



Programa de consorcios de Investigación Agropecuaria



CRIA Occidente

Cadena de frijol

ESTABILIDAD, RENDIMIENTO Y ADAPTABILIDAD DE NUEVE GENOTIPOS DE FRIJOL ARBUSTIVO (*PHASEOLUS VULGARIS* L.) PARA EL TRÓPICO BAJO DE HUEHUETENANGO Y EL QUICHÉ, GUATEMALA.

Sergio Gonzalo Hidalgo Villatoro
Eddy Rodolfo Ixcotoyac Cabrera

Huehuetenango, febrero de 2019.

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

ACM	Alto Contenido de Minerales
CIALO	Centro de Investigaciones del Altiplano Occidental
CONADUR	Consejo Nacional de Desarrollo Urbano y Rural
CRIA	Programa Consorcios Regionales de Investigación Agropecuaria
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
SITA	Sistemas Tradicionales y Alternativos de Producción de Alimentos

CONTENIDO

Página

Índice general	v
Índice de cuadros	vi
Índice de figuras	vii
Resumen	viii
Abstract	ix
1 Introducción	1
2 Marco teórico	2
2.1. Historia de la investigación del cultivo de frijol en Guatemala	2
2.2. Biofortificación	3
2.3. El hierro en la alimentación	3
2.4. Acciones dirigidas	4
2.5. El mejoramiento genético del frijol en el ICTA	4
3 Objetivos	5
3.1. Objetivo general	5
3.2. Objetivos específicos	5
4 Hipótesis	6
5 Metodología	6
5.1. Localidad y época	6
5.2. Diseño experimental	6
5.3. Tratamientos	8
5.4. Unidad experimental	9
5.5. Tamaño del área experimental	9
5.6. Variables de respuesta	9
5.7. Análisis de la información	10
5.8. Manejo del experimento	10
6 Resultados	11
6.1. Rendimiento	11
6.2. Análisis de componentes del rendimiento	15
6.3. Incidencia de enfermedades	16
6.4. Evaluación culinaria	17
7 Conclusiones	18
8 Recomendaciones	19
9 Referencias bibliográficas	19

ÍNDICE DE CUADROS

Página

1	Genotipos de frijol para zonas bajas < 1400 msnm liberados por ICTA	6
2	Ubicación de ensayos de finca establecidos en 8 localidades del trópico bajo de Huehuetenango y El Quiché, Guatemala.	7
3	Listado de genotipos, testigo comercial y testigo del agricultor que se evaluaron en ensayos de finca, en la presente investigación.	8
4	Prueba de hipótesis marginales a rendimiento de 12 genotipos de frijol grano negro en Huehuetenango, Guatemala.	11

ÍNDICE DE FIGURAS

Página

1	Rendimiento promedio de 12 genotipos de frijol arbustivo color de grano negro en 8 ambientes de Huehuetenango, Guatemala.	12
2	Comparación de medias de rendimiento de genotipos de frijol color de grano negro en ocho ambientes de Huehuetenango y El Quiche, Guatemala	13
3	Análisis de componentes principales y megambientes del rendimiento de doce genotipos de frijol tipo arbustivo color de grano negro en ambientes de Huehuetenango, Guatemala.	14
4	Análisis de regresión lineal por sitios para estabilidad del rendimiento de genotipos de frijol de grano negro, tipo arbustivo en ocho ambientes de Huehuetenango, Guatemala.	15
5	ACP a componentes de rendimiento de genotipos de frijol color de grano negro en ocho ambientes de Guatemala.	16
6	Incidencia de las principales enfermedades del frijol a incidencia de enfermedades sobre el rendimiento de genotipos de frijol grano negro en Huehuetenango y El Quiche, Guatemala.	17
7	ACP a opinión de agricultores, respecto a evaluación culinaria de genotipos de frijol evaluados en Huehuetenango, Guatemala.	18

Estabilidad, rendimiento y adaptabilidad de nueve genotipos de frijol arbustivo (*Phaseolus vulgaris* L.), para el trópico bajo de Huehuetenango y El Quiché, Guatemala.

¹Sergio Gonzalo Hidalgo Villatoro

¹Eddy Rodolfo Ixcotoyac Cabrera

Resumen

El objetivo del estudio fue determinar la estabilidad del rendimiento y preferencia de los agricultores de nuevos genotipos de frijol arbustivo, en diferentes ambientes del trópico bajo de Huehuetenango y Quiché. Para ello se evaluaron diez genotipos que provienen de selecciones realizadas para contrarrestar el daño del frijol por parte del mosaico dorado, sequía y bacterias, se utilizó la variedad comercial ICTA Ligero como testigo comercial y un testigo local. Se establecieron ocho ensayos, ubicados por debajo de los 1200 msnm, temperatura promedio de 25°C. En un diseño de bloques completos al azar y tres repeticiones. Se concluyó que los genotipos ICTA JU 2015-64 ML, ICTA JU 1993-39, ICTA JU 2014-04 e ICTA JU 2013-10 superan al testigo comercial y del agricultor en rendimiento de grano con más de 2.18 toneladas por hectárea. Dentro de los componentes del rendimiento del frijol para el genotipo ICTA JU 2015-64 ML poseen correlación positiva con el rendimiento. El genotipo testigo del agricultor, presentó mayor susceptibilidad al complejo de enfermedades: Roya (*Uromyces appendiculatus* var. *Apendiculatus*), mancha angular (*Colletotrichum lindemuthianum*), Antracnosis (*Colletotrichum lindemuthianum*) y virus del mosaico dorado frijol –BGMV- (*Bean Golden Yellow Mosaic Virus*). Los genotipos ICTA JU 2015-64 ML, ICTA JU 2013-10, ICTA JU 2015-49, ICTA JU 1439-4, ICTA JU 1993-39 e ICTA JU 2014-2, presentaron mayor preferencia en la prueba de palatabilidad gustativa. Se recomienda pasar a fase de validación de tecnología los genotipos ICTA JU 2015-64 ML e ICTA JU 1993-39 por su mayor rendimiento y estabilidad.

Palabras clave: color de grano negro, interacción genotipo ambiente, líneas avanzadas.

¹Investigador Principal del proyecto e investigador Disciplina de validación y transferencia de tecnología, ICTA-CIALO-Huehuetenango.

²Investigador asociado de la Disciplina de Validación y Transferencia de Tecnología. ICTA.

Stability, performance and adaptability of nine genotypes of Bush beans (*Phaseolus vulgaris* L.), the tropics bass of Huehuetenango and El Quiché, Guatemala.

¹Sergio Gonzalo Hidalgo Villatoro

¹Eddy Rodolfo Ixcotoyac Cabrera

Abstract

The objective of the study was to determine the stability of performance and preference of the farmers of new genotypes of bean shrub, in different environments of the tropical low of Huehuetenango and Quiché. For this purpose were evaluated ten genotypes that come from selections made to counter damage from bean Golden mosaic, drought and bacteria, using the commercial variety ICTA light commercial control and a local witness. Settled eighth trials, located below the 1200 meters, average temperature of 250 c. In three repetitions and randomized complete block design. He was established that genotypes ICTA JU 2015-64 ML, ICTA JU 1993-39, ICTA JU 2014-04 and ICTA JU 2013-10 exceed the commercial control and the farmer in grain yield of bean above 2.18 tons per hectare. It was determined that the components of the performance of the ICTA JU 2015-64 ML genotype bean have positive correlation for the benefit of ist performance. Farmer witness genotype, presented greater susceptibility to complex diseases: rust (*Uromyces appendiculatus* var.) *Apendiculatus*), angular spot (*Colletotrichum lindemuthianum*), anthracnose (*Colletotrichum lindemuthianum*) and bean Golden mosaic virus - BGMV-(Bean Golden Yellow Mosaic Virus). Genotypes ICTA JU 2015-64 ML, ICTA JU 2013-10, ICTA JU 2015-49, ICTA JU 1439-4, ICTA JU 1993-39 and ICTA JU 2014-2, had greater preference in gustatory palatability test. Recommending reach ICTA JU 2015-64 ML and ICTA JU 1993-39 genotypes validation phase of technology for increased performance and stability.

Key words: black grain, interaction genotype environment, advanced lines.

¹Investigador main project and researcher discipline of validation and transfer of technology, ICTA-CIALO-Huehuetenango.

²Associate researcher of the discipline of validation and technology transfer. ICTA.

1. Introducción

El Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas, ICTA, ha desarrollado con mejoramiento genético tradicional (realizando cruzamientos manualmente entre las mejores líneas) sus variedades de frijol para los diferentes ámbitos altitudinales del país. Como frijol negro ICTA Petén^{ACM} e ICTA Superchiva^{ACM} ambas con alto contenido de minerales o hierro (aproximadamente 75 ppm, en comparación de 40 a 50 que presentan otras variedades favorable (Villatoro, J., Castillo, F. y Franco, J., 2011). El hierro (Fe) es un micro mineral importante para la vida, primordial en el transporte de oxígeno, junto con el proceso de respiración celular. Es uno de los minerales que mayores carencias provoca, especialmente entre mujeres en edad fértil, la carencia de hierro provoca un tipo de anemia concreto (abcdelbebe.com 2016).

Según el último informe elaborado por Jean Ziegler, relator para el derecho a la alimentación de la ONU, Guatemala tiene los índices más altos de malnutrición crónica infantil de la región (Unicef, 2015). La desnutrición crónica es mayor en el área rural (55.5%), principalmente en el Nor-occidente (63.3%) y es superior en las niñas y niños indígenas (69.5%) Consejo Nacional de urbano y Rural, 2004).

En la actualidad, el mejoramiento de la producción agrícola se encamina a los cultivos que se puedan adaptar a los cambios del medio ambiente, variedades de mayor contenido de micronutrientes para la alimentación humana y satisfacer la creciente demanda de alimentos de una población en constante aumento.

El Programa de consorcios regionales de investigación agropecuaria –CRIA- involucra a actores de investigación agrícola como el ICTA y actores locales (agricultores), para que en conjunto se conviertan en eficaces protagonistas para el desarrollo económico territorial del departamento de Huehuetenango. Ejecutando como primera actividad la conformación de consorcios regionales de investigación agropecuaria con enfoque de cadena de valor, que permita a través de mecanismos participativos y de gestión del conocimiento, la generación de prácticas y tecnología que resuelvan en este caso, la problemática de la cadena del frijol en Huehuetenango.

Actualmente el ICTA por intermedio del programa de frijol ha generado nuevas líneas de frijol que presentan características de alto potencial de rendimiento, resistencia a virus del mosaico dorado del frijol (*enfermedad viral más importante para el cultivo de frijol por debajo de los 1200 msnm*), tolerancia a enfermedades provocadas por bacterias, roya y antracnosis. Mayor contenido de minerales como hierro y calcio, carbohidratos, proteínas y fibra que las variedades que cultivan actualmente los agricultores u otras variedades generadas durante la revolución verde, que fueron únicamente seleccionadas por su alto rendimiento.

Generadas las variedades en campos experimentales de ICTA, se hace necesario evaluar su comportamiento agronómico en fincas de agricultores a nivel nacional o regional, para determinar sus dominios de recomendación en los distintos ambientes de cultivo.

Como producto de la estrategia del programa CRIA se identificaron en talleres con actores locales 29 puntos críticos de la cadena del frijol, los cuales se clasificaron en temas de: producción, pos-cosecha, transformación, comercialización y consumo del frijol. Con un puntaje de 109/115 en temas de investigación, se priorizó la falta de genotipos de mayor rendimiento, con resistencia a plagas y factores del cambio climático, por lo que se hace necesario la generación y evaluación en finca de productores, nuevos genotipos con los atributos solicitados y priorizados por los actores locales del consorcio de frijol (González, E 2016).

Por lo que la presente actividad se evaluará la estabilidad de rendimiento de 9 líneas generadas por ICTA, seleccionadas por su alto potencial de rendimiento, resistencia a enfermedades y contenido de minerales, viabilidad y gusto de los productores y consumidores de frijol de la zona por debajo de los 1200 msnm. Con el estudio se aportará una o dos líneas que pasaran a la siguiente fase de validación en parcelas de prueba de tecnología para el año 2018. La actividad responde a la demanda de los actores locales de falta de generación de genotipos de mayor rendimiento, resistencia a plagas y enfermedades y de buena calidad de grano para consumo humano.

2. Marco teórico

2.1. Historia de la investigación del cultivo de frijol en Guatemala

La investigación del cultivo de frijol en Guatemala se inició en 1949 con la introducción de germoplasma de EE.UU. Realizándose la primera recolección de germoplasma nacional criollo en 1951. En 1954 se reportó que los principales problemas del cultivo del frijol en el altiplano eran causados por *Colletotrichum lindemuthianum*, *Uromyces phaseoli*, *Ramularia sp.*, y mosaico común. Para las zonas bajas se reportó como problema *U. phaseoli*, mosaico amarillo y tizón (Voysest, 2000).

A principios de la década de 1970 el cultivo del frijol había sido abandonado por los agricultores del suroriente, principalmente por el ataque del virus del mosaico dorado, transmitido por la mosca blanca (*Bemisia tabaci*) (Villatoro, J., Castillo, F. y Franco, J., 2011).

En 1973 el Programa de Frijol del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola (ICTA) inició sus trabajos en el campo experimental de Monjas, Jalapa y enfocó principalmente su objetivo hacia la obtención de variedades resistentes al virus del mosaico dorado. En 1976 se ampliaron los trabajos en la región del altiplano, en el Centro Experimental de Chimaltenango (Voysest, 2000).

En los últimos 15 años se ha logrado avance del 65% considerable en agenciarse de genotipos con resistencia a mosaico común y mosaico dorado (Rosas, 2004). Paralelamente la importancia de conseguir genotipos con alto potencial de rendimiento y precocidad y buena arquitectura, sigue siendo relevante para el país. Lograr genotipos con dichas características, facilitaría su adopción masiva permitiendo mayor productividad, un ciclo fenológico más corto, reducción de costos de producción y un mayor ingreso para los agricultores. A nivel general, la zona ganaría, mayor disponibilidad de grano y un impacto ambiental, económico y social favorable (Villatoro, J., Castillo, F. y Franco, J., 2011).

La tendencia actual de la investigación agrícola apunta hacia la producción de alimentos con mayor contenido nutritivo.

2.2. Biofortificación

La biofortificación consiste en aplicar técnicas de fitomejoramiento para aumentar el nivel de proteínas, minerales, o vitaminas en diversos cultivos (Plataforma Biofort, 2019).

Para más de 300 millones de personas, los frijoles son una parte importante de la dieta, especialmente en África y América Latina y el Caribe. En un estudio de más de 2.000 variedades de frijol para evaluar los contenidos de hierro y zinc, especialmente, se encontró que existen variedades con dos veces más hierro y 40% más zinc que el frijol común que se consume actualmente en Latinoamérica y el Caribe. El nivel de zinc encontrado es uno de los más altos entre las fuentes vegetales de este mineral (HarvesPlus, 2019).

A través de la alimentación se puede compensar la deficiencia de hierro en las personas con anemia, más frecuente en poblaciones de menores recursos. El método de la biofortificación de cultivos ha demostrado efectividad en la lucha contra este problema de salud pública y es una alternativa para fomentar la seguridad alimentaria y nutricional de la población humana (Sulca, R. 2019)

Tradicionalmente, el carácter nutritivo de los alimentos ha sido enriquecido en la etapa de procesamiento del producto. En cambio, la “biofortificación” añade los nutrientes a los alimentos básicos mientras éstos crecen, lo que también resulta más barato para el consumidor (HarvesPlus, 2019).

2.3. Datos de salud y nutrición

Los datos de prevalencia de desnutrición crónica sitúan a Guatemala en el sexto lugar a nivel mundial en desnutrición crónica y el primero en Latinoamérica.

La información que se presenta corresponde a los departamentos de Huehuetenango, Totonicapán, San Marcos, Quiché y Quetzaltenango, que forman parte del CRIA-Occidente. En la región Nor-Occidental (Huehuetenango y Quiché) el 70.8% de los niños menores de cinco años padece desnutrición crónica y en la región Sur Occidental (Quetzaltenango, Retalhuleu, San Marcos, Suchitepéquez, Sololá, Totonicapán) un promedio de 54% INCAP-FANTA-Nutri-Salud/URC (2015).

La desnutrición crónica se concentra en la población indígena del área rural y en hijos de madres analfabetas. Alrededor de 67 niños indígenas de cada 100 son de baja talla para su edad. Los datos para cada departamento muestran que el porcentaje de desnutrición crónica en Totonicapán es de 82.1%, Quiché 72.2%, Huehuetenango 69.5%, San Marcos 53.5% y Quetzaltenango 43.1% (MSPAS, 2010)

Aunado a esto en estudios nutricionales realizados por la cartera de salud demuestran que la desnutrición proteínica energética y por deficiencias de micronutrientes aumenta el riesgo que tiene el niño y la niña de morir por enfermedades, especialmente de sarampión, neumonía y diarrea.(Unicef, 2015)

2.4. Acciones dirigidas

El periodo desde el embarazo hasta los dos años, tanto la madre como el niño necesitan mayor cantidad de nutrientes para la formación de órganos y tejidos, desarrollo del cerebro y para las demandas de nutrientes. La prevención de enfermedades y cuidados adecuados, una alimentación que cubra las demandas de nutrientes, la capacidad adquisitiva de las familias y condiciones de higiene adecuadas contribuyen a que el niño crezca y desarrolle todo su potencial, mejores su capacidad intelectual; y tenga mayor y mejor capacidad de trabajo y productividad y en la edad adulta. Los niños crecen y desarrollan bien su cerebro, son más inteligentes y se enferman menos. Es les permite tener mejor desempeño en los estudios y llegar a ser adultos productivos. (Nutrición materno infantil. (INCAP-FANTA-Nutri-Salud/URC, 2015).

2.5. El mejoramiento genético del frijol en el ICTA

De acuerdo con Villatoro, Aldana y Carrillo (s.f.) en Guatemala el cultivo de frijol se adapta a altitudes desde 0 hasta 2,500 metros sobre el nivel del mar y se han desarrollado variedades adaptadas a esas diversas condiciones, divididas en estratos, de 0 a 1,500 m. y a altitudes superiores a los 1,500 m.

En los últimos 15 años se ha logrado mucho avance en conseguir genotipos con resistencia en por lo menos a factores bióticos adversos: Virus del mosaico común (BMCV), virus del mosaico dorado (BGMV). Sin embargo, factores como bacteriosis(*Xantomonas campestris*), mustia hilachosa (*Tanatephorus cucumeris*), mancha angular (*Phaeoisariopsis griseola*), antracnosis, picudo de la vaina (*Apion gomani*) y factores abióticos como: altas

temperaturas, baja fertilidad (fósforo) y estrés hídrico (sequía), siendo este uno de los mayores limitantes en el cultivo de frijol (más del 60% del área sembrada en el mundo sufre de estrés hídrico) (Villatoro, Aldana y Carrillo, s.f.).

El presente estudio es la base, de aporte a la región del CRIA Occidente en el año 2017, de nuevas líneas que pasaran a la fase de validación de genotipos para altitudes por debajo de los 1200 msnm, estas nuevas líneas poseen características genéticas superiores en cuanto a rendimiento, contenido de minerales, tolerancia a virus del mosaico dorado y tolerancia a factores adversos como sequía. La cual respondería a la demanda de los actores locales de falta de genotipos de mayor rendimiento, con resistencia a plagas y factores del cambio climático como sequía. Además de ello, las líneas que pasan el tamiz en la identificación de genotipos pasan a la siguiente fase en el año 2017 de validación de la investigación dentro de ICTA y el programa CRÍA-frijol, para continuar aportando variedades biofortificadas para la zona de producción por debajo de los mil cuatrocientos metros sobre el nivel del mar.

Como se aprecia en el cuadro 1, el último genotipo liberado para la zona del subtrópico bajo de Huehuetenango, fue ICTA Ligero en el año 1998. Este genotipo tiene hábito de crecimiento determinado, con carga mayor en la base de la planta, su altura es de 0.60 m y la floración ocurre entre 29 y 30 días después de la siembra, el color de la flor es lila; la vaina madura es de color crema, con seis granos de color negro oscuro, la madurez fisiológica se presenta a los 64 días y puede cosecharse a los 71 días o antes, si el clima está seco. Es resistente a Mosaico Dorado y tolerante a Antracnosis, Bacteriosis y Roya.

3. Objetivos

3.1. Objetivo general

Incrementar la sostenibilidad de la producción del cultivo de frijol negro tipo arbustivo en el trópico bajo del Occidente de Guatemala.

3.2. Objetivos específicos

Identificar un genotipo de frijol de mayor rendimiento para el trópico bajo de Huehuetenango y Quiché.

Cuadro 1. Genotipos de frijol para zonas bajas < 1400 msnm liberados por ICTA en Guatemala, durante el año 1972-2015.

GENOTIPO	AÑO DE LIBERACIÓN
Cuilapa 72	1972
Ipala 72	1972
Suchitán	1978
ICTA Quetzal	1979
ICTA Jutiapán	1979
ICTA Tamazulapa	1979
ICTA Ostúa	1986
Doricta	1992
ICTA Achuapa	1995
ICTA Chapina	1996
ICTA Costeña	1996
ICTA Santa Gertrudis	1996
ICTA Ligero	1998
ICTA Petén	2014
ICTA Chortí ^{ACM} (alto contenido de minerales)	2015

Fuente: Voysest, 2000, ICTA, 2015.

4. Hipótesis

Ha: Al menos un genotipo de frijol arbustivo, supera en rendimiento y su estabilidad al testigo comercial y del agricultor en el trópico bajo de Huehuetenango y Quiché.

5. Metodología

5.1. Localidad y época

Los ensayos se establecieron en la época de segunda temporada (septiembre-noviembre 2018) y bajo sistema de riego (enero-marzo 2019) (Cuadro 2), las localidades evaluadas fueron representativas en la producción de frijol arbustivo en ambos departamentos.

5.2. Diseño experimental

Para el estudio se utilizó un diseño de bloques completos al azar (BCA), con tres repeticiones, 12 tratamientos y ocho localidades.

El modelo estadístico que corresponde al diseño experimental bloques completos al azar, se indica a continuación:

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

Dónde:

Y_{ij} = Variable de respuesta de la ij-ésima unidad experimental.

μ = Efecto de la media general.

τ_i = Efecto del i-ésimo tratamiento.

β_j = Efecto de la j-ésima repetición.

ε_{ij} = Efecto del error experimental asociado a la ij-ésima unidad experimental.

i = 1, 2, 3... 12 tratamientos.

j = 1, 2, 3 repeticiones.

Cuadro 2. Ubicación de ensayos de finca establecidos en ambientes del trópico bajo de Huehuetenango y El Quiché, Guatemala. 2019.

Municipio	Comunidad	AGRICULTOR	NORTE	ESTE
Jacaltenango	Winchén, Pebil Pam	Bernabé Silvestre Mateo	15° 45' 20.4"	91° 48' 34.2"
San Antonio Huista	Cantón Centro	Mario Tomás	15° 39' 26.04"	91° 46' 51.49"
San Antonio Huista	La Reforma	Antonio Tomás	15° 39' 5.96"	91° 46' 43.96"
Nentón	La Unión	Virgilio Velásquez	15° 56' 9.59"	91° 47' 42.36"
Nentón	Río Jordán	Luís Pérez López	15° 56' 10.06"	91° 45' 57.61"
Jacaltenango	Huntá, Pebil Pam	Oto Castillo Castillo	15° 45' 14.21"	91° 48' 5.04"
La Democracia	Los Chucles	Erasmus Martínez	15° 38' 15.4"	91° 51' 57.1"
Sacapulas	San Jorge	Luis Vásquez	15° 16' 54"	91° 06' 54.1"

Fuente: ICTA, CIALO-Huehuetenango.

Para la respuesta de un genotipo dado en un ambiente determinado, su modelo es:

$$y_{ij} = \mu + G_i + A_j + \sum_{n=1}^k \lambda_n \xi_{ni} \eta_{nj} + \rho_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

G_i	=	Efecto del genotipo i.
A_j	=	Efecto del ambiente.
$\sum_{n=1}^k \lambda_n \xi_{ni} \eta_{nj}$	=	Sumatoria de términos multiplicativos que modela la interacción GE, compuesta por el parámetro de interacción del j-ésimo ambiente, denotado por η_{nj} , del i-ésimo genotipo para la misma componente, denotado por ξ_{ni} y el autovalor asociado al eje denotado por λ_n .
ρ_{ij}	=	Porción del ij-ésimo término de la interacción GE no explicada por el modelo multiplicativo.
ε_{ij}	=	Término de error aleatorio.
ξ_{ni}	=	Sensibilidad genotípica a los factores ambientales latentes, los cuales representados por η_{nj} el j-ésimo ambiente.

5.3. Tratamientos

Los genotipos evaluados (líneas avanzadas) fueron los diez que proporcionaron el Programa de mejoramiento del frijol del ICTA, seleccionados por su rendimiento, tolerancia a sequía y resistencia a enfermedades del frijol como mosaico dorado y bacteriosis. Se utilizó la variedad comercial ICTA Ligero como testigo comercial, para evaluar y comparar la resistencia de las líneas y un testigo local para evaluar rendimiento (cuadro 3). Algunas líneas poseen características específicas como mayor contenido de hierro (aproximadamente 75 ppm, en comparación de 40 a 50 que presentan otras variedades) y resistencia a sequía.

Cuadro 3. Origen, genealogía y descripción de cultivares evaluados en el ensayo de finca en Huehuetenango y Quiché, Guatemala, 2018.

No.	Genotipos	Origen	Genealogía	Descripción
1	ICTA JU 2015-64ML	CIAT	MEM 2201-64ML	Multilínea, 32 días a flor, 74 días a madurez fisiológica, tolerante a mosaico dorado y sequía, color de grano negro, grano grande, color de vaina crema, rendimiento 54 qq/ha, 50 ppm de hierro.
2	ICTA JU 2013-10	ICTA	ICTA Ligero/Fe23823-1-10	32 días a flor, 74 días a madurez fisiológica, tolerante a mosaico dorado y sequía, color de grano negro, grano mediano, , color de vaina crema , rendimiento 45 qq/ha, 50 ppm de hierro.
3	ICTA JU 1993-39	CIAT	Chapina/DOR390	34 días a flor, 74 días a madurez fisiológica, tolerante a mosaico dorado y sequía, color de grano negro, grano grande, color de vaina morada, rendimiento 54 qq/ha, 100 ppm de hierro.
4	ICTA JU 2015-49	CIAT	MHN 322-49	34 días a flor, 74 días a madurez fisiológica, tolerante a mosaico dorado y sequía, color de grano negro, grano grande, , color de vaina crema, rendimiento 54 qq/ha, 105 ppm de hierro.
5	ICTA JU 1439-4	ICTA	ICTA Ostúa/DOR 390	30 días a flor, 70 días a madurez fisiológica, tolerante a mosaico dorado, susceptible a sequía, color de grano negro, grano mediano, , color de vaina crema, rendimiento 45 qq/ha, 50 ppm de hierro.
6	ICTA JU 2014-23	CIAT	SBCF 16170-23	28 días a flor, 65 días a madurez fisiológica, tolerante a mosaico dorado y sequía, color de grano negro, grano mediano, , color de vaina crema, rendimiento 54 qq/ha, 50 ppm de hierro.
7	ICTA JU 2014-04	RUMPR	ICTA Ligero/XRAV 40-4	32 días a flor, 74 días a madurez fisiológica, tolerante a mosaico dorado, sequía, color de grano negro, grano mediano, , color de vaina crema, rendimiento 54 qq/ha, 50 ppm de hierro.

Continuación cuadro 3

8	ICTA JU 2014-15	ICTA	ICTA Ligero/ICTA Ligero/SEA15	32 días a flor, 74 días a madurez fisiológica, tolerante a mosaico dorado, sequía, color de grano negro, grano mediano, color de vaina crema, rendimiento 54 qq/ha, 50 ppm de hierro.
9	ICTA JU 2014-11-3	ICTA	ICTA Ligero/Fe23823-11-3	30 días a flor, 70 días a madurez fisiológica, tolerante a mosaico dorado, susceptible a sequía, color de grano negro, grano mediano, color de vaina crema, rendimiento 45 qq/ha, 50 ppm de hierro.
10	ICTA JU 2013-77		ICTA Ligero/SEA18	30 días a flor, 74 días a madurez fisiológica, tolerante a mosaico dorado, sequía, color de grano negro, grano mediano, color de vaina crema, rendimiento 45 qq/ha, 50 ppm de hierro.
11	Testigo comercial (ICTA Ligero)		CHAPINA/DOR385	28 días a flor, 65 días a madurez fisiológica, resistente a mosaico dorado, susceptible a sequía, color de grano negro, grano pequeño, color de vaina crema, rendimiento 35 qq/ha, 50 ppm de hierro.
12	Testigo local		Variedad local más cultivada en la zona	Color de grano, crecimiento tipo III, susceptible a mosaico dorado y sequía, mala arquitectura de planta, grano mediano, color de vaina crema, rendimiento 17 qq/ha, 45 ppm de hierro.

Fuente: ICTA, CIALO-Huehuetenango.

5.4. Unidad experimental

La unidad experimental fue de 7.2 m², integrada por cuatro surcos de 4.2 m de largo, distanciados a 0.40 m entre surcos, sobre los cuales se establecieron las posturas a cada 0.3 m entre cada una y en las que se depositaran tres semillas por postura, quince posturas por surco, para un total de 180 semillas o plantas por parcela. La parcela neta se constituyó por los dos surcos centrales de cada unidad experimental, dejando dos posturas extremas en la parte frontal y trasera de las parcelas.

5.5. Tamaño del área experimental.

Definida por un lado de 26 m en dirección hacia donde se distribuyen los tratamientos y otro lado más de 15.6 m en dirección hacia donde se distribuyen las repeticiones, con una separación de un m en el contorno de las unidades experimentales. Para hacer un área experimental de 410 m².

5.6. Variable de respuesta.

- Días a floración (DF): Número de días desde la siembra efectiva hasta que el 50% de plantas tengan la primera flor abierta, en parcela neta.

- Días a madurez fisiológica (DMF): Días que transcurren desde la siembra hasta que el 90% de vainas hayan cambiado de color.
- Atura de planta: Altura media de plantas expresada en centímetros en parcela neta.
- Aspecto vegetativo
- Aspecto reproductivo
- Número de plantas: Número de plantas que llegaron a cosecha en parcela neta.
- Peso de 1000 semillas: Peso de 1000 granos de frijol por unidad experimental.
- Rendimiento: expresado en Kg.ha⁻¹ con el grano a 14% de humedad, en parcela neta.
- Reacción a virus del mosaico dorado y otras enfermedades (lectura 40-60 DDS) utilizando la escala de CIAT: 1, 2, 3 resistente, 4, 5, 6 intermedio y 7, 8, 9 susceptible.
- Opinión de los agricultores (Boleta de evaluación participativa, de la apreciación objetiva ejecutada, en cada parcela por agricultores en actividad de días de campo)

5.7. Análisis de la información

- Análisis de varianza (InfoStat, 2008).
- Comparación de media DGC (Di Rienzo, 2009)
- Modelo SREG-Biplot GGE. (Cornelius et al, 1,996; Crossa y Cornelius 1,997 y 2002).
- Modelo GREG-Biplot GEE. (Cornelius et al, 1,996; Crossa y Cornelius 1,997 y 2002).
- Análisis de correspondencia (InfoStat, 2008)

5.8. Manejo del experimento

Se realizó un chapeo general de malezas con machete, para uniformizar su tamaño a menos de 0.10 m de altura, para luego realizar aplicación de herbicida de acción total o no selectivo del tipo Glifosato a razón de 125 cc más 50 cc de 2-4 D por 20 litros de agua. Las malezas controladas quedarán sobre la superficie del terreno de manera que formen una cubierta que impidan el crecimiento de otras malezas, que las enfermedades del suelo lleguen a las hojas y mejores las condiciones del suelo al alcanzar un grado de descomposición avanzado (ICTA, 2010). La época de siembra correspondió a la segunda temporada, durante el mes de septiembre. La siembra se ejecutó a distancias de 0.40 m entre surcos, 0.30 m entre plantas, colocando 3 semillas por postura, lo que equivale a una densidad poblacional de 250,000 plantas por hectárea. Se realizaron dos controles de malezas a los 15 y 30 días después de siembra (DDS). Se realizó control preventivo de plagas Chicharritas (*Empoasca fabae*), Minadores de las hojas (*Liriomyzahuidobrensis*), Tortuguillas (*Diabrotica* spp), Gusano nocheros (*Spodoptera* spp), Picudo de la vaina (*Trichapion godmani*), Barrenador de la vaina (*Epinotia aporecon* con insecticida Lambda-cihalotrin a razón de 25 cc/20 litros de agua. La fertilización química al suelo se realizó a los 10 días después de la siembra, a razón de 192 kilogramos por hectárea de NPK. Se realizó un día de intercambio de conocimientos y experiencias *in situ*, en aldea Río Jordán, Nentón, Huehuetenango. Participando 45 agricultores cuando el cultivo se encontraba

en su fase de madurez fisiológica. En dicha actividad los agricultores evaluaron, por intermedio de una boleta de opinión la fase vegetativa y reproductiva de cada uno de los tratamientos bajo estudio. Además, se realizó la cocción de una muestra de frijol de cada genotipo, para medir las características gustativas, olfativas y tacto del producto cocido. Esta información, vinculada con el criterio técnico-científico, permitió tomar una mejor decisión, respecto de los genotipos que continuarán en la fase de validación de tecnología (ICTA, 1981). La tabulación de datos se realizó en hojas electrónicas de Microsoft Excel versión 2010. Para el análisis estadístico se utilizó el software InfoStat, versión 2016. Realizando prueba de hipótesis marginales (SC tipo III) por intermedio de modelos lineales generales y mixtos a rendimiento Para la evaluación de enfermedades: bacterias, mancha angular, roya y antracnosis, cuya resistencia-susceptibilidad a estos agentes se midió utilizando la escala de CIAT: 1, 2, 3 resistente, 4, 5, 6 intermedio y 7, 8, 9 susceptible.

6. Resultados

6.1. Rendimiento

Al realizar el análisis de la varianza (cuadro 4) a la variable rendimiento, no se encontró significancia en la interacción genotipo ambiente ($p=0.9129$). Sin embargo, los efectos simples presentaron significancia, genotipos ($p < 0.0001$) y ambiente ($p < 0.0001$).

Cuadro 4. Análisis de la varianza a genotipos de frijol tipo arbustivo de grano negro en ambientes de Huehuetenango y Quiché, Guatemala. 2019.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Rendimiento (T/ha)	288	0.66	0.49	35.10

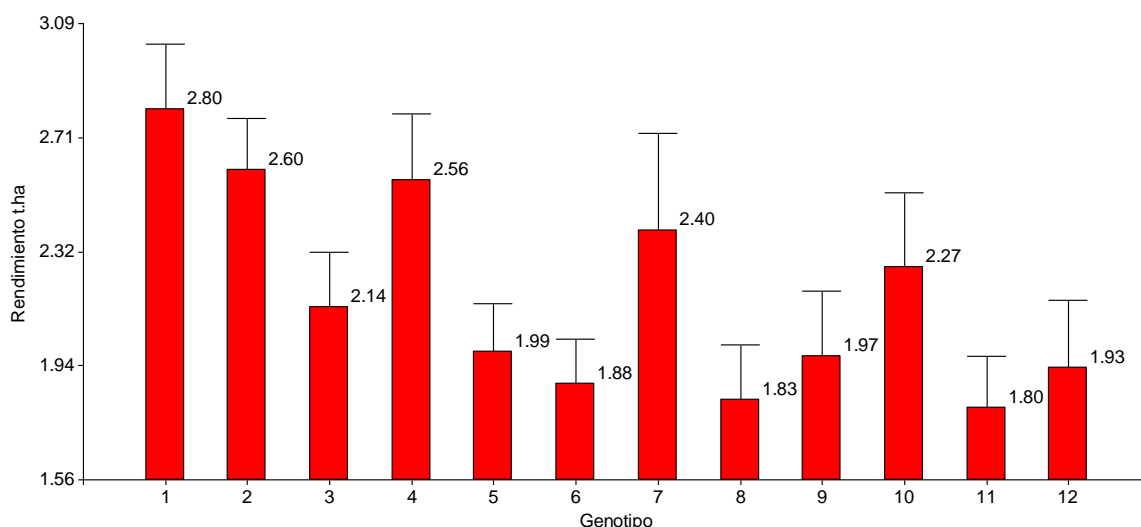
Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F. V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	217.68	95	2.29	3.91	<0.0001
Genotipo	30.46	11	2.77	4.73	<0.0001
AMBIENTE	152.79	7	21.83	37.25	<0.0001
Genotipo*AMBIENTE	34.43	77	0.45	0.76	0.9129
Error	112.51	192	0.59		
Total	330.20	287			

Fuente: ICTA, CIALO-Huehuetenango.

El rendimiento alcanzado por los genotipos muestra un promedio de 2.18 t/ha. Donde los mayores fueron los tratamientos ICTA JU 2015-64ML, ICTA JU 2013-10 e ICTA JU 2015-49 con 2.80, 2.60 y 2.56 t/ha, respectivamente. Es de resaltar que el genotipo ICTA JU 2015-49 posee 105 ppm de hierro y grano de tamaño grande, esta es una característica deseable para disminuir la desnutrición crónica y el tamaño de grano es aceptable para los agricultores.

Todos los genotipos evaluados superaron en rendimiento de grano al testigo comercial (ICTA Ligero) y al testigo del agricultor, que obtuvieron rendimientos de 1.80 y 1.93 t/ha, respectivamente. No obstante, ICTA Ligero se caracteriza por su precocidad (65 días a madurez fisiológica). El testigo del agricultor, presentó susceptibilidad a mosaico dorado y a la vez es un

genotipo tardío de crecimiento tipo II, guía larga. Los genotipos nuevos y el testigo comercial ICTA Ligero, presentaron tolerancia al mosaico dorado del frijol.



Fuente: ICTA, CIALO-Huehuetenango.

Figura 1. Rendimiento promedio de doce genotipos de frijol arbustivo color de grano negro en ambientes de Huehuetenango y Quiché, Guatemala.

Al realizar la prueba de comparación múltiple de medias de Fisher para genotipos (figura 2), se formaron seis grupos de medias. El primer grupo identifica al genotipo ICTA JU 2015-64ML con rendimiento de 2.80 t/ha, con rendimiento superior similar en rendimiento a los genotipos ICTA JU 2013-10, ICTA JU 1993-39 e ICTA JU 2014-04 con rendimientos de grano de frijol de 2.60, 2.56 y 2.40 t/ha respectivamente. El último grupo de medias identificado con letra “F”, identifica al genotipo ICTA Ligero como de menor rendimiento con 1.80 t/ha, sin embargo, esta es una variedad precoz.

La prueba de hipótesis marginales, a la fuente de variación ambiental o localidades formaron cuatro grupos de medias distintos, el primer grupo identificado con letra “A” lo conforman el ambiente del Centro, San Antonio Huista con rendimiento de 3.75 t/ha, el cual fue superior al resto de ambientes evaluados, esto se debió al efecto del riego, lo que le permitió cumplir a cabalidad la lámina de riego necesaria para el cultivo de frijol. El segundo grupo identificado con letra “B” lo conforman los ambientes de La Democracia, La Reforma y Pebil Pam con rendimientos de 2.54, 2.45 y 2.28 t/ha respectivamente. El tercer grupo lo forma el ambiente de Catarina con rendimiento de 2.1 t/ha. El cuarto grupo “D” lo formaron Río Jordán, La Unión y Sacapulas. Estos dos ambientes de menor humedad ambiental y residual fueron los más hostiles para el cultivo de frijol.

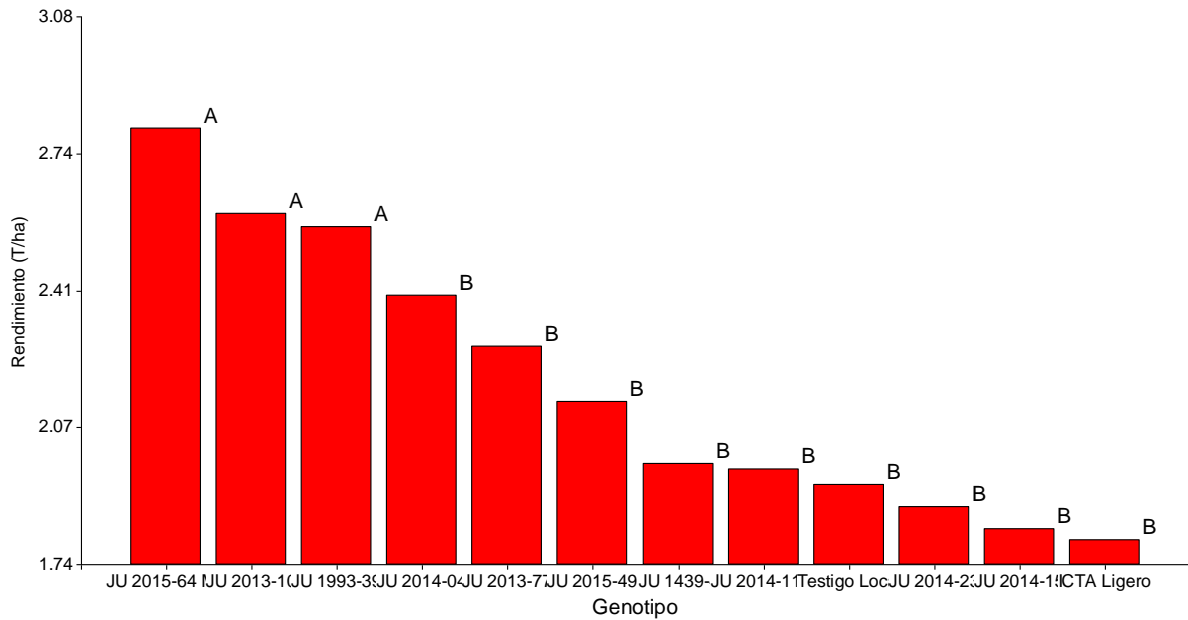
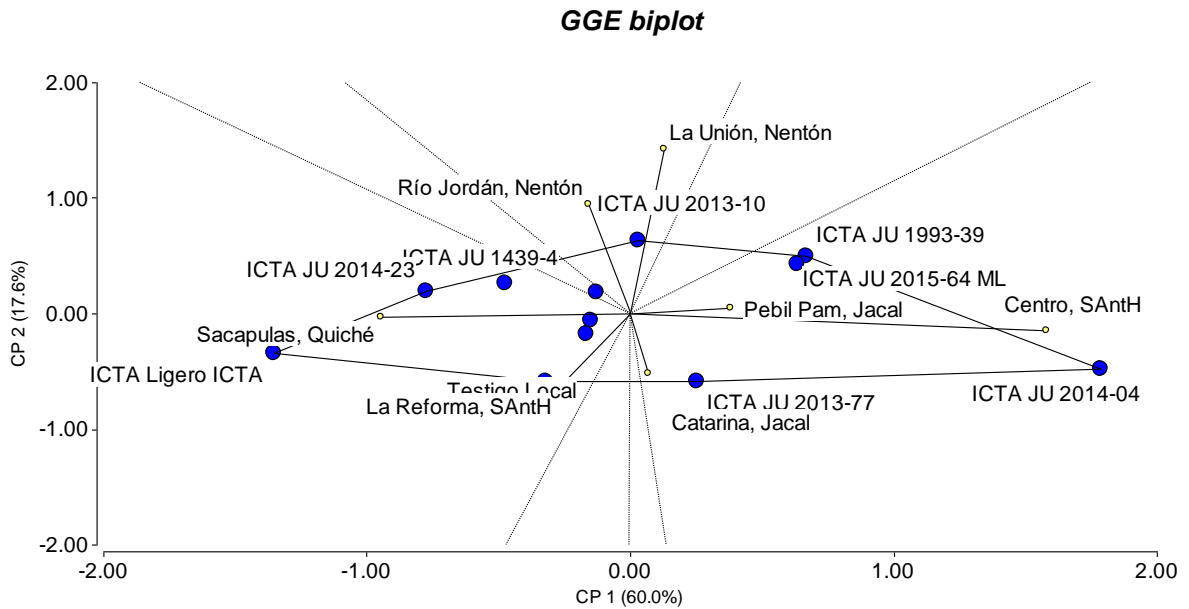


Figura 2. Comparación de medias de rendimiento de genotipos de frijol color de grano negro en ocho ambientes de Huehuetenango y El Quiché, Guatemala.

Yan y Rajcan, M., citados Acebedo por Álvarez, R., Silva, R., Torres, O y Reyes, E. (2019), establecieron que los ensayos multi-ambientales conducidos a través de varias localidades y años son necesarios para verificar el patrón de agrupación de dichos ambientes dentro de mega-ambientes e identificar genotipos con alto desempeño en cada mega-ambiente. En este sentido, se realizó análisis de componentes principales del modelo regresión lineal por sitios, representando los resultados por intermedio de un biplot (figura 3).

Dicho análisis definió que a los genotipos ICTA JU 2014-4, ICTA JU 1993-39, ICTA JU 2013-10, ICTA JU 2014-23, ICTA Liger, Testigo local e ICTA JU 2013-77, como los representativo de los megaambientes. Estos son genotipos de comportamiento extremo, sea bien los mejores o los de peor rendimiento en algunos ambientes. Los genotipos que quedan en los vértices son los que más rinden en los ambientes que quedan encerrados en el mega ambiente. Con fundamento a ello se puede decir que el genotipo de mayor rendimiento en el ambiente de Centro, San Antonio Huista, fue el ICTA JU 2014-4, dicho ambiente se ubica a 1000 metros sobre el nivel del mar, con disponibilidad de agua de riego, mejor conservación humedad del suelo por su altitud sobre el nivel del mar, para el desarrollo vegetativo y productivo de frijol. Igualmente, en el otro extremo se ubica el mega ambiente formado por Sacapulas, El Quiché, donde el genotipo de mayor rendimiento fue ICTA Liger. Sacapulas, es un ambiente seco, baja precipitación pluvial y sin disponibilidad de agua para riego, donde ICTA Liger, presenta sus características de tolerancia a sequía y escape por su precocidad en su desarrollo vegetativo y productivo.

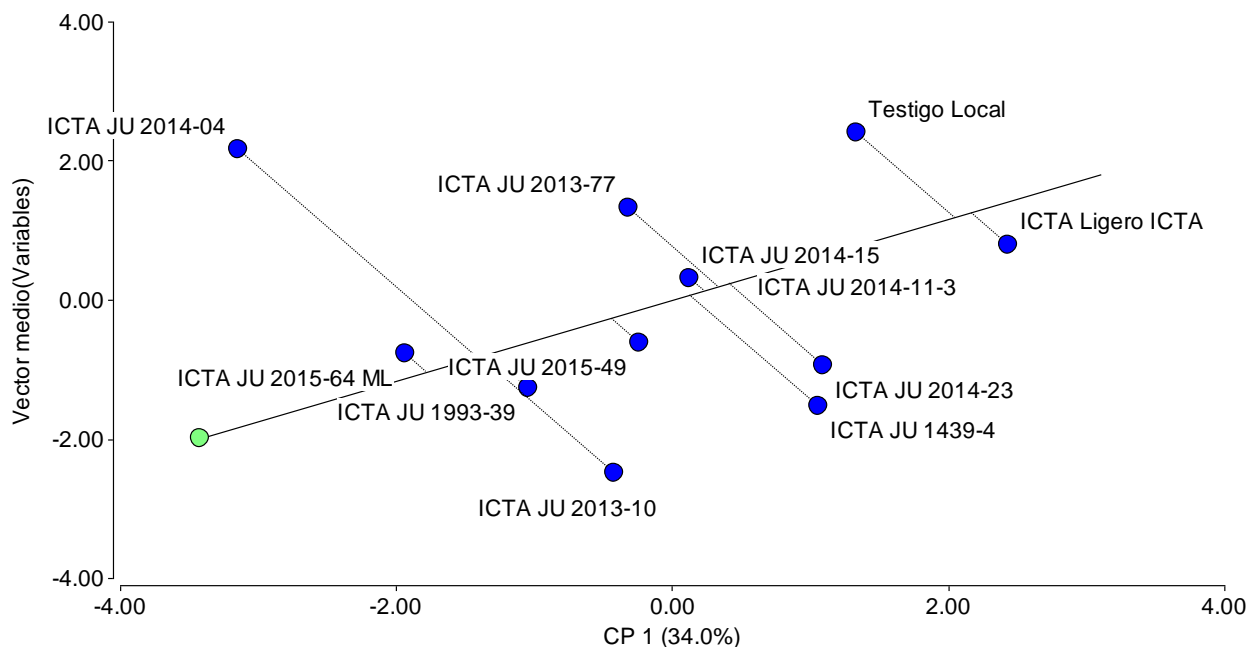


Fuente: ICTA, CIALO-Huehuetenango.

Figura 3. Análisis de componentes principales y megambientes del rendimiento de doce genotipos de frijol tipo arbustivo color de grano negro en ambientes de Huehuetenango, Guatemala.

El análisis de regresión lineal por sitios para el cálculo de un índice ambiental (figura 4), determinó que en un ambiente promedio (línea continua sobre la figura) el genotipo ICTA JU 2015-64 ML, es el que obtiene mejor rendimiento de grano de frijol y buena estabilidad, comparado con el resto de genotipos evaluados en el estudio. Siguiendo en su orden de mayor rendimiento promedio los genotipos ICTA JU 1993-39, ICTA JU 2014-04 e ICTA JU 2013-10 todos los anteriores con menor estabilidad de su rendimiento que ICTA JU 2015-64 ML. Este análisis identifica que el genotipo ICTA JU 2015-64 ML es el más recomendable para pasar a la siguiente fase de validación en campo de agricultores de la región Huista, del departamento de Huehuetenango.

En este estudio el genotipo de menor rendimiento promedio lo obtuvieron el testigo local e ICTA Ligerito, este último genotipo presentó a la vez aceptable estabilidad. El genotipo ICTA JU 2014-04, tiene buen rendimiento pero se perfila como muy inestable en un ambiente promedio, se estima que responde bien en ambientes favorables con buen suelo, agua y temperatura ambiental, lo cual la mayoría de cultivadores de frijol no poseen en sus localidades. Por este motivo no es recomendable para el área de estudio.



Fuente: ICTA, CIALO-Huehuetenango.

Figura 4. Análisis de regresión lineal por sitios para estabilidad del rendimiento de genotipos de frijol de grano negro, tipo arbustivo en ocho ambientes de Huehuetenango, Guatemala.

6.2. Análisis de componentes del rendimiento

El análisis de componentes principales (ACP) (figura 5) presenta el comportamiento de los componentes del rendimiento y su asociación con los genotipos estudiados, para el efecto se tiene un 72.7% de variabilidad. Este análisis muestra que el rendimiento no correlaciona con peso del grano y muestra correlación negativa con los componentes granos por vaina y de vainas por planta.

En cuanto a genotipos, ICTA JU 2015-65 ML se relaciona positivamente con el rendimiento y mayor peso granos, no así al número de vainas por planta y granos por vaina. No obstante, ICTA Ligerito y testigo del agricultor presentan bajos rendimientos y menor peso de grano, similar resultado obtuvo Voyset citado por Muñoz (1976) quien, en un estudio de correlaciones de trece poblaciones de frijol, determinó que la mayoría de las poblaciones estuvieron correlacionadas negativamente respecto a sus componentes de rendimiento.

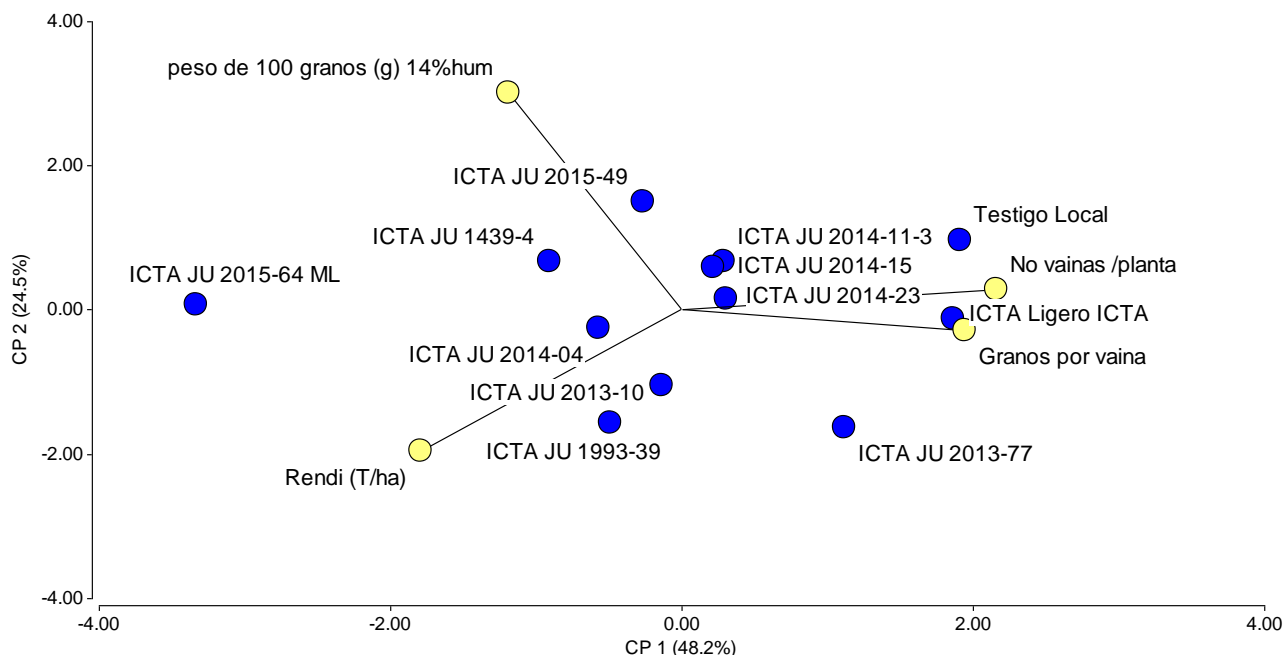


Figura 5: ACP a componentes de rendimiento de genotipos de frijol color de grano negro en ocho ambientes de Guatemala.

6.3. Incidencia de enfermedades

En el centro de origen y diversidad del frijol, los patógenos causantes de las enfermedades también muestran gran diversidad patogénica (Acosta, et al., 2010). La antracnosis (Balardin *et al.*, 1997), roya (Araya *et al.*, 1996), tizón común (Navarrete *et al.*, 2008), virus del mosaico común y necrótico (Flores-Estévez *et al.*, 2003), son un complejo de enfermedades del frijol, que dificulta el desarrollo de variedades resistentes, o bien causa que una variedad resistente en una área o región, sean susceptibles en otra.

En el caso del presente estudio, los genotipos ICTA JU 1439-4, ICTA JU 2014-04, ICTA JU 2014-15, ICTA JU 2014-11-3, ICTA JU 2013-77 y testigo local, presentaron mayor daño de roya (*Uromyces appendiculatus* var. *Appendiculatus*) (figura 6). La roya es favorecida en ambientes con temperaturas moderadas de 17-27 C y cambios bruscos de temperatura (IICA, 2008). El riego por aspersión utilizado en el área de estudio influyó en la presencia o ausencia de roya, al aplicar riegos durante el día. Por ejemplo, al efectuar riegos durante días soleados, predispone la presencia de roya, por el cambio brusco de temperatura en el material vegetativo de los genotipos.

El genotipo testigo, presentó los datos más altos en cada una de las enfermedades, la roya con un valor de 2.33, Antracnosis con un valor 2.71, mosaico dorado un valor 4.13 y mancha angular (*Colletotrichum lindemuthianum*) un valor de 2.0, para un promedio general del complejo de enfermedades de 2.79. Es probable que el uso indiscriminado de grano como

semilla en temporal, ha contribuido a la dispersión y variación de las enfermedades que se transmiten a través de la semilla (Acosta, et al., 2010).

En el caso de Antracnosis (*C. lindemuthianum*) y mosaico dorado frijol –BGMV- (Bean Golden Yellow Mosaic Virus), su baja manifestación confirmó la tolerancia genética de los nuevos genotipos generados por ICTA.

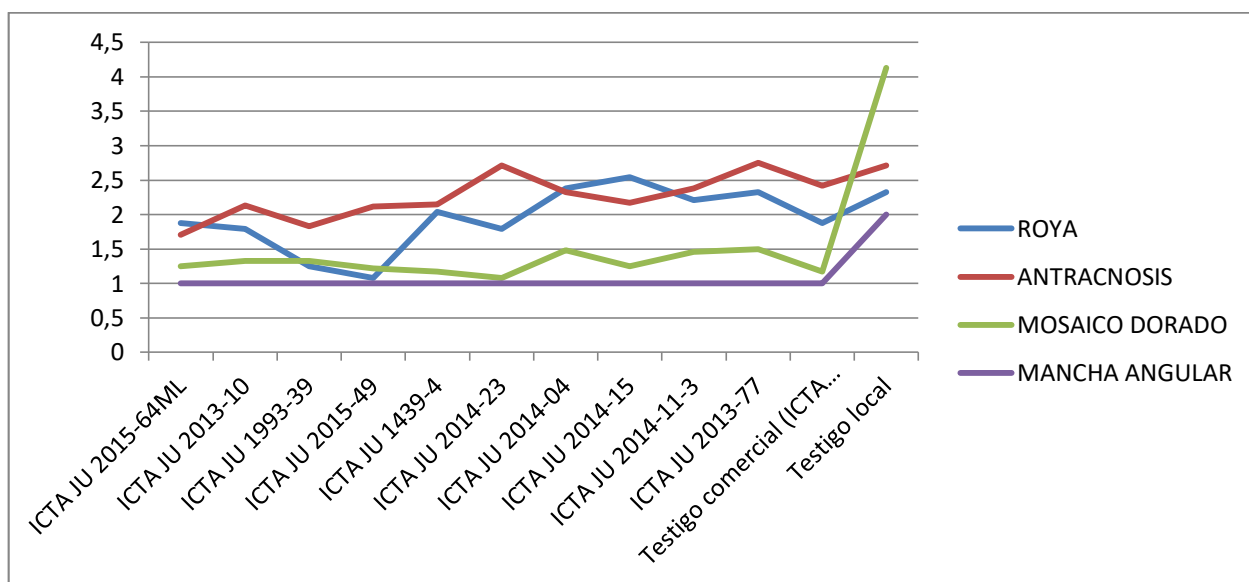


Figura 6: Incidencia de las principales enfermedades del frijol a incidencia de enfermedades sobre el rendimiento de genotipos frijol grano negro en Huehuetenango y El Quiché, Guatemala

6.4. Evaluación culinaria

En actividad de intercambio de conocimientos y experiencias, con grupos de productores pertenecientes al consorcio de actores locales de la cadena de frijol, se evaluó la opinión de los agricultores respecto a la preferencia gustativa de los genotipos bajo evaluación. Los panelistas “agricultores”, se sometieron a una prueba de pre-aceptabilidad o hedónica, evaluando con el sentido del olfato, gusto y tacto el producto comestible de los genotipos bajo evaluación; los resultados se visualizan en las dos primeras dimensiones del análisis de correspondencia (AC) simple (figura 7) de la tabla de contingencia correspondiente al cruce de las variables genotipos x evaluación culinaria. El gráfico sugiere, que los genotipos ICTA JU 2015-64 ML, ICTA JU 2013-10, ICTA JU 1993-34, ICTA JU 2015-49 e ICTA JU 1439-4 fueron pre aceptados por el sentido del olfato, gusto y tacto el producto comestible de cada uno de los genotipos bajo evaluación. Mientras que el testigo del agricultor se contrapone en la escala categórica de “no me gusta”. Por lo tanto deduce que: las características culinarias presentadas del producto comestible (frijol en caldo) de los genotipos indicados influye

directamente sobre la pre aceptación de los genotipos en estudio. Y pueden reemplazar al genotipo testigo, utilizado por los agricultores actualmente en el trópico bajo del departamento de Huehuetenango.

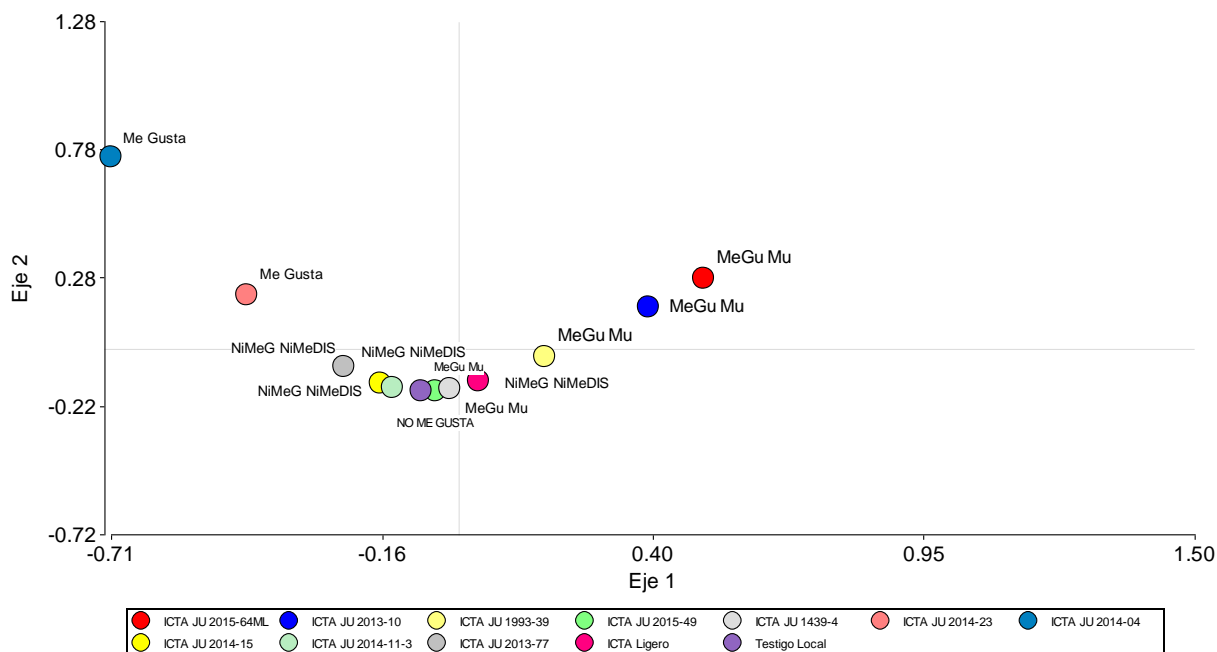


Figura 7: AC a opinión de agricultores, respecto a evaluación culinaria de genotipos de frijol evaluados en Huehuetenango, Guatemala.

7. Conclusiones

Los genotipos ICTA JU 2015-64 ML, ICTA JU 1993-39, ICTA JU 2014-04 e ICTA JU 2013-10 superan en rendimiento al testigo comercial y del agricultor.

El genotipo ICTA JU 2015-64 ML posee correlación positiva con su rendimiento de grano, así como su peso.

El genotipo testigo del agricultor, presentó mayor susceptibilidad al complejo de enfermedades presentadas en el área bajo estudio.

Las características culinarias de los genotipos ICTA JU 2015-64 ML, ICTA JU 2014-39-4 e ICTA JU 2013-10, influyeron en la preferencia de los agricultores.

8. Recomendaciones

Pasar a fase de validación de tecnología los genotipos ICTA JU 2015-64 ML e ICTA JU 1993-39 por su mayor rendimiento y estabilidad.

9. Referencias

- (CIAT), Centro Internacional de Agricultura Tropical; Problemas de producción de frijol. Cali, Colombia.
- Acebedo por Álvarez, R., Silva, R., Torres, O y Reyes, E. (2018). Interacción genotipo ambiente en arroz para identificar mega-ambientes y ambientes ideales mediante el modelo de regresión por sitios y biplot. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. (en línea). Venezuela. *Biogra* 31(1): 35-44. 2019. Consultado 16 de agosto de 2019. disponible en:
https://www.researchgate.net/publication/330137227_Interaction_genotipe_environment_in_irrigated_rice_genotypes_for_identify_mega-environments_and_ideal_environments_through_the_model_of_site_regression_SREG_and_biplot_GGE
- Acosta, J., Sánchez, B., Mendoza, F., Jiménez, Y., Salinas, R., Rosales, Navarrete, R., Zandate, R., Alvarado, S. y Padilla, J. (2010). Rendimiento y reacción a enfermedades en frijol tipo flor de mayo en riego y temporal. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*. Vol. 1. Número 1. 1 de enero 2010. p. 65-75. Consultado 16 agosto 2019. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342010000100007
- CIMMYT, C. I. (1988). *La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos: Un manual metodológico de evaluación económica*. México D.F. México: CIMMYT
- Di Rienzo, J., Casanoves, F., Balzarini, M., González, L., Tablada, M., & Robledo, C. (2008). *InfoStat, versión 2008*. Córdoba, Argentina: Brujas.
- González, E. (2016). Identificación de puntos críticos y temas para la formulación de proyectos de investigación en la agro cadena del frijol occidente. Consultoría: Fortalecimiento de las capacidades de consorcios locales de investigación agrícola. Inédito. 61 p.
- HarvestPlus (2019). Mejoramiento de cultivos biofortificados (en línea). Guatemala. HarvestPlus. Consultado 16 agosto 2019. Disponible en:
ac.harvestplus.org/fact_tabs/cultivos-biofortificados/
<https://www.abcdelbebe.com/bebe/6-12-meses/la-importancia-del-hierro-en-la-dieta-de-los-ninos-11568>

- ICTA. (1987). *Informe técnico de resultados de prueba de tecnología*. Huehuetenango, Guatemala: Inédito.
- ICTA. (2010). *Manual Técnico Agrícola, Producción comercial y de semilla de Frijol (Phaseolus Vulgaris L)*. Quetzaltenango, Guatemala.
- ICTA, I. d. (1981). *Guía técnica de investigación agrícola*. Guatemala. Guatemala.: ICTA.
- INCAP-FANTA-Nutri-Salud/URC. (2015). *Acciones efectivas para mejorar la nutrición materno-infantil. Diplomado: Nutrición materno-infantil en los primeros 1000 días de vida*. Guatemala, Guatemala. : Servi prensa.
- Kays, S. (2006). *Flavor the key to sweet potato consumption*. .Indian, USA.+.
- Plataforma biofort (2015). Consolidando los esfuerzos de la biofortificación en Guatemala. Boletín de noticias. Consultado el 15 de octubre de 2017 Disponible en <http://biofort.com.gt/>
- Pedroza, H. (2007). *Enfoque integrado de investigación y extensión en sistemas agropecuarios. Enfoque IESA*. Managua, Nicaragua.: INTA. .
- Rosas, J (2004). Nomenclatura de variedades de frijol común liberadas en Centro América y El Caribe (en línea). *Agronomía Mesoamericana*, 15(2) p. 221-224. consultado el 16 de enero de 2016 Disponible en; <http://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agromeso/article/view/11917>.
- Scidev.net. (2014). <http://www.scidev.net/america-latina/biotecnologia/especial/cultivos-fortificados-debutan-en-el-mundo-en-desarrollo-.html> . Recuperado el 02 de 03 de 2015, de <http://www.scidev.net/america-latina/biotecnologia/especial/cultivos-fortificados-debutan-en-el-mundo-en-desarrollo-.html>
- Sulca, R. (2019). La biofortificación de los cultivos, una estrategia contra la anemia (en línea) Perú. Consultado 13 de agosto 2019. Disponible en: <https://vital.rpp.pe/salud/la-biofortificacion-de-cultivos-una-estrategia-contra-la-anemia-noticia-1098106>
- Unicef. (3 de marzo de 2015). <http://www.unicef.org.gt>. Recuperado el 2015 de 2015
- Villatoro, J., Aldana, F., & Carrillo, E. (s.f.). *Mejoramiento genético del frijol común Phaseolus vulgaris para incorporar tolerancia al estrés hídrico*. Guatemala, Guatemala.: ICTA.
- Villatoro, J., Castillo, F., & Franco, J. (2011). *Producción de frijol Phaseolus vulgaris L. Inversión estratégica en la difusión rápida de tecnología: La comercialización de variedades de frijol resistentes a enfermedades en Guatemala*. Guatemala, Guatemala.: ICTA.

Voysest, O. (2000). *Mejoramiento genético del frijol (Phaseolus vulgaris L.): legado de variedades de América Latina 1930-1999/Oswaldo Voysest Voysest*. Calí Colombia: CIAT.



CRIA

Programa de consorcios de Investigación Agropecuaria

