principalmente por su forma de mazorca, rendimiento de grano y por el color amarillo intenso del grano

8 RECOMENDACIÓN

Con base en el rendimiento de grano y la opinión de los agricultores, se recomienda liberar el híbrido de maíz ICTA HA-02^{TMA}. Se sugiere integrar esta tecnología dentro de las diferentes estrategias de promoción para promover su uso, considerando como principal actor al Sistema Nacional de Extensión Rural del Ministerio de Agricultura, Ganadería y alimentación -MAGA-.

9 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ferrufino, I. (2009). Mapeo del Mercado de Semillas de Maíz y Frijol en Centroamérica. Managua, Nicaragua.

Fuentes M. (2002). El cultivo de maíz en Guatemala. ICTA. Guatemala, Guatemala. 45 p.

Fuentes M. (2002). Variedad de maíz ICTA B-7. ICTA. Guatemala, Guatemala. 4 p.

Fuentes López, M.R., J. van Etten, A. Ortega Aparicio & J.L. Vivero Pol. (2005). Maíz para Guatemala: Propuesta para la Reactivación de la Cadena Agroalimentaria del Maíz Blanco y Amarillo, SERIE "PESA Investigación", n°1, FAO Guatemala, Guatemala, C.A.

ICTA (Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas). (2012). Planificación del programa de investigación en el cultivo de maíz del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas – ICTA. Guatemala, Guatemala. 50 p.

MAGA (Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación). (2015). El Agro en cifras. Dirección de Planeamiento DIPLAN. 65 p.

MAGA (Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación). (2017). Situación del maíz blanco a marzo de 2017. Dirección de Planeamiento DIPLAN. 18 p.

United States Department Agricultural (USDA). (2010). Global estimates of corn prices, production and consumption.

Van Etten, J., y M. Fuentes. (2005). La crisis del maíz en Guatemala: Las importaciones de maíz y la agricultura familiar. Anuario de Estudios Centroamericanos, Universidad de Costa Rica, 30(1-2): 51-66.

10 ANEXOS

Anexo 1. Boleta de evaluación de tecnologías en parcelas de prueba, ICTA

| | | | |
|-----------------------------------|---|--|--|
| Tecnología probada | | Híbridos de maíz ICTA HA-01 ^{TMA} e ICTA HA-02 ^{TMA} | No. Boleta: |
| Coordenadas geográficas | | Lat: | Long: |
| Nombre del Agricultor | | | Fecha: |
| Localización de la parcela | | Comunidad: | |
| | | Municipio: | |
| | | Departamento: | |
| 1 | ¿Cómo califica los híbridos de maíz ICTA HA-01 ^{TMA} e ICTA HA-02 ^{TMA} propuestos por ICTA? | <i>Observaciones:</i> | Excelente () Bueno () Regular () Malo () Muy malo () |
| 2 | ¿Qué problemas o desventajas presentan para usted los híbridos de maíz ICTA HA-01 ^{TMA} e ICTA HA-02 ^{TMA} probadas en su sistema de cultivo? | | |
| 3 | ¿Qué ventajas observa en los híbridos de maíz ICTA HA-01 ^{TMA} e ICTA HA-02 ^{TMA} validadas por el ICTA? | | |
| 4 | ¿Cumplen los híbridos de maíz validados por ICTA, sus expectativas en rendimiento del cultivo? | sí_____ No_____ por qué? | |
| 5 | ¿Haría modificaciones a los híbridos de maíz ICTA HA-01 ^{TMA} e ICTA HA-02 ^{TMA} , validadas por ICTA? | sí_____ No_____ por qué? | |
| 6 | ¿Le recomendaría los híbridos de maíz ICTA HA-01 ^{TMA} e ICTA HA-02 ^{TMA} a otro productor? | sí_____ No_____ por qué? | |
| 7 | ¿Utilizará los híbridos de maíz ICTA HA-01 ^{TMA} e ICTA HA-02 ^{TMA} del ICTA en su próximo ciclo de cultivo? | <i>Observaciones:</i> | Probablemente sí () Definitivamente sí () Probablemente no () Definitivamente no () |

| | | |
|---|--|--|
| 8 | Observaciones no consideradas en los incisos del 1 al 7 sobre los híbridos de maíz ICTA HA-01 ^{TMA} e ICTA HA-02 ^{TMA} | |
|---|--|--|



MINISTERIO DE
AGRICULTURA,
GANADERÍA
Y ALIMENTACIÓN



Programa de consorcios de Investigación Agropecuaria