



MINISTERIO DE
AGRICULTURA,
GANADERÍA
Y ALIMENTACIÓN



Programa de consorcios de Investigación Agropecuaria

Cadena de Maíz

Validación del híbrido de grano blanco ICTA BIOZN-01 "Super maíz" con tolerancia a mancha de asfalto, mejor calidad de proteína y cinc

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

San Jerónimo, noviembre 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 esta 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	7
2	MARCO TEÓRICO.....	8
2.1	Situación actual del cultivo de maíz	8
2.2	Problemática	9
2.3	Bajo potencial de rendimiento	10
2.4	Contenido nutricional deficiente	10
2.5	Mancha de asfalto.....	11
3	OBJETIVOS	14
3.1	General.....	14
3.2	Específicos.....	14
4	HIPÓTESIS.....	14
5	MATERIALES Y MÉTODOS	15
5.1	Localidades	15
5.2	Época de Siembra.	16
5.3	Diseño experimental	16
5.4	Tratamientos	17
5.5	Tamaño de la unidad experimental.....	17
5.6	Modelo estadístico	17
5.7	Variable de Respuesta.	17
5.8	Análisis de la información.....	17
5.8.1	Estadístico	17
5.8.2	Económico.....	18
5.8.3	Opinión del Agricultor	18
5.8.4	Manejo del experimento.....	18
6	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	18
6.1	Rendimiento.....	18
6.2	Análisis económico.....	20
6.3	Análisis de la opinión del agricultor con relación a los híbridos de maíz ICTA BioZn-01 e ICTA BioZn-02	21
7	CONCLUSIONES	24
8	RECOMENDACION.....	24
9	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	25
10	Anexo	26

RESUMEN

Mairor Osorio¹
Juan Carlos Sis Perez²
Daniel Peinado Monroy²
Marco Antonio Colacho³
Eliseo Chun Batzin³

Los objetivos del proyecto fueron, determinar si los híbridos de maíz de grano blanco, ICTA BIOZn-01e ICTA BIOZn-02 “El Súper Maíz”, son superiores al testigo del agricultor en cuanto a rendimiento de grano, y recoger la opinión de los productores de maíz con relación a las características agronómicas de los mismos. 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 BioZn-01 mostró mejor rendimiento de grano, con 4,000 kg/ha, superando a los híbridos del agricultor, que obtuvieron una media de rendimiento de 2,746 kg/ha. El análisis económico indica que por cada quetzal que se invierte en la adquisición de la semilla ICTA BioZn-01, se obtiene un retorno de 2.12 quetzales, en comparación con 0.55 quetzales que se obtiene con los híbridos que actualmente utilizan los agricultores. De acuerdo a la opinión de los agricultores, es mejor valorado el híbrido de maíz ICTA BioZn-01, principalmente por su forma de mazorca, tamaño de grano y rendimiento superior a los genotipos ICTA BIOZN-02^{ACP+Zn} y testigo del agricultor. Con base en lo anterior, se recomienda liberar el híbrido ICTA BioZn-01 e 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-.

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 Colucho³
Eliseo Chun Batzin³

The objectives of the project were to determine if the white grain corn hybrids, ICTA BIOZn-01 and ICTA BIOZn-02 “El Super Maíz”, are superior to the farmer's control in terms of grain yield, and collect the opinion of the producers of corn in relation to the agronomic characteristics of the same. The project was executed with funds from the Regional Consortiums for Agricultural Research Program (CRIA), pursuant to a donation agreement between the Republic of Guatemala and the United States of America and the Institute of Agricultural Science and Technology (ICTA). The ICTA BioZn-01 corn hybrid showed better grain yield, with 4,000 kg / ha, surpassing the farmer's hybrids, which obtained an average yield of 2,746 kg / ha. The economic analysis indicates that for every quetzal that is invested in the acquisition of the ICTA BioZn-01 seed, a return of 2.12 quetzals is obtained, compared to 0.55 quetzals that is obtained with the hybrids that farmers currently use. According to the opinion of farmers, the ICTA BioZn-01 maize hybrid is better valued, mainly for its ear shape, grain size and superior yield than the ICTA BIOZN-02ACP + Zn genotypes and farmer's control. Based on the above, it is recommended to release the ICTA BioZn-01 hybrid and integrate this technology into the different promotion strategies to 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 la base de la dieta de la población guatemalteca, 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 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).

En Guatemala el maíz es un cultivo que se produce con pocos insumos comprados y está sometido a una serie de problemas biológicos, climáticos y edáficos. El problema central en torno al maíz es que la producción actual no cubre la demanda nacional. Para el año agrícola 2016/2017 (mayo a abril) el rendimiento promedio en Guatemala 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) y Argentina (8,080 kg/ha), son bastante bajos (MAIZAR, 2011).

Guatemala presenta serias limitaciones en cuanto a la situación nutricional de sus habitantes. El maíz es la principal fuente de energía en la dieta del guatemalteco; sin embargo, este cereal es deficitario en cantidad y calidad de proteína, especialmente aminoácidos esenciales como la lisina y triptófano.

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”, ha causado fuertes pérdidas en algunas regiones de Guatemala. Se ha reportado principalmente en el área norte y oriente del país en la época de siembra de noviembre a diciembre.

El desarrollo de cultivares híbridos es una alternativa altamente viable para incrementar los rendimientos en el cultivo de maíz, el Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas liberó en el año 2018 el híbrido ICTA HB-18^{ACP+Zn}, con el objetivo de mejorar la calidad nutricional del cultivo de maíz, pero además poner a disposición de los guatemaltecos un producto para una alimentación adecuada y de calidad como lo indicia la Ley del Sistema Nacional de Seguridad Alimentaria y Nutricional (SAN); sin embargo, su potencial de rendimiento no ha sido superior, además de tener limitantes en su adopción, debido a algunas de sus características como color y textura de grano; aunado a esto, es un cultivar que tiene alta susceptibilidad al complejo mancha de asfalto.

En el año 2018 se condujeron ensayos en fincas de agricultores en las regiones del trópico bajo de Guatemala, con el objetivo de seleccionar el o los dos mejores híbridos, que superaran al testigo comercial utilizado por los productores; con un buen nivel de tolerancia al complejo mancha de asfalto y con características agronómicas preferidas por los productores; se determinó

que los híbridos “ICTA BIOZn-01 e “ICTA BIOZn-02”, superaron en rendimiento a otros genotipos, incluyendo al testigo comercial, además mostraron un alto nivel de tolerancia al complejo mancha de asfalto; dadas sus excelentes características se les denominó “El Súper Maíz”.

2 MARCO TEÓRICO

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 0-3000 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 centro americana.

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/ha, 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, por lo que es necesario 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. Mientras que en el período enero-marzo/2017, las importaciones de maíz blanco ingresaron 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 situarse 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 Problemática

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 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).

2.3 Bajo potencial de rendimiento

El problema central en torno al maíz es que la producción de Guatemala no cubre la demanda nacional, lo que genera la 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 un 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).

2.4 Contenido nutricional deficiente

La Ley del Sistema Nacional de Seguridad Alimentaria y Nutricional (SAN) de Guatemala, en su artículo primero define como Seguridad Alimentaria y Nutricional “el derecho de toda persona a tener acceso físico, económico y social, oportuna y permanentemente, a una alimentación adecuada en cantidad y calidad, con pertinencia cultural, preferiblemente de origen nacional, así como a su adecuado aprovechamiento biológico, para mantener una vida saludable y activa”.

Guatemala presenta serias limitaciones en cuanto a la situación nutricional de sus habitantes. La desnutrición se concentra en la población indígena, principalmente en el área rural y en las regiones del norte y suroccidente del país. En Guatemala en las dos últimas décadas se ha mantenido una deficiencia promedio de 200 kCal diarias per cápita en grupos de la población que tienen dificultad para acceder a alimentos. Es decir, el consumo diario per cápita se ha reducido de 2,500 kCal en la década de 1980 a 2,300 kCal en los años 90 (PRM-PROFRIJOL, 2001).

El maíz es la principal fuente de energía en la dieta del guatemalteco, ya que aporta el 51.7% de sus necesidades (SNU, 2003), tanto de carbohidratos (65%) como de proteína (71%). Por otro lado, este cereal es deficitario en cantidad y calidad de proteína, especialmente aminoácidos esenciales como la lisina y triptófano. También el aporte de micronutrientes repercute en la Seguridad Alimentaria y Nutricional (SAN), ya que existe una gran carencia de micronutrientes en Guatemala (Molina *et al.*, s.f.). Para mejorar esta situación, la biofortificación de alimentos supone una alternativa viable (Fuentes *et al.*, 2005).

La dieta de la mayor parte de la población guatemalteca es deficiente en zinc, lo cual se exagera por su baja biodisponibilidad asociada con la alta presencia de antinutrientes, especialmente ácido fítico, en alimentos de origen vegetal como los cereales y leguminosas (Gibson *et al.*, 1999). Sin embargo, es importante mencionar que las fuentes de origen animal son poco accesibles para la mayor parte de la población, debido a su costo alto. Por los hallazgos del estudio Optifood (FANTA, 2014), el zinc se considera como un micronutriente problema, pues no se cuenta con fuentes locales disponibles de este mineral en la dieta local.

La biofortificación es un abordaje complementario para mejorar la ingesta de micronutrientes. Este abordaje innovador ofrece un potencial importante en el tema del zinc. Actualmente se cuenta con cultivos de maíz, arroz y papa con mayor contenido de zinc, que ya están en investigación y desarrollo por el ICTA con el apoyo del proyecto HarvestPlus, para ser utilizados a escala en Guatemala.

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).

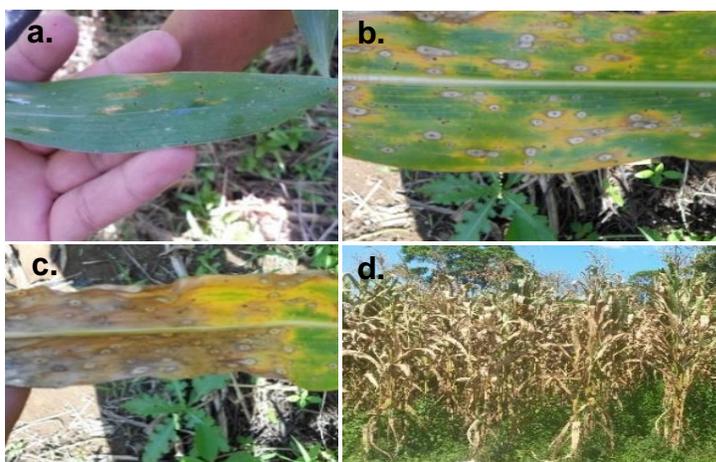


Figura 1. Complejo de hongos que provocan la “mancha de asfalto”. a. *Phyllachora maydis* Maubl. b. *Monographella maydis* Müller & Samuels. c. *Coniothyrium phyllachorae* Maubl. d. Daño de mancha de asfalto en híbridos de maíz, Ixcán, Quiché 2015. (Fotografías de Héctor Danery Martínez, Coordinador 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 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 de maíz blanco. Se estimó una pérdida equivalente entre cinco a seis millones de quetzales, de acuerdo al precio de venta del quintal de maíz en ese momento (ICTA, 2013).

En el año 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 de 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 de Guatemala (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 una 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 alto nivel de tolerancia al complejo mancha de asfalto en Guatemala, ICTA HB-17^{TMA}, es un híbrido de grano blanco normal (en cuanto al contenido de proteína).

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 grano blanco QPM, con alto potencial de rendimiento, sabiendo que el rendimiento es uno de los primeros factores a considerarse al momento de evaluar y seleccionar cultivares mejorados. También 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. Además, sabiendo que la biofortificación de alimentos es una alternativa bastante viable, el programa de maíz se ocupa de generar y desarrollar cultivares con alta calidad de proteína y con alto contenido de minerales esencial, como el zinc.

Desde el año 2016 el equipo de investigadores del programa de maíz evaluó, identificó y seleccionó a nivel de estación experimental los híbridos “**ICTA BIOZn-01^{TMA}** e **ICTA BIOZn-02**”, dos genotipos de grano blanco con alta calidad de proteína, alto contenido de zinc y con un

excelente nivel de tolerancia al complejo mancha de asfalto, que además poseen una textura de grano semidentada, muy apreciada por los agricultores de Guatemala. Debido a todas estas excelentes características se les ha denominado **“El Súper Maíz”**.

Durante el año 2018, en áreas del trópico bajo de Guatemala, se condujeron ensayos en fincas de agricultores; la finalidad de los ensayos fue evaluar el 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, con buenas características agronómicas haciendo énfasis en el tipo y color de grano, pero principalmente que tuvieran alta calidad de proteína y alto contenido de zinc.

Debido a lo anterior, durante el ciclo B del año 2019, se establecieron parcelas de prueba en las localidades del trópico bajo de Guatemala, con la finalidad de validar los híbridos triples de grano blanco con alta calidad de proteína, alto contenido de zinc y con tolerancia al complejo mancha de asfalto **“ICTA BIOZn-01^{TMA} e ICTA BIOZn-02”**, bajo las condiciones del agricultor.

3 OBJETIVOS

3.1 General

Contribuir mediante el uso de los híbridos **“ICTA BIOZn-01^{TMA} e ICTA BIOZn-02”** al manejo de la mancha de asfalto, mejorar el potencial de rendimiento y mejorar la disponibilidad de micronutrientes como el zinc en la dieta de los guatemaltecos.

3.2 Específicos

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

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

4 HIPÓTESIS

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

5 MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Localidades

La validación de los híbridos de maíz “ICTA BIOZn-01^{TMA} e ICTA BIOZn-02” se realizó en catorce localidades, distribuidas en los municipios de Panzós, La Tinta y Fray Bartolomé de Las Casas, del departamento de Alta Verapaz y Playa Grande, Ixcán, Quiché, ubicados en área de influencia del programa IICA CRIA; participaron productores colaboradores que se dedican al cultivo de maíz, quienes 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 de maíz ICTA BIOZn-01^{TMA}, Región Norte de Guatemala, 2020.

Departamento	Municipio	Localidad
Alta Verapaz	Fray B. de Las Casas	El Cacao 1
Alta Verapaz	Fray B. de Las Casas	Arenal 1
Alta Verapaz	Panzós	Pueblo Nuevo
Alta Verapaz	Panzós	Pueblo Nuevo
Alta Verapaz	Panzós	Pueblo Nuevo
Alta Verapaz	Panzós	Bella Flor
Alta Verapaz	Panzós	El Remolino
Alta Verapaz	Panzós	Limón Sarco
Alta Verapaz	La Tinta	Agua sucia 1
Alta Verapaz	La Tinta	Aldea C-9
Alta Verapaz	La Tinta	Cooperativa Valle
Quiché	Ixcán	Nueva Máquina
Quiché	Ixcán	Nueva Esperanza
Quiché	Ixcán	Riberas del Chixoy

Cuadro 2. Ubicación de parcelas de validación del híbrido de maíz ICTA BIOZn-02^{TMA}, Región Norte de Guatemala, 2020.

Departamento	Municipio	Localidad
Alta Verapaz	Fray B. de Las Casas	El Cacao 1
Alta Verapaz	Fray B. de Las Casas	Arenal 1
Alta Verapaz	Panzós	Pueblo Nuevo
Alta Verapaz	Panzós	Pueblo Nuevo
Alta Verapaz	Panzós	Pueblo Nuevo
Alta Verapaz	Panzós	Bella Flor
Alta Verapaz	Panzós	El Remolino
Alta Verapaz	Panzós	Limón Sarco
Alta Verapaz	La Tinta	Agua sucia 1
Alta Verapaz	La Tinta	Aldea C-9
Alta Verapaz	La Tinta	Cooperativa Valle
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

Se utilizó un 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 (Figura 2).



Figura 2. Croquis de campo, Bloques completos al azar

5.4 Tratamientos

- Híbrido ICTA BIOZn-01^{TMA}
- Híbrido ICTA BIOZn-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 para cada genotipo.

5.6 Modelo estadístico

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

con $i = 1 \dots 3$ *tratamientos*, $j = 1 \dots 14$ *localidades*

Donde:

Y_{ij} = rendimiento

μ = media general

τ_i = híbrido

β_j = efecto del bloque o localidad

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 los tratamientos.

5.8.2 Económico

Se estimaron los costos de producción; se determinó la relación beneficio/costo para cada tratamiento.

5.8.3 Opinión del Agricultor

La información se recopiló por medio de una boleta (ver anexo 1), posteriormente se calcularon porcentajes o se describieron las respuestas a las interrogantes planteadas.

5.8.4 Manejo del experimento

El manejo agronómico se realizó de manera tradicional (como acostumbran hacerlo los agricultores colaboradores).

6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Rendimiento

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

Cuadro 3. Rendimiento (kg/ha) del híbrido blanco de maíz ICTA BIOZn-01^{TMA} en parcelas de validación, Región Norte de Guatemala, 2019-2020.

Departamento	Municipio	Localidad	Rendimiento ICTA BioZn-01 ^{RMA} (kg/ha)	Rendimiento testigo (kg/ha)
Alta Verapaz	Fray B. Las Casas	El Cacao 1	1,567	796
Alta Verapaz	Fray B. Las Casas	Arenal 1	2,121	1768
Alta Verapaz	Panzós	Pueblo Nuevo	4,502	2,569
Alta Verapaz	Panzós	Pueblo Nuevo	4,392	2,826
Alta Verapaz	Panzós	Pueblo Nuevo	3,324	1,992
Alta Verapaz	Panzos	Vella Flor	5,131	3,721
Alta Verapaz	Panzos	El Remolino	4,321	2,631
Alta Verapaz	Panzos	Limón Sarco	6,126	3,236
Alta Verapaz	La Tinta	Agua sucia 1	2582	2418
Alta Verapaz	La Tinta	Aldea C-9	2645	2486
Alta Verapaz	La Tinta	Coop Valle	2372	2290
Quiché	Ixcán	Nva. Máquina	7532	4707
Quiché	Ixcán	Nva. Esperanza	4947	4227
Quiché	Ixcán	Riberas Chixoy	4427	2765

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

Departamento	Municipio	Localidad	Rendimiento ICTA BioZn-02 ^{RMA} (kg/ha)	Rendimiento testigo (kg/ha)
Alta Verapaz	Fray B. Las Casas	El Cacao 1	1,134	796
Alta Verapaz	Fray B. Las Casas	Arenal 1	989	1768
Alta Verapaz	Panzós	Xucup	3,521	2,569
Alta Verapaz	Panzós	Panla I	4,124	2,826
Alta Verapaz	Panzós	Panla II	4,514	1,992
Alta Verapaz	Panzós	Bella Flor	2,329	3,721
Alta Verapaz	Panzós	San Vicente I	4,514	2,631
Alta Verapaz	Panzós	San Vicente II	2786	3,236
Alta Verapaz	La Tinta	Agua sucia 1	2918	2418
Alta Verapaz	La Tinta	Aldea C-9	2636	2486
Alta Verapaz	La Tinta	Coop. Valle	5258	2290
Quiché	Ixcán	Nva. Máquina	4136	4707
Quiché	Ixcán	Nva. Esperanza	4568	4227
Quiché	Ixcán	Riberas Chixoy	3,523	2765

Los datos de las parcelas de prueba se procesaron haciendo un análisis de varianza, utilizando modelos generales y mixtos en Infostat; se determinó que existía diferencia significativa entre los tratamientos, con un nivel de confianza del 95% (cuadro 5), validando la utilización del modelo, a través de los supuestos de homogeneidad de varianzas y normalidad de los datos (Figura 3).

Cuadro 5. Análisis de varianza para la variable rendimiento (kg/ha). Validación de híbridos ICTA BIOZn-01^{TMA} e ICTA BIOZn-02. 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>129.6</u>	<u><0.0001</u>
<u>Híbridos</u>	<u>2</u>	<u>6.17</u>	<u>0.0064</u>

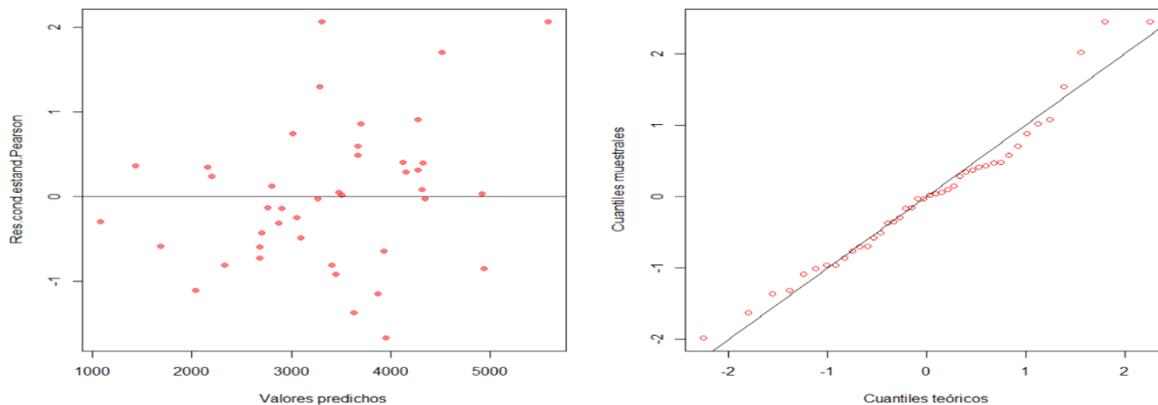


Figura 3. Diagnóstico de los supuestos de homogeneidad de varianzas y normalidad de datos.

Por existir diferencia significativa entre los tratamientos, se efectuó la prueba de comparación de medias, para lo cual se aplicó la prueba DGC (Cuadro 6), donde se muestra que el híbrido BioZn-01 es superior al híbrido BioZn-02 y al testigo.

Cuadro 6. Prueba de medias para la variable rendimiento (kg/ha). Validación de híbridos ICTA BIOZn-01^{TMA} e ICTA BIOZn-02. Región norte de Guatemala, 2019.

Tratamiento	Media (kg/ha)	EE	Grupo DGC
BioZn-01	3999.35	360.39	A
BioZn-02	3353.82	360.39	B
Testigo	2745.56	360.39	B

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 BioZn-01 y el Testigo

En el cuadro 7 se muestra el análisis de las variables económicas que representa la comparación entre el uso del híbrido BioZn-01 y el material 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-costo. Validación de híbridos de maíz ICTA BioZn-01 e ICTA BioZn-02 y sus comparadores en el norte de Guatemala, 2019.

Variable	Híbrido ICTA BioZn-01	Híbridos testigos
Rendimiento promedio (kg/ha)	4,000	2,727
Precio de maíz (Q/qq)	110.00	110.00
Beneficios brutos de campo (Q/ha)	9,680.00	6,600.00
Costos que varían (insumos) (Q/ha)	3,100.00	4,257.50
Costos totales que varían (Q/ha)	3,100.00	4,257.50
Beneficios netos (Q/ha)	6,580.00	2,342.50
B/C	2.12	0.55

Los resultados muestran que por cada quetzal que se invierte en el costo de la semilla ICTA BioZn-01, se obtiene un retorno de 2.12 quetzales, en comparación con 0.55 quetzales que se obtiene como retorno con los híbridos que utilizan los agricultores.

Se presenta diferencia 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 BioZn-01, el costo de adquisición fue 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 BioZn-01 e ICTA BioZn-02

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

En las localidades de los municipios de La Tinta, Panzós, Fray Bartolomé de Las Casas e Ixcán, Quiché, de la región norte de Guatemala, donde tuvo cobertura el proyecto de validación de los híbridos de maíz ICTA BioZn-01 e ICTA BioZn-02, 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 150 agricultores y 8 extensionistas rurales.

Las actividades de campo se realizaron cuando el cultivo se encontraba en la fase pre cosecha, 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, 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 hizo la recepción de la opinión de los agricultores respecto a las características de los dos híbridos en fase de validación.

La población atendida a nivel región norte de Guatemala en los días de campo fue de 150 agricultores (100%); de esta población se tomó una muestra de 55 agricultores (37%) para correr la boleta de opinión.

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

1. ¿Cómo califica a los híbridos de maíz ICTA BioZn-01 e ICTA BioZn-02 propuestos por ICTA?

ICTA BioZn-01 ^{RMA}: 65% excelente y 35% bueno.

ICTA BioZn-02 ^{RMA}: 59% regular y 41% bueno.

Los agricultores manifestaron preferencia por el híbrido de maíz ICTA BioZn-01^{RMA}

2. Problemas o desventajas encontradas en los híbridos

ICTA BioZn-01 ^{RMA}: 100%, que le afecta la enfermedad mancha de asfalto

ICTA BioZn-02 ^{RMA}: 100%, que le afecta la enfermedad mancha de asfalto y produce menos

3. Ventajas encontradas en los híbridos

ICTA BioZn-01: 100%, tamaño y forma de la mazorca, tamaño del grano y produce bien.

ICTA BioZn-02: 100%, tamaño de la mazorca, altura de planta.

4. ¿Cumplen las expectativas de rendimiento los híbridos?

ICTA BioZn-01^{RMA}: 100% sí.

ICTA BioZn-02^{RMA}: 65% si; 35% no

5. ¿Le haría modificaciones a los híbridos?

ICTA BioZn-01^{RMA}: 100% no.

ICTA BioZn-02^{RMA}: 100% no.

6. ¿Recomendaría los híbridos a otros productores de maíz?

ICTA BioZn-01^{RMA}: 75% si por su rendimiento de grano, 25% no, por ser afectada por la enfermedad mancha de asfalto

ICTA BioZn-02^{RMA}: 100% no, porque rinde menos y le da mancha de asfalto

7. ¿Utilizaría los híbridos para el próximo ciclo de cultivo?

ICTA BioZn-01^{RMA}: 100% si, pero que se tenga disponibilidad de semilla

ICTA BioZn-02^{RMA}: 100% no, porque rinde menos, y no tiene buena forma de mazorca

7 CONCLUSIONES

El híbrido de maíz ICTA BioZn-01 mostró mejor rendimiento de grano (4,000 kg/ha), superando a los híbridos del agricultor, que obtuvieron una media de rendimiento de 2,746 kg/ha, por lo cual se acepta la hipótesis planteada.

El análisis económico realizado a los tratamientos ICTA BioZn-01 y el Testigo, indica que por cada quetzal que se invierte en semilla ICTA BioZn-01, se obtiene un retorno de 2.12 quetzales, en comparación con 0.55 quetzales que se obtiene como retorno con los híbridos que actualmente utilizan los agricultores.

Con base en la opinión de los agricultores, hay una mayor preferencia por el híbrido de maíz ICTA BioZn-01, principalmente por su forma de mazorca, tamaño de grano y rendimiento superior a los genotipos ICTA BIOZN-02^{ACP+Zn} y testigo del agricultor.

8 RECOMENDACION

Atendiendo a los resultados y a la opinión de los agricultores, se recomienda liberar el híbrido de maíz ICTA BIOZN-01^{ACP+Zn} e integrar dicha tecnología a las diferentes estrategias 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. 50p. sp.

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 ANEXO

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

Tecnología probada		Híbridos de maíz ICTA BIOZN-01e ICTA BIOZN-02“El Súper Maíz”con tolerancia a mancha de asfalto, mejor calidad de proteína y cinc	No. Boleta:
Coordenadas geográficas		Lat: _____ Long: _____	Responsable:
Nombre del Agricultor			Fecha:
Localización de la parcela		Comunidad: Municipio: Departamento:	
1	¿Cómo califica a los híbridos de maíz ICTA BIOZN-01 e ICTA BIOZN-02 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 BIOZN-01 e ICTA BIOZN-02 probados en su sistema de cultivo?		
3	¿Qué ventajas observa en los híbridos de maíz ICTA BIOZN-01 e ICTA BIOZN-02 validados por el ICTA?		
4	¿Cumplen los híbridos de maíz ICTA BIOZN-01 e ICTA BIOZN-02, sus expectativas en rendimiento?	sí_____ No_____ ¿por qué?	
5	¿Le haría modificaciones a los híbridos de maíz ICTA BIOZN-01 e ICTA BIOZN-02 validados por el ICTA?	sí_____ No_____ ¿por qué?	
6	¿Le recomendaría los híbridos de maíz ICTA BIOZN-01 e ICTA BIOZN-02 a otro productor?	sí_____ No_____ ¿por qué?	
7	¿Utilizará los híbridos de maíz	<i>Observaciones:</i>	Probablemente sí ()

	ICTA BIOZN-01 e ICTA BIOZN-02 para su próximo ciclo de cultivo?		Definitivamente sí () Probablemente no () Definitivamente no ()
8	Observaciones no consideradas en los incisos del 1 al 7 sobre los híbridos de maíz ICTA BIOZN-01 e ICTA BIOZN-02 validados por el ICTA		



MINISTERIO DE
AGRICULTURA,
GANADERÍA
Y ALIMENTACIÓN



Programa de consorcios de Investigación Agropecuaria