



CRIA

Programa de consorcios de Investigación Agropecuaria



GOBIERNO de
GUATEMALA
DR. ALEJANDRO GIAMMATTEI



CRÍA Occidente

Cadena de maíz

Validación del híbrido de Grano Blanco ICTA BIOZn-01^{TMA} “El súper Maiz” con tolerancia a Mancha de Asfalto, mejor calidad de proteína y cinc

Sergio Gonzalo Hidalgo Villatoro

Huehuetenango, 24 de septiembre de 2020.

Este proyecto fue ejecutado gracias al apoyo financiero del Departamento de Agricultura de 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 mencionen.

LISTA DE ACRÓNIMOS

ACP	Alto Contenido de Proteínas
CRIA	Programa Consorcios Regionales de Investigación Agropecuaria
CIALO	Centro de Investigaciones del Altiplano Occidental
CONADUR	Consejo Nacional de Desarrollo Urbano y Rural
CRIA	Consortio Regional de Investigación Agrícola
DIPLAN	Dirección de Planeamiento
DVTT	Disciplina de Validación y Transferencia de Tecnología
ICTA	Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas
IICA	Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura
INE	Instituto Nacional de Estadística
MAGA	Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación
USAC	Universidad de San Carlos de Guatemala
USDA	Departamento de Agricultura de Estados Unidos

Índice General

1	Introducción	3
2	Marco Teórico	4
2.1	Situación actual del cultivo de maíz	4
2.2	Problemática	6
2.2.1	Bajo potencial de rendimiento	6
2.2.2	Contenido nutricional deficiente	7
2.2.3	Mancha de asfalto	8
2.3	Características del híbrido de maíz ICTA BIOZn-01 ^{TMA}	12
2.4	Características del híbrido de maíz "ICTA BIOZn-02 ^{TMA}	12
2.5	Parcela de prueba	12
3	Objetivos	13
3.1	Objetivo general	13
3.2	Objetivos específicos	14
4	Hipótesis	14
5	Metodología	14
5.1	Localidad	14
5.1.1	Época	14
5.2	Arreglo experimental	14
5.3	Tratamientos	14
5.4	Tamaño de la unidad experimental	14
5.5	Modelo estadístico para análisis de datos	15
5.5.1	Bloques completos al azar	15
5.5.2	Análisis de estabilidad	15
5.6	Variables de respuesta	15

5.7	Análisis de la información	15
5.8	Manejo del experimento	16
6	Resultados	16
6.1	Rendimiento de grano de maíz en parcelas de validación	16
6.2	Rendimiento de grano de maíz del híbrido ICTA BIOZn-01 ^{TMA} y testigo del agricultor.....	17
6.3	Análisis estadístico de prueba T (muestras apareadas) al rendimiento del híbrido color de grano blanco ICTA BIOZn-01 ^{TMA} y testigo del agricultor, en 16 ambientes de Huehuetenango, Guatemala.....	18
6.4	Rendimiento de grano de maíz del híbrido ICTA BIOZN-02 ^{TMA} y testigo del agricultor.....	19
6.5	Análisis estadístico de prueba de T (muestras apareadas) al rendimiento del híbrido ICTA BIOZn-02 ^{TMA} y testigo del agricultor.....	20
6.6	Análisis combinado de la varianza a tres genotipos de maíz blanco	20
6.7	Análisis de estabilidad a rendimiento de tres genotipos de maíz color de grano blanco en 16 ambientes de Huehuetenango, Guatemala	22
6.8	Análisis de pre aceptabilidad de tres genotipos de maíz de grano color blanco...	23
6.9	Análisis del fijación de micronutrientes hierro y zinc	25
7	Conclusiones	28
8	Recomendación.....	28
9	Referencias.....	29
10	Anexo.....	32

ÍNDICE DE TABLAS

Página

- 1 Rendimiento de tres genotipos de maíz color de grano blanco, en 16 ambientes de Huehuetenango, Guatemala. 17
- 2 Prueba T (muestras apareadas) a rendimiento de genotipos de maíz, color de grano blanco ICTA BIOZn-01^{TMA} y testigo del agricultor en 16 ambientes de Huehuetenango, Guatemala. 19
- 3 Prueba T (muestras apareadas) a rendimiento de genotipos de maíz, color de grano blanco ICTA BIOZn-02^{TMA} y testigo del agricultor en 16 ambientes de Huehuetenango, Guatemala. 20
- 4 Medias de ajuste al modelo 000_RENDIMIENTO_REMIL a rendimiento de tres genotipos de maíz, color de grano blanco ICTA BIOZn-01^{TMA}, ICTA BIOZn-02^{TMA} y testigo del agricultor en 16 ambientes de Huehuetenango, Guatemala. 20
- 5 Prueba de hipótesis marginales (SC tipo III) a rendimiento de grano de tres genotipos de maíz, color de grano blanco ICTA BIOZn^{TMA}-01, ICTA BIOZn^{TMA}-02 y testigo del agricultor en 16 ambientes de Huehuetenango, Guatemala. 21
- 6 Prueba múltiple de medias DGC ($\alpha=0.05$) a rendimiento de grano de tres genotipos de maíz, color de grano blanco ICTA BIOZn-01^{TMA}, ICTA BIOZn-02^{TMA} y testigo del agricultor, en 16 ambientes de Huehuetenango, Guatemala. 21
- 7 Fijación de hierro y zinc en mg/kg en tres genotipos de maíz, color de grano blanco ICTA BIOZn-01^{TMA}, ICTA BIOZn-02^{TMA} y testigo del agricultor (ICTA HB-83) en la localidad de Agua Escondida, Santa Ana Huista, Huehuetenango, Guatemala. 25
- 8 Prueba “t” a fijación de hierro y zinc del grano de maíz expresado en mg/kg, en genotipos de color de grano blanco ICTA BIOZn-01^{TMA}, ICTA BIOZn-02^{TMA} y testigo del agricultor, en la localidad de Agua Escondida, Santa Ana Huista, Huehuetenango, Guatemala. 26

ÍNDICE DE FIGURAS

Página

1	Complejo de hongos que provocan la “mancha de asfalto”.	9
2	Rendimiento de parcelas de validación de genotipos de maíz color de grano blanco ICTA BIOZn-01 ^{TMA} y testigo del agricultor en 16 ambientes de Huehuetenango, Guatemala.	18
3	Rendimiento de parcelas de validación de genotipos de maíz color de grano Blanco ICTA BIOZn-02 ^{TMA} y testigo del agricultor, en 16 ambientes de Huehuetenango, Guatemala.	19
4	Prueba múltiple de medias de grupos excluyentes DGC (Alfa=0.05) a rendimiento de grano de tres genotipos de maíz color de grano blanco ICTA BIOZn-01 ^{TMA} , ICTA BIOZn-02 ^{TMA} y testigo del agricultor en 16 ambientes de Huehuetenango, Guatemala.	22
5	Estabilidad dinámica de Eberhart y Russell a tres genotipos de maíz color de grano blanco, en el trópico bajo de Huehuetenango, Guatemala.	23
6	Análisis de correspondencia simple de pre aceptabilidad de genotipos de maíz color de grano blanco en el trópico bajo de Huehuetenango, Guatemala.	24

Validación del híbrido de Grano Blanco ICTA BIOZn-01^{TMA} “El súper Maíz” con tolerancia a Mancha de Asfalto, mejor calidad de proteína y cinc

Sergio Hidalgo Villatoro ¹

Resumen

En Guatemala la producción de maíz no cubre la demanda nacional, se importa de Estados Unidos, Argentina o China. La enfermedad mancha de asfalto” TSC (Tar spot complex, por sus siglas en inglés), ha causado pérdidas económicas en los últimos años. La enfermedad prolifera en condiciones de alta humedad ambiental, niveles altos de fertilización, genotipos susceptibles, virulencia de patógenos involucrados. Guatemala presenta deficiencia promedio de 200 kCal diarias per cápita, el maíz es la principal fuente de energía, cubre el 51,7% de sus necesidades, tanto de carbohidratos (65%) como de proteína (71%). El aporte de micronutrientes repercute en la Seguridad Alimentaria y Nutricional, especialmente la deficiencia de Zinc. La biofortificación de alimentos supone una alternativa viable. El objetivo del estudio fue: validar los genotipos ICTA BIOZn-01^{TMA} e ICTA BIOZn-02^{TMA} con tolerancia a mancha de asfalto y mayor fijación de zinc, en el trópico bajo de Huehuetenango, Guatemala. Se establecieron las parcelas en finca de agricultores en el año 2019, en arreglo estadístico de parcelas pareadas y 16 ambientes del trópico bajo de Huehuetenango, Guatemala. El análisis combinado detectó diferencias altamente significativas para rendimiento, entre genotipos, no así entre ambientes. ICTA BIOZn-01^{TMA} (5736.06 kg ha⁻¹), superó en rendimiento a ICTA BIOZn-02^{TMA} (2417.28 kg ha⁻¹) y testigos de los agricultores (3318.78 kg ha⁻¹). Ninguno de los genotipos evaluados, posee estabilidad de su rendimiento al cultivarse en un ambiente promedio de producción. ICTA BIOZn-01^{TMA} posee mayor pre aceptabilidad entre los agricultores por su forma de mazorca, tamaño de grano y rendimiento. No se manifestó presencia del complejo de mancha de asfalto, en las localidades bajo estudio. Desde el punto de vista técnico de la biofortificación de cultivos agrícolas, los genotipos evaluados no se catalogan como biofortificados. Se recomienda continuar con el mejoramiento del rendimiento y fijación de micronutrientes de los genotipos evaluados.

Palabras clave: Proteína más zinc. Trópico bajo de Guatemala.

¹ Investigador DVTT, CIALO, Huehuetenango.

Validation of the ICTA BIOZn-01^{TAS} White Grain hybrid "The Super Corn" with tolerance to Asphalt Stain, better quality of protein and zinc

Sergio Hidalgo Villatoro ¹

Summary

In Guatemala maize production does not meet domestic demand, it is imported from the United States, Argentina or China. TSC (Tar spot complex) disease has caused economic losses in recent years. The disease proliferates under conditions of high environmental humidity, high levels of fertilization, susceptible genotypes, virulence of pathogens involved. Guatemala has an average deficiency of 200 kCal per day per capita, maize is the main source of energy, covering 51.7% of its needs, both carbohydrates (65%) protein (71%). The contribution of micronutrients has an impact on Food and Nutrition Security, especially Zinc deficiency. Food biofortification is a viable alternative. The objective of the study was: to validate the ICTA BIOZn-01^{TSC} and ICTA BIOZn-02^{TSC} genotypes with asphalt spot tolerant and increased zinc fixation in the low tropics of Huehuetenango, Guatemala. The plots were established on farmers' farm in 2019, in statistical arrangement of paired plots and 16 environments of the lower tropics of Huehuetenango, Guatemala. The combined analysis found highly significant differences for performance, between genotypes, not between environments. ICTA BIOZn-01^{TSC} (5736.06 kg ha⁻¹), outperformed ICTA BIOZn-02^{TSC} (2417.28 kg ha⁻¹) and witnesses of farmers (3318.78 kg ha⁻¹). None of the genotypes evaluated possesses stability of their yield when grown in an average production environment. ICTA BIOZn-01^{TAS} has greater pre-acceptability among farmers because of its cob shape, grain size and yield. There was no presence of the asphalt stain complex in the villages under study. From a technical point of view of the biofortification of agricultural crops, the genotypes evaluated are not classified as biofortified. It is recommended to continue improving the performance and fixation of micronutrients of the evaluated genotypes.

Keywords: Protein plus zinc. Low tropics of Guatemala.

¹Investigatory DVTT, CIALO, Huehuetenango.

1 Introducción

El grano de maíz, sobre todo el blanco, es un cereal importante para el consumo humano (Paliwal, 2001), es la base de la dieta de la población guatemalteca, especialmente para la población más pobre (Van Etten, 2005). El consumo promedio per cápita de maíz por año es de 116 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 que 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⁻¹ (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⁻¹) y Argentina (8,080 kg ha⁻¹), 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 genotipos mejorados 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 grano 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).

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 genotipos, que superaran al testigo comercial utilizado por los productores; con un buen nivel de tolerancia al complejo mancha de asfalto, alto contenido de proteína y con características agronómicas preferidas por los productores; se determinó que los genotipos ICTA BIOZn-01^{TMA} e ICTA BIOZn-02^{TMA}, superaron en rendimiento a otros genotipos, incluyendo al testigo comercial, además mostraron un alto nivel de tolerancia al complejo mancha de asfalto. Debido a lo anterior, durante el ciclo “B” 2019, se sembraron parcelas de prueba en fincas de agricultores, en las localidades del trópico bajo de Guatemala, con el objetivo de validar los genotipos ICTA BIOZn-01^{TMA} e ICTA BIOZn-02^{TMA}.

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. Este país es el mayor productor y consumidor de maíz en la región centroamericana.

Las estadísticas de producción de maíz en Guatemala presentan 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, con rangos que van desde 1,300,000, 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⁻¹, con medias que llegaron a 2,000 kg ha⁻¹ 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 de alrededor de 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 años 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⁻¹ (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 ingresaron en un 90% de Estados Unidos de Norteamérica y el 10% de México (MAGA, 2017).

Según los resultados de la ENA (2016), que presentó el INE, las importaciones de maíz blanco mostraron un comportamiento irregular durante el período 2007-2013; mientras que a partir del año 2016 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 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 0.7 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 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).

2.2.1 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).

Los rendimientos dependen en gran medida de los insumos para la producción y de su precio. La falta de recursos y 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).

2.2.2 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 alto costo. Por los hallazgos del estudio Optifood (FANTA, 2016), 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 fijación de zinc, que ya están en investigación y desarrollo por el ICTA, con el apoyo del proyecto HarvestPlus, para ser utilizados en Guatemala.

2.2.3 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 2) (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 la 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 genotipos 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. Estimándose 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 2009 el MAGA reportó pérdidas por Q 25.9 millones por daños en 1,506 hectáreas de cultivo de maíz en cuatro departamentos, se vieron afectadas 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 (USAC), se mencionó 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 alto nivel de tolerancia al complejo mancha de asfalto en Guatemala, ICTA HB-17^{TMA}, es un híbrido de grano blanco.

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, genotipos 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 se toma en cuenta 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 alta fijación de minerales esenciales 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 genotipos ICTA BIOZn-01^{TMA} e ICTA BIOZn-02^{TMA}, dos genotipos de grano blanco con mayor fijación de zinc y tolerancia al complejo mancha de asfalto, que además poseen una textura de grano semidentada, muy apreciada por los agricultores de Guatemala.

Durante el ciclo “B” 2018 (junio a noviembre), en áreas del trópico bajo de Guatemala, se condujeron ensayos en fincas de agricultores; para identificar y seleccionar el o los mejores genotipos 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, que tuvieran mayor fijación de zinc.

Durante el ciclo B de 2019, se establecieron parcelas de prueba en las localidades del trópico bajo de Guatemala, con la finalidad de validar los genotipos de mayor fijación de zinc y con tolerancia al complejo mancha de asfalto ICTA BIOZn-01^{TMA} e ICTA BIOZn-02^{TMA}, bajo las condiciones del agricultor.

2.3 Características del híbrido de maíz ICTA BIOZn-01^{TMA}

Altura de planta: 2.54 metros, altura a mazorca: 1.38 metros, 59 días a floración masculina, 60 días a floración femenina, 120 días a cosecha, color de grano blanco, textura del grano semidentado, rendimiento de 6000 kg ha⁻¹, rango de adaptación de 0 a 1400 msnm, tolerante al complejo de mancha de asfalto (Comunicación con el coordinador del programa de maíz, ICTA, 2019).

2.4 Características del híbrido de maíz “ICTA BIOZn-02^{TMA}”

Altura de planta: 2.64 metros, altura a mazorca: 1.57 metros, 61 días a floración masculina, 62 días a floración femenina, 120 días a cosecha, color de grano blanco, textura del grano semidentado, rendimiento de 6500 kg ha⁻¹, rango de adaptación de 0 a 1400 msnm, tolerante al complejo de mancha de asfalto (Comunicación con el coordinador del programa de maíz, ICTA. 2019).

2.5 Parcela de prueba

Uno de los pasos claves en la generación, prueba y validación de tecnología, es la conducción de parcelas de prueba, áreas de tamaño semi comercial en las cuales el agricultor pone a prueba la tecnología del ICTA, bajo sus propias condiciones.

El aspecto importante en esta etapa de trabajo dentro del Sistema Tecnológico del ICTA, es que el propio agricultor ejecuta el trabajo y el técnico del ICTA actúa únicamente en calidad de asesor, y al final, recaba la opinión del agricultor en cuanto a la factibilidad de uso de la nueva tecnología. El ICTA toma muy en cuenta la opinión del agricultor, y la promoción de la nueva tecnología dependerá de su adopción o rechazo por parte del agricultor (ICTA, 1981).

La dimensión de la parcela de prueba varía según sea el tamaño de las unidades de producción de la región. De los resultados que se obtienen en los Ensayos de Finca, se selecciona la práctica que contribuya al mayor incremento en rendimiento con el menor riesgo económico posible; se debe seleccionar el menor número de variables y que éstas prácticas no impliquen un cambio total de los hábitos del agricultor o mayor inversión de tiempo.

La parcela de prueba puede tener un solo componente: variedad, dosis de fertilización, distancias, entre otros y los técnicos de la región, de acuerdo con su experiencia, decidirán la conveniencia de poner más de una o de separarlas con una sola alternativa de producción.

Es importante establecer desde un principio en qué va a consistir la relación de trabajo, dejando claro dos puntos principales:

- Que el agricultor es el responsable de ejecutar la parcela de prueba; y
- Que el agricultor pondrá lo insumos que tenga o pueda conseguir.

Donde quiera que sea posible, es recomendable que el agricultor siembre cierta extensión de su terreno con el mismo cultivo, de manera que al final puedan hacerse comparaciones en términos de rendimiento y de costos de producción.

El técnico debe visitar al agricultor unos días antes de la siembra para aclarar dudas pendientes y conjuntamente tomar muestras de suelos y llevar la hoja de “manejo previo”.

Durante la siembra y desarrollo del cultivo, el técnico deberá estar presente y explicarle al agricultor las innovaciones introducidas, las razones de las modificaciones y la ventaja de éstas. Siempre hay que tener cuidado de efectuar la siembra en la misma época en que el agricultor la acostumbra, pues en muchos lugares es un factor crítico que hay que considerar seriamente.

Llegada la época de la cosecha, el técnico deberá seleccionar al azar dentro de la finca del agricultor, la parcela comparativa, demarcarla e indicar al agricultor que tanto la cosecha de ésta área como de la Parcela de Prueba, deberá ponerla por separado en el campo, para hacer las determinaciones y comparaciones respectivas.

De nuevo se hace énfasis en que el técnico debe supervisar el cultivo, desde el principio hasta el final y evitar que por descuido o ignorancia, el agricultor mezcle el producto cosechado, dando lugar a la obtención de datos falsos (ICTA, 1981).

3 Objetivos

3.1 Objetivo general

Validar los genotipos de maíz ICTA BIOZn-01^{TMA} e ICTA BIOZn-02^{TMA} con tolerancia a mancha de asfalto y mayor fijación de zinc.

3.2 Objetivos específicos

- Determinar si los genotipos de maíz ICTA BIOZn-01^{TMA} e ICTA BIOZn-02^{TMA}, son superiores al testigo del agricultor, en cuanto a rendimiento de grano.
- Recabar la opinión de los agricultores sobre el comportamiento de los genotipos de maíz bajo sus condiciones de manejo agronómico ante la presencia de la mancha de asfalto.
- Definir si los genotipos bajo evaluación poseen mayor fijación de hierro y zinc en su grano, que los testigos del agricultor.

4 Hipótesis

Los genotipos de maíz ICTA BIOZn-01^{TMA} e ICTA BIOZn-02^{TMA}, poseen mayor potencial de rendimiento que el testigo del agricultor.

5 Metodología

5.1 Localidad

La Democracia, Santa Ana Huista, Jacaltenango y Nentón, Huehuetenango.

5.1.1 Época

Junio 2019 a abril 2020.

5.2 Arreglo experimental

Parcelas pareadas. Con tres tratamientos y 16 localidades.

5.3 Tratamientos

- ICTA BIOZn-01^{TMA}
- ICTA BIOZn-02^{TMA}
- Testigo del agricultor

5.4 Tamaño de la unidad experimental.

El tamaño de la unidad experimental fue de 441 m².

5.5 Modelo estadístico para análisis de datos

5.5.1 Bloques completos al azar

$$Y_{ij} = \mu + T_i + L_j + \varepsilon_{ij}$$

Dónde:

Y_i = Efecto de rendimiento del maíz en la i localidad

μ = Efecto de la media general

L_j = Efecto de la j-ésimo localidad

T_i = Efecto del T-iésimo tratamiento.

E_{ij} = Efecto del error experimental

5.5.2 Análisis de estabilidad

$$Y_{ij} = U_i + B_i + I_j + S_{ij}$$

Dónde:

Y_{ij} = Medida varietal de la i-ésima variedad en el j-ésimo ambiente ($i = 1, 2, \dots, v$; $j = 1, 2, 3, \dots, n$).

U_i = Media de i-ésima variedad a través de todos los ambientes.

B_i = Coeficiente de regresión que mide la respuesta de la variedad i en varios ambientes.

I_j = Índice ambiental obtenido como promedio de todas las variedades en el j-ésimo ambiente menos la media general.

S_{ij} = Desviación de regresión de la variedad i en el ambiente j (Di Rienzo, et al. 2008)

5.6 Variables de respuesta

Rendimiento de grano (kg ha^{-1}): Peso total de grano comercial al 15% de humedad.

5.7 Análisis de la información

El efecto del rendimiento de cada tratamiento se analizó por prueba “t” para datos pareados. Para observar el efecto del rendimiento de los tres tratamientos en su conjunto se realizó un análisis de la varianza combinado por intermedio de modelos lineales generales y mixtos con el apoyo del Software Info Stat versión 2008.

Para el análisis de estabilidad del rendimiento de genotipos en los distintos ambientes, se procedió a realizar análisis de estabilidad dinámica de Eberhart y Russell (1966).

Para evaluar la pre aceptabilidad de los genotipos en validación, se utilizó una boleta para el efecto (anexo 1), se procedió a tabular los datos de la opinión de los agricultores, en

una hoja Excel, la cual se pasó al programa estadístico InfoStat versión 2008. Se hizo un análisis multivariado de contingencia del cruce de las variables bajo evaluación.

Así mismo se enviaron muestras de grano para su análisis al laboratorio de química agrícola, del Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal –CENTA-, del Ministerio de Agricultura y Ganadería –MAG- de la república de El Salvador, para determinar la fijación de zinc en el grano de maíz.

5.8 Manejo del experimento

El manejo agronómico de las parcelas lo ejecutó el agricultor. El técnico del ICTA actuó en calidad de asesor, al final del cultivo, se recabó la opinión del agricultor en cuanto a la factibilidad de uso de la nueva tecnología. Para tomar en cuenta la opinión del agricultor y la promoción de la nueva tecnología, se ejecutó actividad de transferencia a agricultores del área de influencia de las parcelas y equipos de extensión del MAGA, de ello depende si se adoptan o rechazan los nuevos genotipos bajo evaluación. Para determinar si los genotipos, tenían características de resistencia a mancha de asfalto, se monitoreó durante el ciclo de cultivo la presencia o ausencia de la misma.

6 Resultados

6.1 Rendimiento de grano de maíz en parcelas de validación

Se analizaron estadísticamente 16 parcelas de validación de tecnología del genotipo de maíz color de grano blanco ICTA BIOZn-01^{TMA} y 16 parcelas del genotipo de maíz grano blanco ICTA BIOZn-02^{TMA}, que tuvieron como comparador un genotipo híbrido (el que utiliza el agricultor) (Tabla 1). Las parcelas fueron establecidas durante el ciclo 2019 en el departamento de Huehuetenango, Guatemala.

Tabla 1. Rendimiento de tres genotipos de maíz en 16 ambientes de Huehuetenango, Guatemala.

Parcela	Rendimiento kg ha ⁻¹ de maíz			Nombre del testigo
	BIOZn-01 ^{TMA}	BIOZn-02 ^{TMA}	Testigo	
1	5865.385	4890.734	4459	HB-15
2	6175.699	3111.888	2840.91	HB-83
3	6317.745	4543.269	3607.95	HB-83
4	6844.406	3771.853	3192.74	HB-83
5	6095.455	5240.909	3424.39	HB-83
6	5616.259	4222.028	2770.98	HB-15
7	6094.843	4584.79	3070.37	DK-390
8	5441.434	4075.612	1781.03	HB-83
9	5583.479	3424.388	2084.79	A-7573
10	6086.101	3026.661	3496.5	HB-83
11	5769.231	3116.073	2084.79	HB-83
12	5638.112	3398.164	4165.45	HB-15
13	5419.58	3103.167	4913.64	DK-390
14	5659.965	3186.189	2954.55	A-7573
15	5004.65	4926.74	2993.18	DK-390
16	4164.68	3913.66	5280.23	A-7573

6.2 Rendimiento de grano de maíz del híbrido ICTA BIOZn-01^{TMA} y testigo del agricultor.

El híbrido de maíz de grano blanco ICTA BIOZn-01^{TMA} con una media de rendimiento de 5736.06 kg ha⁻¹ superó en rendimiento al híbrido de maíz testigo del agricultor (genotipos ICTA HB-83, ICTA HB-15, DK-390 y A-7573) que presentaron una media de 3186.78 kg ha⁻¹, siendo la diferencia en rendimiento entre ambos de 2417.28 kg ha⁻¹ en los distintos ambientes evaluados. Únicamente en la localidad 16 el híbrido testigo del agricultor superó en rendimiento a los dos genotipos bajo validación (Figura 2).

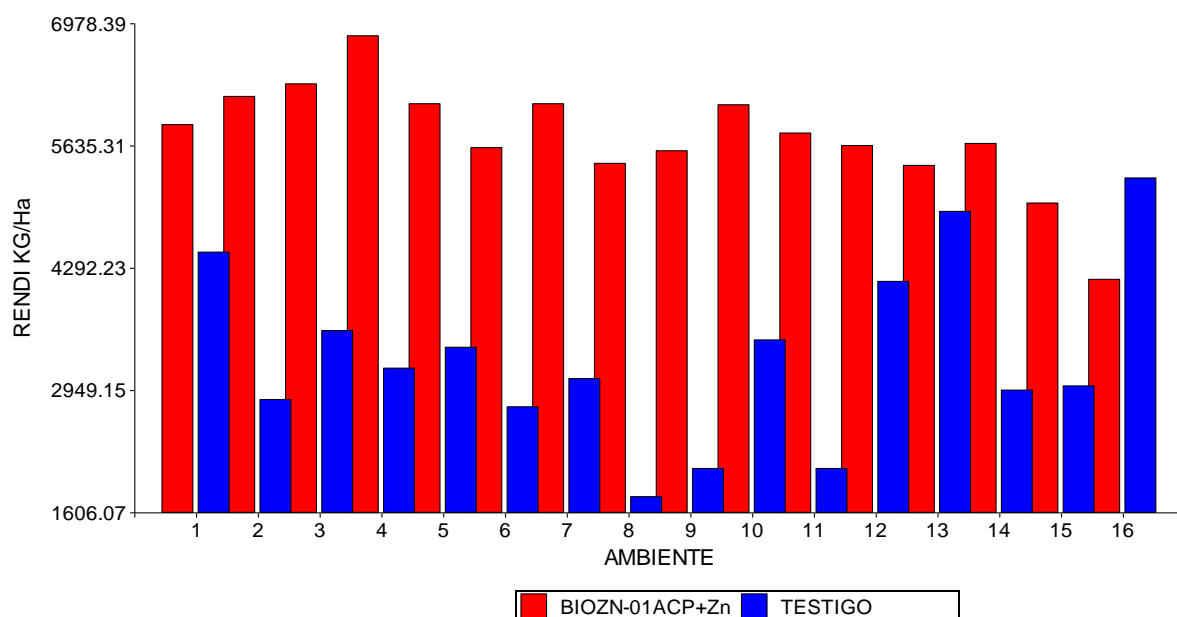


Figura 2. Rendimiento en parcelas de validación de maíz híbrido color de grano blanco ICTA BIOZn-01^{TMA} y testigo del agricultor, en 16 ambientes de Huehuetenango, Guatemala.

6.3 Análisis estadístico de prueba T (muestras apareadas) al rendimiento del híbrido color de grano blanco ICTA BIOZn-01^{TMA} y testigo del agricultor, en 16 ambientes de Huehuetenango, Guatemala.

Al realizar la prueba T (muestras apareadas) al rendimiento de grano al 14% de humedad (Tabla 2), a la tecnología de ICTA (ICTA BIOZn-01^{TMA}) la media de la diferencia de 2417.28 kg ha⁻¹, el valor T 7.39 y el valor bilateral <0.0001 determinó que existe diferencia altamente significativa entre las dos tecnologías evaluadas. La tecnología de ICTA (ICTA BIOZn-01^{TMA}) tiene un rendimiento superior respecto al testigo del agricultor. Por lo tanto, se acepta la hipótesis que dice que el híbrido triple de maíz “ICTA BIOZN-01^{TMA} posee mayor potencial de rendimiento que el testigo del agricultor.

Tabla 2. Prueba t (muestras apareadas) al rendimiento del híbrido color de grano blanco ICTA BIOZn-01^{TMA} y testigo del agricultor, en 16 ambientes de Huehuetenango, Guatemala.

Obs (1)	Obs (2)	N	media(dif)	DE(dif)	T	Bilateral
Tecnología de ICTA BIOZN-01 ^{TMA})	Tecnología del agricultor (Testigo)	16	2417.28	1308.34	7.39	<0.0001

Fuente: ICTA, Guatemala.

6.4 Rendimiento de grano de maíz del híbrido ICTA BIOZN-02^{TMA} y testigo del agricultor

El híbrido de maíz de grano blanco ICTA BIOZn-02^{TMA} con una media de rendimiento de 3908.38 kg ha⁻¹ superó en rendimiento al híbrido de maíz testigo del agricultor (genotipos ICTA HB-83, ICTA HB-15, DK-390 y A-7573) que obtuvieron una media de 3186.78 kg ha⁻¹, siendo la diferencia en rendimiento entre ambos de 589.60 kg ha⁻¹ en los distintos ambientes evaluados (Figura 3).

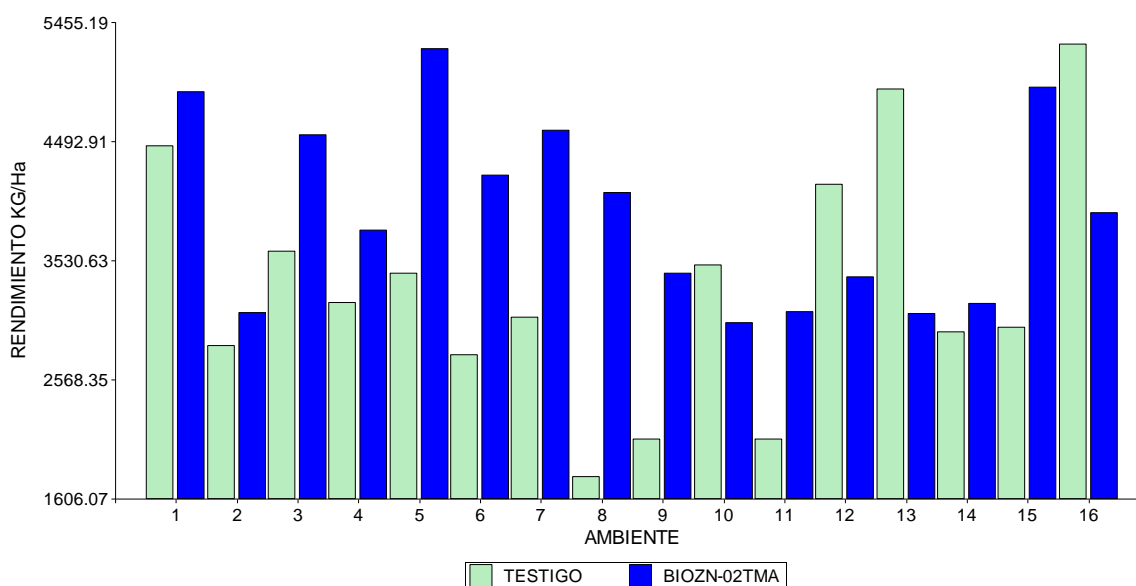


Figura 3. Rendimiento en parcelas de validación de maíz híbrido color de grano blanco ICTA BIOZn-02^{TMA} y testigo del agricultor, en 16 ambientes de Huehuetenango, Guatemala.

6.5 Análisis estadístico de prueba de T (muestras apareadas) al rendimiento del híbrido ICTA BIOZn-02^{TMA} y testigo del agricultor

La prueba T (muestras apareadas) al rendimiento de grano al 14% de humedad (Tabla 3), a la tecnología del ICTA (ICTA BIOZn-02^{TMA}); la diferencia de 589.72 kg ha⁻¹, el valor T 1.97 y el valor bilateral 0.0678 determinó que no existe diferencia estadística entre las dos tecnologías evaluadas. Por lo tanto, se acepta la hipótesis nula que reza que el híbrido triple de maíz ICTA BIOZn-02^{TMA} no posee mayor potencial de rendimiento que el testigo del agricultor.

Tabla 3. Prueba t (muestras apareadas) a rendimiento de dos genotipos de maíz color de grano blanco, ICTA BIOZn-02^{TMA} y testigo del agricultor, en 16 ambientes de Huehuetenango, Guatemala.

Obs (1)	Obs (2)	N	media(dif)	DE(dif)	T	Bilateral
Tecnología de ICTA BIOZn-02 ^{TMA})	Tecnología del agricultor (Testigo)	16	589.60	1195.62	1.97	0.0678

Fuente: ICTA, Guatemala.

6.6 Análisis combinado de la varianza a tres genotipos de maíz blanco

Se realizó un análisis combinado a la variable rendimiento de grano de maíz considerando los dos genotipos en validación y el testigo del agricultor, (Tablas 4 y 5). Se determinó que existían diferencias estadísticas altamente significativas entre los genotipos.

Tabla 4. Medias de ajuste al modelo 000_RENDIMIENTO_REMIL a rendimiento de tres genotipos de maíz, color de grano blanco ICTA BIOZn-01^{TMA}, ICTA BIOZn-02^{TMA} y testigo del agricultor, en 16 ambientes de Huehuetenango, Guatemala.

N	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2_0	R2_1
48	747.40	756.43	-368.70	280.16	0.64	1.00

Tabla 5. Prueba de hipótesis marginales (SC tipo III) a rendimiento de grano de tres genotipos de maíz, color de grano blanco, ICTA BIOZn-01^{TMA} e ICTA BIOZn-02^{TMA} y testigo del agricultor, en 16 ambientes de Huehuetenango, Guatemala.

	<u>numDF</u>	<u>denDF</u>	<u>F-value</u>	<u>p-value</u>
(Intercept)	1	45	1607.77	<0.0001
Genotipo	2	45	39.92	<0.0001

Por lo anterior se procedió a realizar la discriminación múltiple de medias de DGC ($\text{Alfa}=0.05$) al rendimiento de los tratamientos bajo estudio (Tabla 6 y Figura 4).

Tabla 6. Prueba múltiple de medias DGC ($\text{Alfa}=0.05$) a rendimiento de grano de tres genotipos de maíz, color de grano blanco ICTA BIOZn-01^{TMA}, ICTA BIOZn-02^{TMA} y testigo del agricultor en 16 ambientes de Huehuetenango, Guatemala.

Rendimiento, Medias ajustadas y errores estándares para cada genotipo

DGC ($\text{Alfa}=0.05$)

Genotipo	Medias (kg ha ⁻¹)	E.E.	
ICTA BIOZn-01 ^{TMA}	5736.06	199.47	A
ICTA BIOZn-02 ^{TMA}	3908.50	199.47	B
Testigo	3318.78	199.47	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

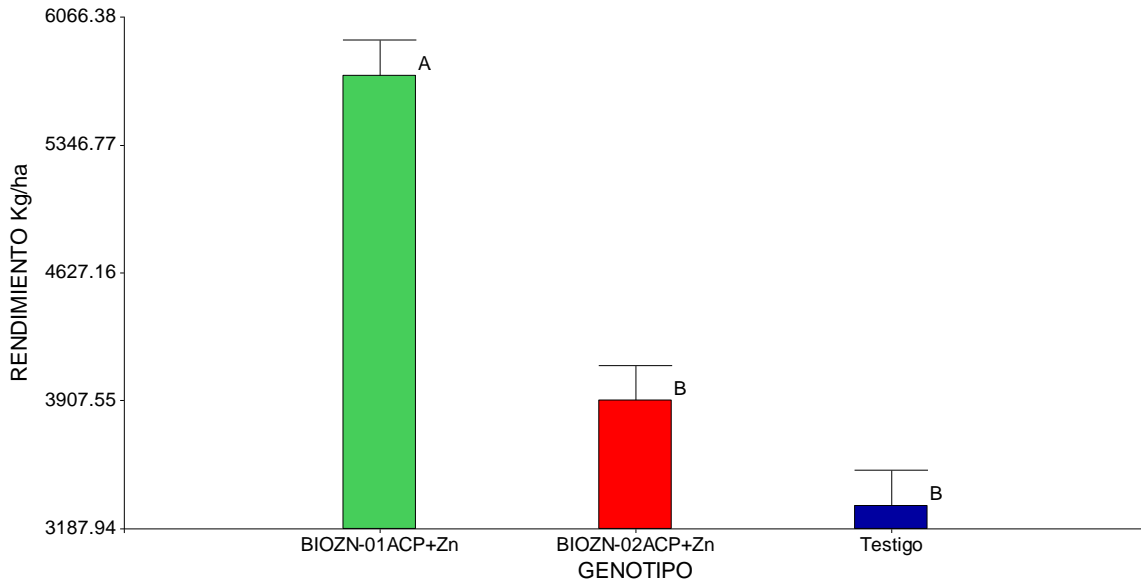


Figura 4. Prueba múltiple de medias de grupos excluyentes DGC ($\alpha=0.05$) a rendimiento de grano de maíz de parcelas de validación de genotipos color de grano blanco ICTA BIOZn-01^{TMA} ICTA BIOZn-02^{TMA} y testigo del agricultor, en 16 ambientes de Huehuetenango, Guatemala.

La prueba de medias determinó que existen dos grupos estadísticos. El primero formado por los tratamientos ICTA BIOZn-01^{TMA}, con un rendimiento medio de 5736.06 kg ha⁻¹ y el segundo grupo de medias formado por los genotipos ICTA BIOZn-02^{TMA} (3908.50 kg ha⁻¹) y testigo del agricultor genotipos ICTA HB-83, ICTA HB-15, DK-390 y A-7573, con un rendimiento medio de 3318.78 kg ha⁻¹.

6.7 Análisis de estabilidad a rendimiento de tres genotipos de maíz color de grano blanco en 16 ambientes de Huehuetenango, Guatemala

Para analizar la estabilidad de los genotipos, se procedió a determinar la estabilidad dinámica de Eberhart y Russell (1966), utilizando modelos lineales generales y mixtos del software Infostat 2016.

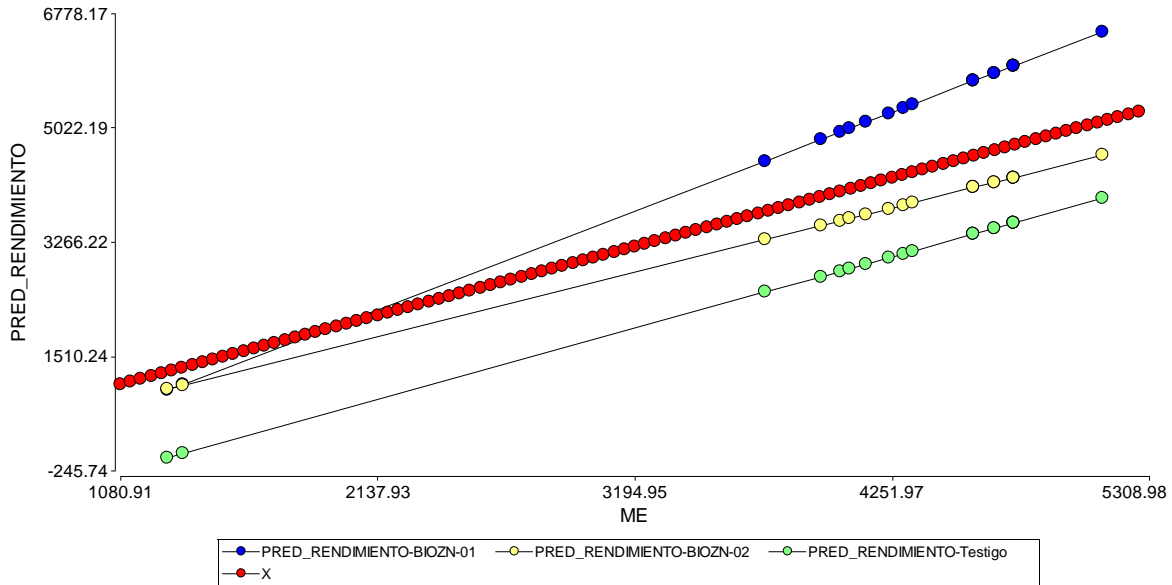


Figura 5. Estabilidad dinámica de Eberhart y Russell a tres genotipos de maíz color de grano blanco, en el trópico bajo de Huehuetenango, Guatemala.

Ninguno de los genotipos evaluados presentó estabilidad en su rendimiento al cultivarse en un ambiente promedio. Sin embargo, el genotipo ICTA BIOZn-01^{TMA}, produjo rendimientos superiores conforme mejoraban las condiciones ambientales. Es de considerar que los genotipos no presentaron estabilidad de su rendimiento para ser liberados a corto plazo. Por lo tanto, se recomienda regresarlos al programa de maíz, para continuar con su mejoramiento genético y estabilidad de rendimiento en zonas de producción de mayor rango de adaptación ambiental.

6.8 Análisis de pre aceptabilidad de tres genotipos de maíz de grano color blanco

Para determinar la pre aceptabilidad de los genotipos validados, en actividades de transferencia en las parcelas de validación de los genotipos de maíz grano blanco ICTA BIOZn-01^{TMA}, ICTA BIOZn-02^{TMA} y testigo del agricultor, se pasó una boleta en la cual se recopiló la opinión de los agricultores. Para desglosar la opinión de los agricultores se vaciaron los datos a una hoja Excel, la cual se pasó al programa estadístico InfoStat versión 2016, para formar una tabla de contingencia de cruce de variables.

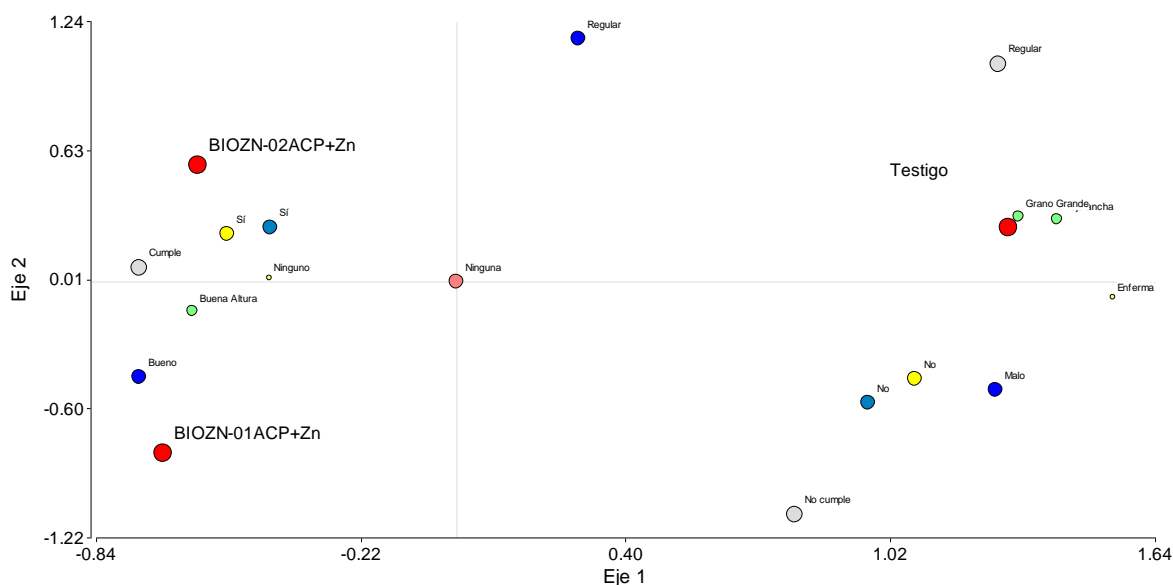


Figura 6. Análisis de correspondencia simple de pre aceptabilidad de genotipos de maíz color de grano blanco en el trópico bajo de Huehuetenango, Guatemala.

Como resultado del análisis multivariado de correspondencia simple (Figura 6), obtenido de la opinión de los agricultores respecto a los parámetros: calificación (bueno, regular, malo), desventajas, ventajas, cumplen o no cumplen los genotipos sus expectativas en rendimiento, haría modificaciones a la tecnología, recomendaría (sí, no) los genotipos y utilizará en el próximo ciclo (sí, no) los genotipos de maíz blanco; se determinó que: Las dos primeras dimensiones del análisis de correspondencia simple de la tabla de contingencia correspondiente al cruce de las variables bajo estudio con los genotipos ICTA BIOZn-01^{TMA}, ICTA BIOZn-02^{TMA} y testigo del agricultor. El biplot sugiere en su primer eje (con una inercia del 55%), que el híbrido ICTA BIOZn-01^{TMA} se relaciona mayormente con buena calificación, buena altura de planta y cumple la expectativa de los agricultores; mientras que el genotipo testigo se relaciona mayormente con tener buen tamaño de grano, hoja ancha, mayor susceptibilidad a enfermedades del follaje y regular expectativa. Ningún agricultor manifestó que haría modificaciones a su sistema de siembra en el caso de adoptar la nueva tecnología de genotipos de maíz de grano blanco.

6.9 Análisis del fijación de micronutrientes hierro y zinc

En el anexo 3 se consignan los datos de los análisis de la fijación de micronutrientes hierro y zinc, de diferentes muestras analizadas en el laboratorio de química agrícola, del Centro nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal –CENTA-, del Ministerio de Agricultura y Ganadería –MAG- de la república de El Salvador. Se extraen los datos de la localidad de Agua Escondida, Santa Ana Huista, Huehuetenango, correspondientes al presente informe.

Tabla 7. Fijación de hierro y zinc (mg/kg) en tres genotipos de color de grano blanco ICTA BIOZn-01^{TMA}, ICTA BIOZn-02^{TMA} y testigo del agricultor (ICTA HB-83) en la localidad de Agua Escondida, Santa Ana Huista, Huehuetenango, Guatemala.

GENOTIPO	LOCALIDAD	Hierro (Fe)	Zinc (Zn)
		mg/kg	mg/kg
ICTA BIOZn-01 ^{TMA}	Agua Escondida, Santa Ana	14.15	22.80
	Huista		
ICTA HB-83	Agua Escondida, Santa Ana	13.85	17.75
	Huista		
ICTA BIOZn-02 ^{TMA}	Agua Escondida, Santa Ana	15.20	21.55
	Huista		

Al observar las medias absolutas de cada uno de los micronutrientes analizados, se determinó que la mayor fijación de hierro se encontró en el híbrido de maíz ICTA BIOZn-02^{TMA}, con un valor de 15.20 mg/kg. Mientras que el mayor fijación de zinc lo presentó el híbrido BIOZn-01^{TMA}, con un valor de 22.80 mg/kg. Se observa que los nuevos genotipos de maíz BIOZn-01^{TMA} e BIOZn-02^{TMA}, superan al testigo ICTA HB-83 en fijación de hierro y zinc en su grano, en Huehuetenango. Siendo la localidad de Agua Escondida, Santa Ana Huista, Huehuetenango, la que presentó el menor valor de hierro y zinc.

En la Tabla 8 se presentan los resultados de la prueba de “t” realizada a los valores de contenido de hierro y zinc en los genotipos validados.

Tabla 8. Prueba t a fijación de hierro y zinc del grano de maíz (mg/kg), en genotipos de color de grano blanco ICTA BIOZn-01^{TMA}, ICTA BIOZn-02^{TMA} y testigo del agricultor en la localidad de Agua Escondida, Santa Ana Huista, Huehuetenango, Guatemala.

Variable	n	Media	DE	LI(95)	LS(95)	T	P(Bilateral)
Hierro (Fe) mg/kg	3	14.40	0.71	12.64	16.16	35.18	<0.0008
Zinc (Zn) mg/kg	3	20.70	2.68	14.17	27.23	13.63	<0.0053

Con los resultados se determinó que existen diferencias estadísticas significativas para la variable fijación de los micronutrientes hierro y zinc del grano de maíz, entre los tres genotipos validados en Huehuetenango.

Para corroborar los resultados anteriores, se realizó un análisis de varianza (Tabla 1 de anexo 4) de las 24 muestras de maíz híbrido enviadas al CENTA, para el micronutriente hierro. Se determinó que existen diferencias estadísticas entre los genotipos y entre las localidades.

Al realizar la discriminación de medias de Dirienzo, Guzmán y Casanoves –DGC- (Tabla 2 de anexo 4), a los valores de hierro de los genotipos evaluados, se formaron dos grupos de medias distintos. El genotipo ICTA HB-83 tuvo menor fijación de zinc en su grano y estadísticamente fue distinto al resto de genotipos evaluados. Los genotipos ICTA HB-15, ICTA BIOZn-02^{TMA}, ICTA HB-17 e ICTA BIOZn-01^{TMA} estadísticamente contienen similar fijación de hierro. La localidad de Coatepeque, Quetzaltenango, la que fija mayor hierro en el grano de maíz y la localidad de Agua Escondida, Santa Ana Huista, Huehuetenango, con la menor cantidad de absorción de hierro.

Así mismo se analizó el contenido del micronutriente zinc en 24 muestras. El análisis de la varianza (Tabla 1 del anexo 5) determinó que, existen diferencias estadísticas entre genotipos y localidades.

Al realizar la discriminación de medias de Dirienzo, Guzmán y Casanoves –DGC- (Tabla 2 de anexo 5), se formaron dos grupos de medias distintos. El primer grupo formado por los genotipos ICTA BIOZn-01^{TMA}, ICTA BIOZn-02^{TMA} e ICTA HB-15. El segundo grupo lo formaron los genotipos ICTA HB-83 e ICTA HB-17. La localidad de Antón Bran, Huité,

Zacapa presentó mayor contenido de zinc en el grano de maíz, y la localidad de Olopita, Esquipulas, Chiquimula, la de menor cantidad de zinc.

Con fundamento en los análisis de las muestras de grano analizadas en el laboratorio de química del CENTA, se determina que los genotipos evaluados no se catalogan como biofortificados, debido a que su diferencia porcentual con respecto a un no biofortificado no supera los cinco puntos porcentuales de fijación del micronutriente hierro y zinc expresados en mg/kg.

7 Conclusiones

- Estadísticamente el genotipo de maíz ICTA BIOZn-01^{TMA} (5736.06 kg ha⁻¹), superó en rendimiento a ICTA BIOZn-02^{TMA} (2417.28 kg ha⁻¹) y testigos de los agricultores (3318.78 kg ha⁻¹).
- Ninguno de los genotipos validados posee estabilidad de su rendimiento.
- El genotipo ICTA BIOZn-01^{TMA} posee mayor pre aceptabilidad entre los agricultores, por su forma de mazorca, tamaño de grano y rendimiento.
- No se manifestó presencia del complejo de mancha de asfalto en las localidades bajo estudio.
- Desde el punto de vista técnico de la biofortificación de cultivos agrícolas, los genotipos evaluados no se catalogan como biofortificados, debido a que su diferencia porcentual con relación a un no biofortificado no supera los cinco puntos porcentuales de fijación de los micronutrientes hierro y zinc, expresados en mg/kg.

8 Recomendación

- Continuar con el mejoramiento del rendimiento y fijación de micronutrientes de los genotipos validados.

9 Referencias

Bernardo, R. (2016). Essentials of plant breeding. University of Minnesota. Minnesota, Estados Unidos. 244 p.

Di Rienzo, J.A., F. Casanoves., Balzarini, M.G., Gonzalez, L., Tablada, M. y Robledo, C.W. (2008). InfoStat. versión 2008. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. <http://www.infostat.com.ar>

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.

Van Etten, A., Fuentes López, M.R., J. 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", n1, FAO Guatemala, Guatemala, C.A.

Gómez, C. (2011) Situación de la producción de semillas de maíz en Guatemala periodo 2006-2010. Tesis de grado. Universidad Rafael Landívar, Guatemala.

Hallauer A R, J B Miranda (1988) Quantitative Genetics in Maize Breeding. Iowa State Univ. Press, Ames, IA. pp: 183-201.

Hallauer A R (1992) Recurrent selection in maize. Plant Breed. Rev. 9: 115-179.

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.

Instituto de Ciencias y Tecnología Agrícolas. ICTA. (1987). Publicación Miscelánea No. 19. Guatemala.

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.

MAIZAR. (2011). Universidad Nacional de Rosario. 211. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Rosario, Campo Experimental Villarino, Santa Fe, Argentina.

<https://www.agrositio.com.ar/videoconferencias/congresomaizar2011/diferido.php> }

Maya, J. y J. Ramírez. (2002). Selección recurrente en tres poblaciones de maíz para el subtrópico de México. Rev. Fitotec. Mex. Vol. 25 (2): 201-207.

Mazariegos, Manolo; Martínez, Carolina; Mazariegos, Dora Inés; Méndez, Humberto; Román, Ana Victoria; Palmieri, Mireya; Tomás, Vivian. (2016). Análisis de la situación y tendencias de los micronutrientes clave en Guatemala, con un llamado a la acción desde las políticas públicas. Washington, D.C.: FHI 360/FANTA.

Paliwal, R., G. Granados, H. Laffite, y A. Violic. (2001). El maíz en los trópicos, mejoramiento y producción. FAO. Roma, Italia. 371 p.

Programa de investigación de maíz. ICTA. (2016). Comunicación personal. Guatemala.

Universidad Nacional de Rosario. 2011. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Rosario, Campo Experimental Villarino, Santa Fe, Argentina.

<https://www.agrositio.com.ar/videoconferencias/congresomaizar2011/diferido.php>

Van Etten, A., Fuentes López, M.R., J. Ortega Aparicio & J.L. (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. Ubicación geográfica de parcelas de validación de maíz blanco

Parcela	Localidad	Latitud	Longitud
1	Cementerio, Los Chucles, La Democracia	15°08'12.12"	91° 52'35.76"
2	Nacimiento de agua, Los Chucles, La Democracia	15°40'47.10"	91°51'19.32"
3	El Plan I, Los Chucles, La Democracia	15°38'28.6"	91°52'14.35"
4	El Plan II, Los Chucles, La Democracia	15°38'28.60"	91°52'14.36"
5	Maculis I, El Limonar, Jacaltenango	15°48'13.33"	91°51'13.42"
6	Maculis II, El Limonar, Jacaltenango	15°47'52.04"	91°50'34.50"
7	Llano Grande, Nentón	15°48'18.09"	91°50'03.39"
8	Lemnish, Buxup, Jacaltenango	15°47'09.38"	91°45'49.48"
9	Agua Escondida, Santa Ana Huista	15°47'09.38"	91°52'12.73"
10	La Unión, Nentón	15°56'13.27"	91°46'48.12"
11	Agua Zarca I, Santa Ana Huista	15°44'22.46"	91°54'03.17"
12	Agua Zarca II, Santa Ana Huista	15°44'39.55"	91°54'22.80"
13	Nueva Catarina, Jacaltenango	15°46'23.36"	91°48'05.12"
14	El Limonar, Jacaltenango,	15°12'37.54"	91°49'59.54"
15	La Laguna I, Jacaltenango	15°41'36.02"	91°48'16.01"
16	La Laguna II, Jacaltenango	15°41'33.06"	91°45'14.51"

Anexo 2. Boleta de evaluación de genotipo ICTA BIOZN-01^{TMA}

Tecnología probada	Híbrido de maíz ICTA BIOZn-01 ^{TMA}	No. Boleta:
1 ¿Cómo califica el híbrido de maíz?	<i>Excelente:</i> Tiene buen tamaño de grano. Es bueno para comer para la familia.	
2 ¿Qué problemas presentó para usted el híbrido de maíz?	Ninguna.	
3 ¿Qué ventajas observa en el híbrido de maíz probado por ICTA?	Tiene buena altura de planta y mazorca, la planta resiste el viento cuando está lloviendo. Las hojas son anchas y sirven para hacer tamalitos. No le pega enfermedad en sus hojas. No se seca la hoja cuando está en elote. No le pega mucha plaga.	
4 ¿Cumple el híbrido de maíz, sus expectativas en rendimiento del cultivo?	sí <u>X</u> No _____ porque da buen tamaño de mazorca, buen grano y rinde bien. Produce un poco más que los genotipos mexicanos, los maíces mexicanos necesitan mucho fertilizante, buena tierra y agua bastante. Estos genotipos de ICTA producen en cualquier suelo.	
5 ¿Haría modificaciones al híbrido de maíz ICTA BIOZn-01 ^{TMA} probada por ICTA?	sí _____ No <u>X</u> porque se adapta bien a mi sistema de siembra.	
6 ¿Le recomendaría el híbrido de maíz ICTA BIOZn-01 ^{TMA} probado a otro productor?	sí <u>X</u> No _____ porque produce bien sin necesidad de mucho abono y agua. Es bueno para comer para la toda la familia. Tiene buena mata y buena hoja para tamalitos, buena mazorca y olote para usar como leña en la cocina.	

7	¿Utilizará el híbrido de maíz ICTA BIOZn-01 ^{TMA} de ICTA para su próximo ciclo de cultivo?	<i>Sí:</i> Porque crece bien la mata y produce parejo. Como puedo conseguir la semilla. Dónde venden la semilla. Cuánto vale la semilla. Traerán la semilla para la gente. El MAGA va a dar la semilla
8	Observaciones	Dónde puedo conseguir más semilla para la siembra del otro año.

Anexo 3. Boleta de evaluación para genotipo ICTA BIOZN-02^{TMA}

Tecnología probada	Híbrido de maíz ICTA BIOZn-02 ^{TMA}	No. Boleta:
1	¿Cómo califica el genotipo de maíz?	<i>Bueno:</i> Se mira bien. Tiene buena planta y mazorca. Es bueno para comer para la familia.
2	¿Qué problemas presentó para usted el maíz evaluado?	Ninguno.
3	¿Qué ventajas observa en el maíz probado por ICTA?	Tiene buena altura de planta y mazorca, la planta resiste el viento cuando está lloviendo. Las hojas son anchas y sirven para hacer tamalitos. No le pega enfermedad en sus hojas. No se seca la hoja cuando está en elote. No le pega mucha plaga.
4	¿Cumple el genotipo maíz, sus expectativas en rendimiento del cultivo?	Sí <u>X</u> No <u> </u> porque tiene buena altura de planta y mazorca, resiste el viento. Produce un poco más que los genotipos mexicanos, los maíces mexicanos necesitan mucho fertilizante, buena tierra y agua bastante. Estos genotipos de ICTA producen en cualquier suelo.
5	¿Haría modificaciones al maíz ICTA BIOZn-02 ^{TMA} probado por	Sí <u> </u> No <u>X</u> porque se adapta bien a mi sistema de siembra.

ICTA?	
6	<p>¿Le recomendaría el maíz ICTA BIOZn-02^{TMA} probado a otro productor?</p> <p>sí <u>X</u> No _____ porque produce bien sin necesidad de mucho abono y agua. Es bueno para comer para la toda la familia. Tiene buena mata y buena hoja para tamalitos, buena mazorca y olote para usar como leña en la cocina.</p> <p>sí <u>X</u> No _____ porque tiene buena altura de planta y mazorca, resiste el viento. Estos genotipos de ICTA producen en cualquier suelo.</p>
7	<p>¿Utilizará el maíz ICTA BIOZn-02^{TMA} para su próximo ciclo de cultivo?</p> <p>Sí: Porque crece bien la mata y produce parejo. Como puedo conseguir la semilla. Donde venden la semilla. Cuánto vale la semilla. Traerán la semilla para la gente. El MAGA va a dar la semilla</p>
8	<p>Observaciones</p> <p>Dónde puedo conseguir más semilla para la siembra del otro año. Cuánto vale la semilla. Dónde venden la semilla. Traerán la semilla para la gente. El MAGA va a dar la semilla</p>

Anexo 4. Listado de personas por localidad, edad, sexo y etnia en actividades de días de campo de genotipos maíz ICTA BIOZn-01^{TMA} e ICTA BIOZn-02^{TMA} en el departamento de Huehuetenango, Guatemala.

Nombre	Municipio	Comunidad	Edad	Sexo			Etnia
				M	F	Mestizo	
Jessica Ramírez	La Democracia	La Democracia	20		x		x
Ana Caño	La Democracia	La Democracia	31		x		x
Merly Galicia	La Democracia	Los Chucles	19		x		x
Yordany Martínez	La Democracia	Los Chucles	25	x			x
Baudelio Martínez	La Democracia	Los Chucles	38	x			x
Erasmus Martínez	La Democracia	Los Chucles	52	x			x

Heberto Cobón	La Democracia	Los Chucles	44	x		x
Gilberto Martínez	La Democracia	Los Chucles	58	x		x
Delma Ordoñez	La Democracia	Los Chucles	50		x	x
Osvin Cobón	La Democracia	Los Chucles	46	x		x
Teresa Martínez	La Democracia	Los Chucles	18		x	x
José Castillo	La Democracia	Los Chucles	46	x		x
Delmar Martínez	La Democracia	Los Chucles	51	x		x
Baldemar Samayoa	La Democracia	Los Chucles	46	x		x
Irma Funes	La Democracia	Los Chucles	45		x	x
Héctor Vásquez	Nentón	Los Chucles	27	x		x
Carlos Castillo	Nentón	Los Chucles	45	x		x
Rosa Castillo	Nentón	Los Chucles	24		x	x
Marlyn Castillo	Nentón	Los Chucles	16		x	x
Berta Leiva	Nentón	Los Chucles	43		x	x
Alida López	Nentón	Los Chucles	38		x	x
Seidy Vásquez	Nentón	Los Chucles	16		x	x
Alfredo Castillo	Nentón	Los Chucles	21	x		x
Antonia Ordoñez	Nentón	Los Chucles	71		x	x
Elvira Maldonado	Nentón	Los Chucles	25		x	x
Ada Castillo	Nentón	Los Chucles	28		x	x
Onoria Maldonado	Nentón	Los Chucles	28		x	x
Olegorio Cobón	Nentón	Los Chucles	48	x		x
Catarino Gutiérrez	Nentón	Huehuetenango	53	x		x
Elva Castillo	Nentón	Los Chucles	31		x	x
Antonio Leiva	Nentón	Los Chucles	29	x		x
José Castillo	Nentón	Los Chucles	35	x		x
Edna Tánchez	Nentón	Los Chucles	41		x	x
Lexeny Martínez	Nentón	Los Chucles	38	x		x
Sheyly Vásquez	Nentón	Los Chucles	21	x		x
Kenedy Vásquez	Nentón	Los Chucles	17	x		x
Madelys Maldonado	Nentón	Los Chucles	32		x	x

Fernando Herrera	Santa Ana H.	Reforma	31	x		x
Gamaliel Peláez	Santa Ana H.	Lop	35	x		x
Matilde Cruz	Santa Ana H.	Pumul	28		x	x
Carlos Díaz	Santa Ana H.	Buena Vista	45	x		x
Esteban Cruz	Santa Ana H.	Lop	47	x		x
Bladimir Balcázar	Santa Ana H.	Lop	41	x		x
Matilde Cruz	Santa Ana H.	Pumul	37		x	x
Julio López	Santa Ana H.	Florida	55	x		x
Huber Del Valle	Santa Ana H.	San José	46	x		x
Julio Lorenzo	Santa Ana H.	Florida	44	x		x
Florentín Gonzáles	Santa Ana H.	Florida	42	x		x
Misael Morales	Santa Ana H.	San José	38	x		x
Jerónimo Funes	Santa Ana H.	San José	34	x		x
Gregorio Samayoa	Santa Ana H.	San José	41	x		x
Ogler Mendoza	Santa Ana H.	Lop	46	x		x
Becquer Lemus	Santa Ana H.	Santa Ana H.	30	x		x
Celestino Arcia	Santa Ana H.	San José	44	x		x
Alfredo Lemus	Santa Ana H.	Lop	41	x		x
Carlos Morales	Santa Ana H.	San José	38	x		x
Sergio Hidalgo	La Democracia	La Democracia	57	x		x
Abelino Solís	Unión Cantinil	Unión Cantinil	38	x		x
Evelin Félix	Jacaltenango	Jacaltenango	51		x	x
Edilmar Herrera	Unión Cantinil	Unión Cantinil	53	x		x
Rómulo Montejo	Jacaltenango	Jacaltenango	28	x		x
Zaidy López	Santa Ana H.	Santa Ana H.	26		x	x
Rosa Herrera	San Antonio H.	San Antonio H.	45		x	x
Juan Domingo	Concepción H.	Concepción H.	37	x		x
Ingris Silvestre	Concepción H.	Concepción H.	33		x	x
William Velásquez	Concepción H.	Concepción H.	35	x		x
Héctor Martínez	Nentón	Nentón	37	x		x
Fernando Samayoa	Santa Ana H.	Santa Ana H.	36	x		x

Rómulo Montejo	Jacaltenango	Jacaltenango	22	x		x
Rosa Herrera	San Antonio H.	San Antonio H.	32		x	x
María Sánchez	Nentón	Nentón	39		x	x
Flor Cano	Jacaltenango	Jacaltenango	31		x	x
Amelia Montejo	Jacaltenango	Nueva Catarina	39		x	x
Anita Montejo	Jacaltenango	Nueva Catarina	47		x	x
Aura Esteban	Jacaltenango	Nueva Catarina	43		x	x
Glendy Baltazar	Jacaltenango	Nueva Catarina	23		x	x
Emilia Esteban	Jacaltenango	Nueva Catarina	48		x	x
Candelaria Silvestre	Jacaltenango	Nueva Catarina	44		x	x
Manuel Díaz	Jacaltenango	El Limonar	36	x		x
Mauricio Silvestre	Jacaltenango	El Limonar	59	x		x
Baltazar Méndez	Jacaltenango	Nueva Catarina	80	x		x
Olivio López	Jacaltenango	Nueva Catarina	60	x		x
Emilia Esteban	Jacaltenango	Nueva Catarina	48		x	x
Candelaria Silvestre	Jacaltenango	Nueva Catarina	44		x	x
Petrona Quiñones	Jacaltenango	Nueva Catarina	65		x	x

Anexo 5.



MINISTERIO
DE AGRICULTURA
Y GANADERÍA



LABORATORIO DE QUÍMICA AGRÍCOLA

labquimica@centa.gob.sv / @greia-henriquez@centa.gob.sv

San Andrés, 06 de marzo de 2020.

DATOS GENERALES

Nombre del Solicitante: ICTA / HARVESTPLUS
 Responsable: Inga. Olga Vanessa Illescas
 Muestras: Maíz molido (CISUR)
 Variedad: ICTA BIOZn-01, ICTA BIOZn-02, ICTA HB 83, ICTA HB15, ICTA HB17
 Lugar de recolección: Agua escondida, Zacapa, Chiquimula, Jalapa, Nueva Concepción, Quetzaltenango.
 Fecha de recibidas: 17 de febrero 2020

RESULTADOS (BASE HÚMEDA)

No. Lab.	Material	Localidad	Hierro (Fe) mg/Kg	Zinc (Zn) mg/Kg
92S	Maíz ICTA BIOZn-02	Antonbram, Huile	14.52	28.07
93S	Maíz ICTA BIOZn-01	Corozal Abajo, La Unión	15.05	22.65
94S	Maíz ICTA BIOZn-02	Olopita, Esquipulas,	20.80	19.35
95S	Maíz ICTA HB-83	Corozal Abajo, La Unión	16.00	21.05
96S	Maíz ICTA HB-83	Antombran, Huile	12.90	24.90
97S	Maíz ICTA BIOZn-02	Corozal Abajo, La Unión	18.20	21.15
98S	Maíz ICTA HB-83	Olipita, Esquipulas	16.25	14.15
99S	Maíz ICTA BIOZn-01	Agua Escondida	14.15	22.80
100S	Maíz ICTA HB-83	Agua Escondida	13.85	17.75
101S	Maíz ICTA BIOZn-02	Agua Escondida	15.20	21.55
102S	Maíz ICTA BIOZn-01	Antombran, Huile	15.80	27.05
103S	Maíz ICTA BIOZn-01	Pampacaya, San Luis Jilotepeque	17.25	23.20
104S	Maíz ICTA BIOZn-02	Pampacaya, San Luis Jilotepeque	18.60	24.80
105S	Maíz ICTA HB-83	Pampacaya, San Luis Jilotepeque	15.55	23.40

METODOLOGÍA DE ANÁLISIS: Fluorescencia de Rayos X.

Químico Analista: Inga. Grecia de Chávez

Inga. Grecia Henríquez de Chávez
 Jefa del Laboratorio de Química Agrícola

Continuación anexo 5.



MINISTERIO
DE AGRICULTURA
Y GANADERÍA



LABORATORIO DE QUÍMICA AGRÍCOLA

labquimica@centa.gob.sv / greCIA.henriquez@centa.gob.sv

San Andrés, 06 de marzo de 2020.

DATOS GENERALES

Nombre del Solicitante: **ICTA / HARVESTPLUS**
Responsable: **Inga. Olga Vanessa Illescas**
Muestra: **Maíz molido (CIOR)**
Variedad: **ICTA BIOZn-01, ICTA BIOZn-02, ICTA HB 83, ICTA HB15, ICTA HB17**
Lugar de recolección: **Agua escondida, Zacapa, Chiquimula, Jalapa, Nueva Concepción, Quetzaltenango.**
Fecha de Recibidas: **17 de febrero 2020**

RESULTADOS (BASE HÚMEDA)

No. Lab.	Material	Localidad	Hierro (Fe) mg/Kg	Zinc (Zn) mg/Kg
106S	Maiz ICTA BIOZn-01	Trocha 10, calle Chicales	17.65	20.90
107S	MaizHB-17	Trocha 10, calle Chicales	16.35	17.00
108S	Maiz- HB 15	Trocha 10, calle Chicales	16.05	20.65
109S	Maiz HB-83	Trocha 10, calle Chicales	13.40	17.45
110S	Maiz BIOZn-02	Trocha 10, calle Chicales	16.45	22.50
111S	Maiz BIOZn-02	Coatepeque	17.90	22.15
112S	Maiz HB 17	Coatepeque	18.05	21.45
113S	Maiz HB 15	Coatepeque	20.00	24.40
114S	Maiz BIOZn-01	Coatepeque	20.45	22.90
115S	Maiz HB-83	Coatepeque	16.60	19.00

METODOLOGÍA DE ANÁLISIS: *Fluorescencia de Rayos X.*

Químico Analista: Inga. Grecia de Chávez


Inga. Grecia Henríquez de Chávez
Jefa del Laboratorio de Química Agrícola

Anexo 6. Análisis estadístico de fijación del micronutriente hierro, en 24 muestras de laboratorio.

Con fundamento en el análisis de la varianza, para fijación del micronutriente hierro, de los resultados del laboratorio de química del CENTA, determina que existen diferencias estadísticas entre genotipos y localidad, en fijación de hierro en el grano de maíz de los genotipos analizados.

Hierro (Fe) mg/kg

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Hierro (Fe) mg/kg	24	0.81	0.67	7.42

Fuente: DVTT-ICTA, Guatemala.

Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	C.M.	F	p-valor
Modelo	85.16	10	8.52	5.69	0.0023
Genotipo	28.46	4	7.11	4.75	0.0139
Localidad	56.70	6	9.45	6.32	0.0027
Error	19.45	13	1.50		
Total	104.62	23			

Al realizar la discriminación de medias de Dirienzo, Guzmán y Casanoves –DGC-, se forman dos grupos de medias distintos. Siendo el genotipo ICTA HB-83 distinto al resto de genotipos evaluados. Los genotipos ICTA HB-15, ICTA BIOZn-02^{TMA}, ICTA HB-17 e ICTA BIOZn-01^{TMA} estadísticamente contienen similar fijación de hierro.

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=2.3971

Error: 1.4965 gl: 13

Genotipo	Medias	n	E.E.	
ICTA HB-15	18.03	2	0.87	A
ICTA BIOZn-02 ^{TMA}	17.38	7	0.46	A
ICTA HB-17	17.20	2	0.87	A
ICTA BIOZn-01 ^{TMA}	16.73	6	0.50	A
ICTA HB-83	14.94	7	0.46	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

La discriminación de medias de DGC para localidades formó dos grupos de medias distintos. Siendo la localidad de Antón Bran, en Huité, y Agua Escondida, Santa Ana Huista, Huehuetenango, estadísticamente inferiores y distintas en fijación de hierro al resto de localidades evaluadas.

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=2.3300

Error: 1.4965 gl: 13

Localidad	Medias	n	E.E.	
Coatepeque, Quetzaltenango	18.60	5	0.55	A
Olopita, Esquipulas, Chiquimula	18.53	2	0.87	A
Pampacayá, San Luis Jilotepe,	17.13	3	0.71	A
Corozal Abajo, La Unión, Zacapa	16.42	3	0.71	A
Trocha 10, calle Chicales, Nueva Concepción, Escuintla	15.98	5	0.55	A
Antón Bran, Huité, Zacapa	14.41	3	0.71	B
Agua Escondida, Santa Ana Huista, Huehuetenango	14.40	3	0.71	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Anexo 7. Análisis estadístico de fijación de micronutriente zinc, en todas las muestras de laboratorio

Con fundamento en el análisis de la varianza, para fijación del micronutriente zinc, de los resultados del laboratorio de química del CENTA, determina que existen diferencias estadísticas entre genotipos y localidades, en fijación de zinc en el grano de maíz de los genotipos analizados.

Zinc (Zn) mg/kg

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Zinc (Zn) mg/kg	24	0.90	0.83	6.09

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

F.V.	SC	gl	C.M.	F	p-valor
Modelo	211.34	10	21.13	12.13	<0.0001
Genotipo	65.23	4	16.31	9.36	0.0009
Localidad	146.12	6	24.35	13.98	0.0001
Error	22.64	13	1.74		
Total	233.99	23			

Fuente: DVTT-ICTA, Guatemala.

Al realizar la discriminación de medias DGC, se formaron dos grupos de medias distintos. Siendo el genotipo ICTA HB-83 e ICTA HB-17 distintos al resto de genotipos evaluados. Los genotipos ICTA BIOZn-01^{TMA} e ICTA BIOZn-02^{TMA} y ICTA HB-15 estadísticamente contienen similar contenido de Zinc.

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=2.6295

Error: 1.7417 gl: 13

Genotipo	Medias	n	E.E.	
ICTA BIOZn-01 ^{TMA}	23.25	6	0.54	A
ICTA BIOZn-02 ^{TMA}	22.80	7	0.50	A
ICTA HB-15	22.53	2	0.93	A
ICTA HB-83	19.67	7	0.50	B
ICTA HB-17	19.23	2	0.93	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Fuente: DVTT-ICTA, Guatemala.

La discriminación de medias de DGC para localidades bajo estudios, determinó tres grupos de medias distintos. Siendo la localidad de Antón Bran, en Huité, superior y distinta al resto de localidades evaluadas respecto a fijación de zinc en el grano de maíz.

Test:DGC Alfa=0.05 PCALT=2.5136

Error: 1.7417 gl: 13

Localidad	Medias	n	E.E.	
Antón Bran, Huité, Zacapa	26.67	3	0.76	A
Pampacayá, San Luis Jilotepeque, Jalapa.	23.80	3	0.76	B
Coatepeque, Quetzaltenango.	21.98	5	0.59	C
Corozal Abajo, La Unión, Zacapa	21.62	3	0.76	C
Agua Escondida, Santa Ana, Huista, Huehuetenango	20.70	3	0.76	C
Trocha 10, calle Chicales, Nueva Concepción, Escuintla	19.70	5	0.59	C
Olopita, Esquipulas, Chiquimula	16.75	2	0.93	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Fuente: DVTT-ICTA, Guatemala.



CRIA

Programa de consorcios de Investigación Agropecuaria



**GOBIERNO de
GUATEMALA**
DR. ALEJANDRO GIAMMATTEI

