



“Por un Desarrollo Agrario  
Integral y Sostenible”

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**  
**FACULTAD DE AGRONOMÍA**  
**MAESTRÍA EN MEJORAMIENTO GENÉTICO**

**Trabajo de Graduación**

**Rendimiento de grano de 16 genotipos biofortificados de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) en 11 ambientes de Nicaragua, 2015-2016**

**Autor**

**Ing. Ronaldo Alfredo Calderón Matey**

**Asesores**

**PhD. Oscar José Gómez Gutiérrez**

**MSc. Aurelio Llano González**

**PhD. Steve Beebe**

**Managua, Nicaragua**

**Octubre, 2018**



“Por un Desarrollo Agrario  
Integral y Sostenible”

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**  
**FACULTAD DE AGRONOMÍA**  
**MAESTRÍA EN MEJORAMIENTO GENÉTICO**

**Trabajo de graduación para optar al título de  
Maestro en Ciencias en Mejoramiento Genético de  
Cultivos**

**Rendimiento de grano de 16 genotipos biofortificados de  
frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) en 11 ambientes de  
Nicaragua, 2015-2016**

**Autor**

**Ing. Ronaldo Alfredo Calderón Matey**

**Asesores**

**PhD. Oscar José Gómez Gutiérrez**

**MSc. Aurelio Llano González**

**PhD. Steve Beebe**

**Octubre, 2018**

## ÍNDICE DE CONTENIDO

SECCIÓN	PÁGINA
DEDICATORIA	i
AGRADACIMIENTO	ii
ÍNDICE DE CUADROS	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	iv
ÍNDICE DE ANEXOS	v
RESUMEN	vi
ABSTRACT	vii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	4
III. MATERIALES Y MÉTODOS	5
3.1 Ubicación del estudio	5
3.2 Diseño metodológico	5
3.3 Material vegetal	6
3.4 Manejo agronómico del ensayo	6
3.5 Variables evaluadas	7
3.6 Análisis estadísticos de los datos	9
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	11
V. CONCLUSIONES	32
VI. RECOMENDACIONES	33
VII. LITERATURA CITADA	34
VIII. ANEXOS	38

## **DEDICATORIA**

A Dios por sobre todas las cosas, por darme la vida, fortaleza y guiarme en todo momento, la voluntad y fuerza de seguir adelante siempre a lo largo de toda la trayectoria de mi maestría.

A mis padres Natividad Matey Iglesia, Sabino Calderón por el apoyo incondicional y por estar pendiente siempre de mí, ya que por su esfuerzo he podido alcanzar una meta más en mi preparación profesional como es la culminación de mi maestría.

A mis hermanos Armando, Humberto, Donald, Marlon y Orlando todos ellos Calderón Matey, que con su apoyo de una u otra forma me han ayudado en el transcurso de mi preparación Profesional.

A mi esposa Irma Aracely García Martínez y mis hijas Ashly Alexa y Dayra Narel Calderón García por estar siempre a mi lado y apoyándome en momentos buenos y difíciles durante el transcurso de mi vida y mi preparación profesional.

A mi hermana Xiomara Caldero M. y su esposo Juan C. Espinoza por su apoyo incondicional en mis estudios y mi preparación profesional.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, nuestro señor porque es quien con sus bendiciones brinda la inteligencia y sabiduría para alcanzar y realizar nuestras metas propuestas.

A mi asesor Oscar José Gómez Gutiérrez, PhD por todas su apoyo y orientaciones que me brindó y sobre todo por dedicar su valioso tiempo durante la realización de este trabajo y al profesor M.Sc. Aurelio Llano González por ser mi maestro por sus enseñanzas en los procesos de investigación y por su valioso apoyo durante el desarrollo y culminación de este trabajo.

Al Ing. Eddy Castellón por brindarme su apoyo en el desarrollo de analisis de resultados estadísticos de los ensayos de las diferentes localidades.

Al Proyecto HarvestPlus gerenciado por INTA que facilito la mayor parte económica para la realización de estos ensayos regionales. Al Proyecto BID gerenciado por INTA por el apoyo económico en algunos ensayos por permitir que realizáramos el estudio en los 11 ambientes.

Al equipo nacional de frijol, amigos y colegas que estuvieron acompañándome y brindando su apoyo incondicional durante el desarrollo de los ensayos en campo y colección de información de manera muy especial a Ing. Julio Molina, Ing. Julio Obando, Ing. Mauricio Guzmán, Ing. Fabricio Dolmus, Ing. Noel Duarte e Ing. Jairo Chávez.

A todos los compañeros de maestría que a lo largo de nuestra formación profesional contribuyeron en apoyo de una u otra manera por sus orientaciones, aportes y discusión para un buen desarrollo del trabajo de maestría.

Al Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria por brindarme la oportunidad de estudiar la maestría de mejoramiento genético y la Universidad Nacional Agraria (UNA), Facultad de Agronomía (FAGRO) por la integración, esfuerzos y transmitirnos los conocimientos y enseñanzas por parte de los docentes internos y externos para lograr alcanzar el desarrollo profesional.

## ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO	PÁGINA
1. Ubicación y características físicas de ocho localidades donde se establecieron los ensayos de campo en los ciclos de primera, postrera y apante en el período 2015-2016.	5
2. Genealogía y contenido de hierro y zinc de los genotipos de frijol de grano rojo utilizados en los ensayos multiambientales distribuidos en ocho localidades de Nicaragua, en el período de 2015 a 2016.	6
3. Escala de color de grano para la evaluación de variedades de frijol de color rojo.	9
4. Análisis de suelo en las distintas localidades de Nicaragua donde se establecieron los ensayos de campo en el período de 2015-2016.	16
5. Escala de color de grano y habito de crecimiento de los 16 genotipos biofortificados de frijol evaluados en 11 ambientes de Nicaragua 2015-2016.	17
6. Significancias estadísticas para las características agronómicas registradas en 16 genotipos biofortificados de frijol común evaluados en 11 ambientes de Nicaragua, 2015-2016.	18
7. Días a floración de 16 genotipos biofortificados de frijol en los ambientes donde se establecieron los ensayos durante el período 2015 a 2016.	19
8. Valores promedios de los 16 genotipos de frijol común para dos variables registradas en 11 ambientes en el ciclo agrícola 2015-2016.	20
9. Comparación de los valores promedios de tres variables registrados en 11 ambientes en el período de 2015-2016.	21
10. Peso de 100 semillas de 16 genotipos biofortificados de frijol en dependencia de los ambientes donde se establecieron los ensayos de campo durante los ciclos de primera, postrera y apante en el período de 2015-2016.	23
11. Análisis estadístico de los componentes principales que identifican la variación e interacción genotipo ambiente, 2015-2016.	24
12. Interacción de la variable rendimiento $\text{kg ha}^{-1}$ de los 16 genotipos biofortificados de frijol en 11 ambientes de Nicaragua, 2015-2016.	28

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA</b>		<b>PÁGINA</b>
1.	Precipitación acumulada (mm) y requerimientos hídricos durante el ciclo del cultivo en Masatepe primera, 2015.	11
2.	Precipitación acumulada (mm) y requerimientos hídricos durante el ciclo del cultivo en Masatepe postrera, 2015.	11
3.	Precipitación acumulada (mm) y requerimientos hídricos durante el ciclo del cultivo en Yalí primera, 2015.	12
4.	Precipitación acumulada (mm) y requerimientos hídricos durante el ciclo del cultivo en Yalí postrera, 2015.	12
5.	Precipitación acumulada (mm) y requerimientos hídricos durante el ciclo del cultivo en Matagalpa primera, 2015.	12
6.	Precipitación acumulada (mm) y requerimientos hídricos durante el ciclo del cultivo en Matagalpa postrera, 2015.	13
7.	Precipitación acumulada (mm) y requerimientos hídricos durante el ciclo del cultivo en San Lucas – Madriz primera, 2015.	13
8.	Precipitación acumulada (mm) y requerimientos hídricos durante el ciclo del cultivo en Jalapa postrera, 2015.	13
9.	Precipitación acumulada (mm) y requerimientos hídricos durante el ciclo del cultivo en El Crucero postrera, 2015.	14
10.	Precipitación acumulada (mm) y requerimientos hídricos durante el ciclo del cultivo en Telica – León postrera, 2015.	14
11.	Precipitación acumulada (mm) y requerimientos hídricos durante el ciclo del cultivo en Cárdenas - Rivas apante 2015 - 2016.	14
12.	Gráfico Biplot de los componentes principales 1 y 2 que refleja la contribución genotipos y ambientes a la interacción en el período 2015-2016.	25
13.	Potencial de rendimiento de grano y estabilidad de 16 genotipos de frijol biofortificados evaluados en 11 ambientes en el período 2015-2016	26
14.	Rendimiento y contenido de hierro en 16 genotipos biofortificados de frijol, evaluados en el periodo 2015-2016.	30

15. Rendimiento y contenido de zinc en 16 genotipos biofortificados de frijol, evaluados en el período 2015-2016.

31



## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>ANEXO</b>		<b>PÁGINA</b>
1.	Rendimiento de los 16 genotipos de frijol biofortificados evaluados en 11 ambientes de Nicaragua, 2015-2016	38
2.	Comportamiento en el rendimiento y contenido de hierro (Fe) en 16 genotipos de frijol biofortificados 2015-2016.	39
3.	Contenido de hierro en 16 genotipos biofortificados evaluados en 11 ambientes de Nicaragua 2015- 2016.	39
4.	Comportamiento en el rendimiento y contenido de zinc (Zn) en 16 genotipos de frijol biofortificado 2015-2016.	40
5.	Contenido de zinc en 16 genotipos biofortificados evaluados en 11 ambientes de Nicaragua, 2015-2016.	40
6.	Nicaragua con impactantes genotipos de frijol biofortificado, 2015-2016.	41
7.	Plano de campo utilizado para el establecimiento de los ensayos de frijol biofortificados en diferentes ambientes de Nicaragua 2015.	42

## Resumen

El frijol común es la leguminosa más importante del mundo que provee proteína y nutrientes esenciales para más de 500 millones de habitantes en América Latina y África. En Nicaragua la pobreza rural se caracteriza por la mortalidad infantil con un porcentaje del 68%, la baja estatura 20% y anemia 28% en niños menores de 5 años. Los genotipos generados por el Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria como variedades INTA Ferroso e INTA Nutritivo no tienen el contenido nutricional ni la calidad culinaria requerida por el proyecto de biofortificación, productores y consumidores. El objetivo fue evaluar nuevos genotipos biofortificado de frijol con buen rendimiento en diferentes regiones de Nicaragua. En 2015 se estableció un ensayo uniforme en 11 ambientes con 14 genotipos biofortificado y dos testigos. Aplicando un diseño de bloques completos al azar con 3 repeticiones en parcelas de 4 surcos de 5 m de longitud. Los datos de rendimiento se realizaron a través de un análisis combinado (GxA) y se determinaron los parámetros de estabilidad con el Modelo AMMI. Los resultados indican que existe diferencias significativas en rendimiento para genotipos ( $p < 0.001$ ), para ambientes ( $p < 0.001$ ) y para interacción GxA ( $p < 0.001$ ). Los mejores genotipos SMR 88 y SMR 100 presentaron rendimientos de  $1274 \text{ kg ha}^{-1}$  y  $1231 \text{ kg ha}^{-1}$  superando en 12 y 16% a los testigos. Los demás genotipos obtuvieron rendimientos que oscilaron de  $1006$  a  $1129 \text{ kg ha}^{-1}$ . El ambiente de Yalí presento la mayor media de rendimiento con  $2400 \text{ kg ha}^{-1}$  y el menor Jalapa con  $340 \text{ kg ha}^{-1}$ . El análisis combinado indica que la mayor proporción de la varianza fue para ambiente con 74%, la interacción GxA en 14% y para variedad 1.4%. El mayor contenido de hierro se obtuvo con SMR 115 con  $88 \text{ mg kg}^{-1}$  y menor los testigos con  $64 \text{ mg kg}^{-1}$ . Los demás genotipos el contenido de hierro osciló de 70 a  $80 \text{ mg kg}^{-1}$ . El mayor contenido de zinc lo obtuvo SMR 106 con  $35 \text{ mg kg}^{-1}$  y menor los testigos con  $29 \text{ mg kg}^{-1}$ . Los demás el contenido zinc oscilo de 29 a  $34 \text{ mg kg}^{-1}$ .

**Palabras claves: multiambiental, biofortificado, genotipos, desnutrición, hierro y zinc**

## ABSTRACT

Common beans is the most important grain legume that provide protein and essential nutrients for more than 500 millions of people in Latin America and Africa. In Nicaragua the rural poverty is characterized by the mortality of young 68%, reduced growth 20% and anemia 28% for a population under 5 years of age. The genotypes generated by the Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (INTA) INTA Ferroso and INTA Nutritivo don't the nutritional content neither commercial acceptance by the growers. The objective is evaluate new genotypes with good yield potential and larger content of iron and zinc in different regions of Nicaragua. In 2015 a uniform national trial was establish in 11 eleven localities with 14 genotypes two local controls. The experimental trial was the complete random blocks designed with 3 replications in trials with 4 rows with 5 m long. The results of yields were analyzed through the combined analysis (genotypes and environment) and the stability parameters were established with the Model (AMMI). The results indicate that there are significant differences in yields for genotypes ( $p < 0.001$ ), for environments ( $p < 0.001$ ) and for the interaction GA ( $p < 0.001$ ). The genotypes that had high yields were SMR 88 and SMR 100 with 1274 and 1231 kg ha<sup>-1</sup> that was higher in 12 to 16% to the control. Other genotypes had similar yields between 1006 to 1126 kg ha<sup>-1</sup>. The location of Yalí had the highest yields with 2400 kg ha<sup>-1</sup> and Jalapa had the lowest yields with 340 kg ha<sup>-1</sup>. The results of the combined analysis indicate that the larger proportion of the variance was 74% for the environment (A) 14% for the interaction GA and 1.4% for the genotypes (G). The highest content of iron was with SMR 115 with 88 mg kg<sup>-1</sup> and the lowest for the control with 64 mg kg<sup>-1</sup>. The values of other genotypes were between 70 to 80 mg kg<sup>-1</sup> with zinc SMR 106 had the highest content with 35 mg kg<sup>-1</sup> and the lowest with the control with 29 mg kg<sup>-1</sup>. Other genotypes had a value between 29 to 34 mg kg<sup>-1</sup>.

**Kew words: multi-environmental, biofortification, genotypes, desnutrition, iron and zinc**

## I. INTRODUCCIÓN

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es la leguminosa más importante para consumo directo en el mundo y es una fuente de proteína, vitaminas, minerales, fibra especialmente para más de 500 millones de personas que cultivan más de 4 millones de hectáreas en América Latina y África (Bitochi *et al.*, 2012). En el trópico la producción es reducida por la baja fertilidad de los suelos y sequía, la falta de recursos para la compra de insumos y la pobre capacidad de generar variedades para los problemas de los agricultores más pobres (Beebe *et al.*, 2014).

El frijol se originó hace 100,000 de años de forma silvestre y domesticado hace 8,000 años en dos centros de origen mesoamericano y andinos dispersándose al resto del mundo. Entre los mesoamericanos se han identificado 4 razas y 3 en el andino para la generación de variedades con características genéticas adaptadas a las condiciones climáticas. El mejoramiento genético permite recuperar genes de la diversidad genética para realizar cruzamientos entre razas y entre especies para obtener variedades que aporten a resolver los problemas de producción y contenido nutricional en un ambiente cambiante del clima que permita la sobrevivencia del cultivo y la demanda de alimentos a la creciente población mundial (Schmutz *et al.*, 2014).

En Nicaragua el frijol común es importante porque contribuye en un 15 a 30% de proteína, carbohidratos benéficos, fibras, minerales y bajo en grasa y colesterol. Se estima un consumo per cápita de 26 kilogramos. En el país se cultiva un área superior a 340,000 hectáreas con una producción de 5 millones de quintales, que genera más de 200,000 empleos directos e indirectos y fuente de ingreso de las familias productoras y comerciantes (INIDE, 2008).

En 1990 la ONU reportó que 216 millones de personas a nivel mundial sufrían de hambre por falta de alimentos. La población mundial prevalece de inseguridad alimentaria y deficiencia nutricional que afecta cerca de 795 millones de personas (ONU, 2015). Se sufre por hambre por mala distribución de los alimentos, sin embargo se cultiva soja y maíz para alimentación de animal y convertirlo en carne muy cara con acceso limitado por la población más vulnerable.

En Nicaragua la desnutrición está ligada a la carencia de alimentos básicos de buena calidad nutricional como maíz, frijol, arroz, yuca y camote que adolecen de las vitaminas y minerales

esenciales para cubrir las necesidades energéticas, especialmente de hierro y zinc. Esto afecta al 21.7% de la población más vulnerable entre mujeres y niños. La deficiente alimentación disminuye negativamente el desarrollo físico y mental, capacidad de aprendizaje y reduce el rendimiento laboral en el adulto e incremento de anemia y mortalidad materna, perinatal y bajo peso al nacer (INIDE, 2008). Desde 2004-2016 el gobierno de Nicaragua está ejecutando proyectos de biofortificación HarvestPlus –CIAT y Programa Mundial de Alimentos en cultivos de granos básicos, raíces y tubérculos a través del INTA que vendrán a contribuir a la seguridad alimentaria y nutricional de las familias del país.

El problema de la desnutrición en la población, ha sido abordado en diferentes sesiones mundiales y como resultado se hace necesaria la aplicación de las distintas estrategias. La suplementación y fortificación han sido significativos pero de acceso limitado por la población más pobre por su alto costo y requiere de infraestructura industrial y de mercados para su distribución y su disponibilidad está fuera del alcance de la población en países en desarrollo. La biofortificación de cultivos en términos económicos es viable y de fácil acceso para la población más vulnerables porque contribuye a reducir las deficiencias nutricionales principalmente de hierro y zinc y poder prevenir la anemia entre otras enfermedades (Graham *et al.*, 2000).

Los cultivos alimenticios con mayor contenido de minerales es buena alternativa para mejorar la salud en la población. Los cultivos de consumo diario como; frijol (*Phaseolus vulgaris L.*), arroz (*Oriza sativa L.*), maíz (*Zea may L.*), yuca y camote forman parte de la dieta diaria de la población en el mundo y la estrategia más eficiente para mejorar la nutrición es la biofortificación de los cultivos. Se han generados variedades en granos básicos con mayor contenido de hierro, zinc, vitamina A ( $\beta$ -caroteno), lisina y triptófano en comparación con las convencionales (Nestel *et at.*, 2006). El desarrollo de variedades es a través de métodos convencionales de Fitomejoramiento y biotecnología moderna. Los genotipos generados tienen mejores características productivas, organolépticas y tolerancia a factores bióticos, abióticos y alto valor comercial (Pachón, 2011).

En el cultivo de frijol estas características se han logrado como resultado de la acumulación de genes favorables obtenidos mediante cruces entre poblaciones de frijol mesoamericano y andino que aporta el mayor contenido de minerales y con la intervención de cruzamientos interespecíficos con *Phaseolus coccineus* y *Phaseolus dumosus* (Beebe *et al.*, 2000). La variabilidad de minerales presente en el frijol, es producto de la evaluación de 1400 accesiones provenientes del Banco de Germoplasma del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), donde encontraron que el contenido promedio de hierro fue de 55 mg kg<sup>-1</sup> oscilando entre 30 y 110 y zinc de 35 mg kg<sup>-1</sup> fluctuando entre 20 a 60. En general una variedad es biofortificada cuando los mínimos de hierro es 80 mg kg<sup>-1</sup> y zinc 33 mg kg<sup>-1</sup> (Beebe *et al.*, 2016).

En Nicaragua, el Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (INTA) incorporó al programa de mejoramiento de frijol, la evaluación de genotipos con mayor contenido nutricional que contribuyan disminuir deficiencias nutricionales en las personas más vulnerables. Bajo esta estrategia se generó dos variedades INTA Nutritivo e INTA Ferroso con contenidos de hierro y zinc que oscilan entre 68 y 29 mg kg<sup>-1</sup>. Estas superaron entre un 37 y 42% en hierro y un 32% en zinc en comparación con las variedades comerciales y al testigo INTA Rojo con contenidos de hierro y zinc de 48 y 22 mg kg<sup>-1</sup> (Llano, 2013).

Las variedades INTA Rojo y criollos a nivel comercial tienen bajos contenidos de hierro, zinc, poca aceptación culinaria y poco valor comercial. Por esta razón el programa de biofortificación e INTA nos planteamos la investigación de evaluar 16 genotipos biofortificados de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) en 11 ambientes de Nicaragua con el propósito de generar nuevas variedades de frijol con buen potencial productivo y altos contenidos de hierro y zinc.

## **II. OBJETIVOS**

### **2.1 General**

- Identificar genotipos biofortificados de frijol en base a rendimiento evaluados en 11 ambientes que contribuyan a la nutrición de las familias de agricultores y consumidores de Nicaragua.

### **2.2 Específicos**

- Comparar en base a rendimiento los 16 genotipos biofortificados de frijol común en 11 ambientes de Nicaragua.
- Determinar la interacción, estabilidad y adaptabilidad en base al rendimiento de los 16 genotipos biofortificado en 11 ambientes de Nicaragua.
- Seleccionar al menos dos genotipos biofortificados que combinen alto rendimiento y mayor contenido de hierro y zinc en el grano.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Ubicación del estudio

Se establecieron ensayos de campo en ocho localidades, durante tres ciclos agrícolas en el período 2015 - 2016 (Cuadro 1). La combinación de localidad por ciclo agrícola resultó en 11 ambientes de evaluación.

**Cuadro 1.** Ubicación y características físicas de ocho localidades donde se establecieron los ensayos de campo en los ciclos de primera, postrera y apante en el período 2015-2016.

Localidad	Características físicas					Tipo de suelo
	Latitud norte	Longitud oeste	Altitud (msnm)	Temperatura (°C)	Precipitación (mm)	
Yalí	14°73'57"	59°31'28"	844	22	2,300	Franco-arenoso
Matagalpa	14°23'46"	61°51'10"	909	23	1950	Franco
Másatepe	13°12'40"	59°22'67"	495	26	1,300	Franco-arenoso
Madriz	86°60'26"	13°42'39"	790	26	1,200	Franco
Jalapa	12°32'28"	59°05'42"	653	24	1,900	Franco-arenoso
Telica	86°74'99"	12°54'99"	121	28	1827	Franco-arenoso
El Crucero	86°33'42"	12°00'45"	745	25	1,544	Franco-arenoso
Cárdenas	85°49'07"	11°17'57"	70	26	1,800	Franco

1: Ciclo de primera; 2: Ciclo de postrera; 3: Ciclo de apante; T°: Temperatura promedio; msnm: metros sobre el nivel del mar

#### 3.2. Diseño metodológico

Los ensayos de campo se establecieron en 11 ambientes ubicados en 8 localidades diferentes bajo un diseño de campo de bloques completos al azar con tres repeticiones. La unidad experimental estuvo conformada por 4 surcos a una distancia de 0.6 m y con una longitud de 5 m para un área de 12 m<sup>2</sup>. La parcela útil estuvo conformada por los dos surcos centrales para un área de 6 m<sup>2</sup>. El área total cada ensayo fue de 729.6 m<sup>2</sup>.



### 3.3. Material vegetal

El material genético, 14 de los genotipos provenían del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) y que fueron seleccionados en el país durante varios ciclos agrícolas por presentar características agronómicas, alto rendimiento, tolerancia a sequía, mayor contenido de hierro, zinc y color de grano. Adicional a los 14 genotipos se incluyeron dos testigos una variedad criollo (Cincuentaño) y una variedad mejorada (INTA Ferroso). En el Cuadro 2 se presenta la información sobre la genealogía y contenido nutricional por cada uno de los genotipos estudiados.

**Cuadro 2.** Genealogía y contenido de hierro y zinc de los genotipos de frijol de grano rojo utilizados en los ensayos multiambientales distribuidos en ocho localidades de Nicaragua, en el período de 2015-2016.

Genotipos	Código	Progenitores de los genotipos de frijol común Pedigrí	Contenido en el grano mg kg <sup>-1</sup>	
			Fe	Zn
SMR 85	SFCM 17011-005	(SCR 2xSMR 42)F1 X (MIB 755xSMC 16)F1/-MC-3P-MQ-5C-MC	94	34
SMR 88	SFCM 17011-014	(SCR 2xSMR 42)F1 X (MIB 755xSMC 16)F1/-MC-12C-MQ-2C-MC	101	32
SMR 91	SFCA 17019-018	(SCR 3xSMB 17)F1 X (MIB 755xSMR 44)F1/-MC-4P-MQ-5C-MC	99	39
SMR 92	SFCA 17019-018	(SCR 3xSMB 17)F1 X (MIB 755xSMR 44)F1/-MC-4P-MQ-6C-MC	91	41
SMR 96	RSFD 17019-017		97	36
SMR 100	RSFD 17219-042	(SMC 13xMIB 397)F1 X (SCR 16xSMC 40)F1/-MC-10C-MQ-3C-MC-MC	89	35
SMR 104	RSFD 17219-042	(SMC 13xMIB 397)F1 X (SCR 16xSMC 40)F1/-MC-14C-MQ-3C-MC-MC	91	37
SMR 105	RSFD 17219-042	(SMC 13xMIB 397)F1 X (SCR 16xSMC 40)F1/-MC-14C-MQ-5C-MC-MC	93	31
SMR 106	RSFD 17219-042	(SMC 13xMIB 397)F1 X (SCR 16xSMC 40)F1/-MC-14C-MQ-8C-MC-MC	102	30
SMR 108	RSFD 17219-042	(SMC 13xMIB 397)F1 X (SCR 16xSMC 40)F1/-MC-14C-MQ-11C-MC-MC	100	38
SMR 115	RSFD 17228-030	(SMC 17xSMR 46)F1 X (SMC 33xSCR 16)F1/-MC-7C-MQ-11C-MC-MC	101	36
SMR 124	RSFD 17286-034	(SMC 33xSCR 16)F1 X SMR 57/-MC-1C-MQ-3C-MC-MC	91	30
SMR 128	RSFD 17288-001	(SMC 17xSCR 16)F1 X SMR 57/-MC-7C-MQ-6C-MC-MC	93	33
SMR 130	RSFD 17288-001	(SMC 17xSCR 16)F1 X SMR 57/-MC-7C-MQ-12C-MC-MC	89	35
I. Ferroso			76	29
Cincuentaño			58	32

El contenido de hierro y zinc de los genotipos fueron obtenidos en la evaluación preliminar del vivero realizada en el ciclo 2014.

### 3.4. Manejo agronómico del ensayo

Los ensayos se establecieron en distintas épocas de siembra, ciclo primera en la última semana de mayo, postrera en septiembre y apante después de la tercera semana de diciembre.

El terreno en los distintos ambientes, la limpieza se realizó de forma manual seguido del rayado de los surcos se llevó a cabo con tracción animal realizándose la siembra de forma manual. Al momento del establecimiento de los ensayos se aplicaron 130 kg ha<sup>-1</sup> de la fórmula 18-46-00. Posteriormente a los 12, 20, 30 y 45 días después de germinado el cultivo se aplicaron en cada momento 700 g ha<sup>-1</sup> del fertilizante foliar 20-20-20. El control de malezas, se realizó de forma química y manual aplicando como pre emergente glifosato-fosfonico 35.6

SL a razón de 2 litros ha<sup>-1</sup> y post emergente fluazifop butil 25 SL a razón de 600 ml ha<sup>-1</sup> combinado con fomesafen 25 SL a razón de 600 ml ha<sup>-1</sup> respectivamente, a los 12, 20 y 26 días después de la emergencia del cultivo. Las plagas y enfermedades en el momento del recuento no mostraron porcentajes más del 3% de afectación al cultivo en desarrollo vegetativo, reproductivo y rendimiento de los genotipos, pero se realizaron aplicaciones de forma preventiva utilizando fungicida Amistar-azoxystrobin 25 SC a razón de 150 g ha<sup>-1</sup> e insecticida Engeo-Neonicotinoide 24.7 SC con 150 ml ha<sup>-1</sup> para evitar cualquier afectación al cultivo. La cosecha vario de acuerdo al ciclo del cada variedad y cuando lograron alcanzar su total madurez fisiológica desde los 60 a 72 días después de germinado.

### **3.5. Variables evaluadas**

#### **A nivel de localidad y finca**

**Registro de precipitaciones por ambiente.** En cada ambiente donde se establecieron los ensayos se instaló un pluviómetro y se registraron datos diariamente durante el ciclo del cultivo.

En este trabajo no se consideró temperatura porque la evaluación se enfocó en la identificación de nuevas variedades con altos rendimientos y contenido de hierro y zinc para las zonas más vulnerables donde se acentúa la desnutrición en las familias del país.

**Análisis en el suelo.** En cada localidad de la parcela experimental se tomaron muestras de suelo de cinco sitios distintos a una profundidad de 12 cm y se remitieron al Laboratorio Químico de Suelo LAQUISA de León-Nicaragua, para determinar en cada una de ellas los contenidos de macro y micro elementos. Los resultados de los analisis de suelo de los distintos ambientes se mencionan en resultados obtenidos del trabajo.

#### **A nivel de parcela y planta**

**Días a floración.** Para su evaluación se registró el número de días a floración por genotipo cuando el 50% de la población de plantas en la parcela útil presentó al menos una flor abierta.

**Días a madurez fisiológica.** Es el tiempo transcurrido desde la germinación hasta el momento cuándo las vainas y las hojas de las plantas cambian de color. Esta característica se registró contando el número de días transcurridos desde la germinación hasta cuando el 50% de las vainas cambiaron de color en un 50% de la población de las plantas de la parcela útil.

**Número de vainas por planta.** Para registrar la información se evaluaron 20 plantas al azar de la parcela por repetición. Se contó el número de vainas por planta y posteriormente se calculó el valor promedio.

**Número de granos por vaina.** La información se generó en una muestra de 20 plantas seleccionadas al azar, se evaluó de la parte media de cada una de ellas 5 vainas. Seguidamente se contó el número de semillas por cada vaina y después se calculó el valor promedio.

**Peso de 100 granos (g).** Por cada genotipo y repetición se tomaron cinco muestras de 100 granos cada una. A cada muestra se determinó su peso inicial empleando una balanza digital (Ohaus-Scout Pro) de precisión. Posteriormente se ajustó dicho peso a un 14% de humedad el grano y se calculó el valor promedio, empleando la igualdad siguiente fórmula:

$$P_F (100-H_F) = P_I (100-H_I) \text{ obteniendo que } P_F = \frac{H_I - H_F}{P_I} \times 100$$

En donde:

**P<sub>I</sub>**: peso inicial de la muestra de granos, **P<sub>F</sub>**: peso final de la muestra de granos, **H<sub>I</sub>**: Contenido de humedad inicial de la muestra de granos, **H<sub>F</sub>**: Contenido de humedad final de la muestra (14%), **100**: constante.

**Hábito de crecimiento.** Se determinó a nivel de parcela útil en la fase reproductiva R5 (floración) empleando la escala CIAT propuesta por Muñoz et al, (1993) quienes clasifican las plantas en los grupos siguientes: 2a arbustivo indeterminado con guía corta, 2b arbustivo indeterminado guía corta o larga y 3b postrado indeterminado con guía trepadora.

**Color de grano.** Esta variable se registró después de la cosecha. Para esto se utilizó la escala desarrollada para colores de grano rojo propuesta por Rosas et al., (2009) y que se describe a continuación:

**Cuadro 3.** Escala de color de grano para la evaluación de genotipos de frijol de color rojo

Escala	Características de color de grano	Variedad de referencia
1 - 2	Rojo claro brillante	Rojo seda
3 - 4	Rojo brillante	INTA Rojo Jinotega
5 - 6	Rojo oscuro brillante	INTA Rojo, I. Fuerte Sequía
7 - 9	Rojo oscuro retinto	DOR-364

**Rendimiento de grano.** El rendimiento de grano se registró en kg ha<sup>-1</sup> a nivel de parcela útil por repetición. El peso del grano se determinó utilizando una balanza digital de precisión (Ohaus-Scout Pro) a humedad de campo, posteriormente se ajustó al 14% de contenido de humedad empleando la igualdad siguiente fórmula:

$$P_F (100-H_F) = P_I (100-H_I); P_F = \frac{H_I - H_F}{P_I} \times 100$$

**Contenido de hierro y zinc en el grano.** Para determinar el contenido hierro y zinc se colectaron dos vainas de la parte media de cinco plantas por repetición y por genotipo. Se evitó que las vainas entraran en contacto con el suelo posteriormente se desgranaron de forma manual. Por cada genotipo se seleccionaron 30 granos que se maceraron manualmente. Las muestras de semillas debidamente guardadas en bolsas de plástico fueron enviadas al Laboratorio de Control y Calidad del CIAT-Colombia. Los contenidos de hierro y zinc se determinaron empleando la metodología de espectrofotometría de absorción atómica y fluorescencia de rayos X expresado en mg kg<sup>-1</sup>.

### 3.6. Análisis estadísticos de los datos

Se realizó el análisis de varianza (ANDEVA) con los datos de campo obtenidos de las diferentes variables siguiendo el modelo aditivo lineal siguiente:

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

En donde: i= Tratamientos, j= Bloques, Y<sub>ij</sub> = Es la j-ésima observación del i-ésimo tratamiento,  $\mu$  = Es la media poblacional, T<sub>i</sub> = Es el efecto del i-ésimo tratamiento,  $\beta_j$  = Es el efecto del j-ésimo bloque,  $\varepsilon_{ij}$  = Es el efecto aleatorio de variación.

El ANDEVA detecta las diferencias significativas y la prueba de media en las magnitudes de la interacción de los genotipos en los ambientes donde se establecieron los ensayos. Para la interpretación de dicha interacción se analizó este componente mediante el modelo de Efectos Principales Aditivos y la Interacción Multiplicativa (AMMI por sus siglas en inglés) (Crossa 1990) que se describe a continuación:

$$Y_{ijk} = \mu + G_i + E_j + \beta(E)_{k(j)} + GE_{(ij)} + \varepsilon_{ijk}$$

En donde:  $Y_{ijk}$  es la respuesta (rendimiento) del genotipo  $i$ , en el ambiente  $j$ ;  $\mu$  es la media general;  $G_i$  es el efecto (que puede ser considerado como aleatorio o fijo) del genotipo  $i$  con  $i=1,\dots,g$ ;  $E_j$  es el efecto fijo del ambiente  $j$  con  $j=1,\dots,t$ ;  $\beta(E)_{k(j)}$  es el efecto de bloque  $k$  dentro del ambiente  $j$ ;  $GE_{(ij)}$  es el efecto aleatorio de la interacción del genotipo  $i$  con el ambiente  $j$ ; y  $\varepsilon_{ijk}$  es el término de error aleatorio asociado a la observación  $Y_{ijk}$ .

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Precipitaciones por ambiente

El crecimiento del cultivo durante su ciclo su requerimiento hídrico debe ser uniforme y con regular distribución en los distintos ambiente. En los ensayos la precipitación fue baja y alta registrando su distribución de forma irregular durante las etapas fenológicas del cultivo. En la Figuras siguientes se muestran las precipitaciones registradas en los distintos ambientes de Nicaragua y su requerimiento hídrico durante el ciclo del cultivo.

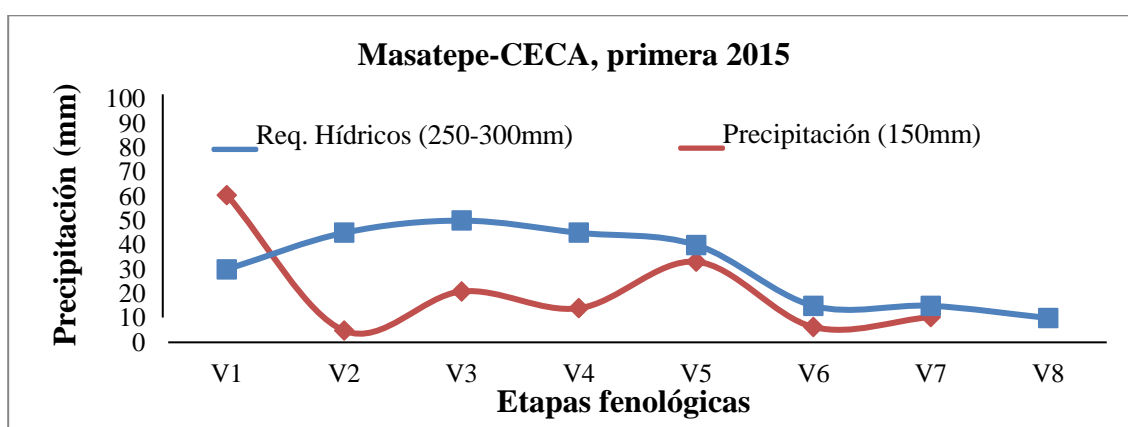


Figura 1. Precipitación acumulada (mm) y requerimientos hídricos durante el ciclo del cultivo en Masatepe primera, 2015.

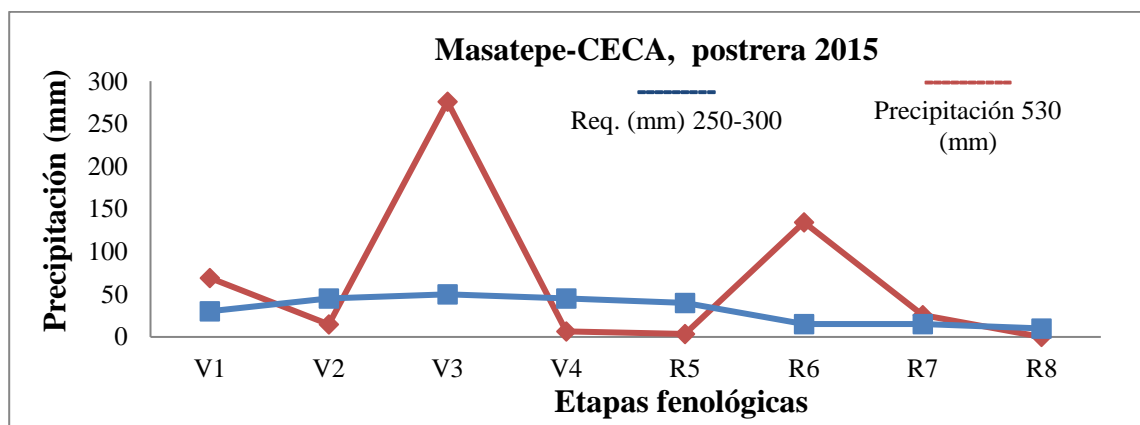
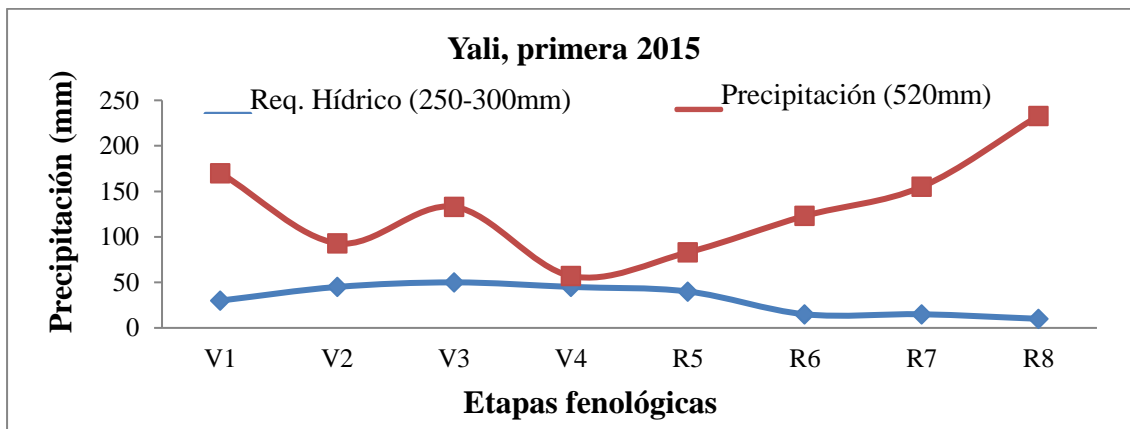
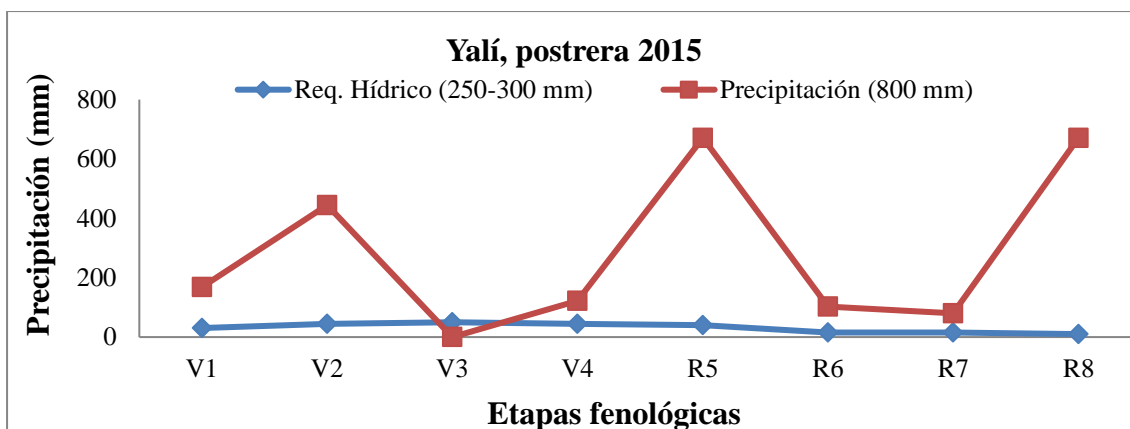


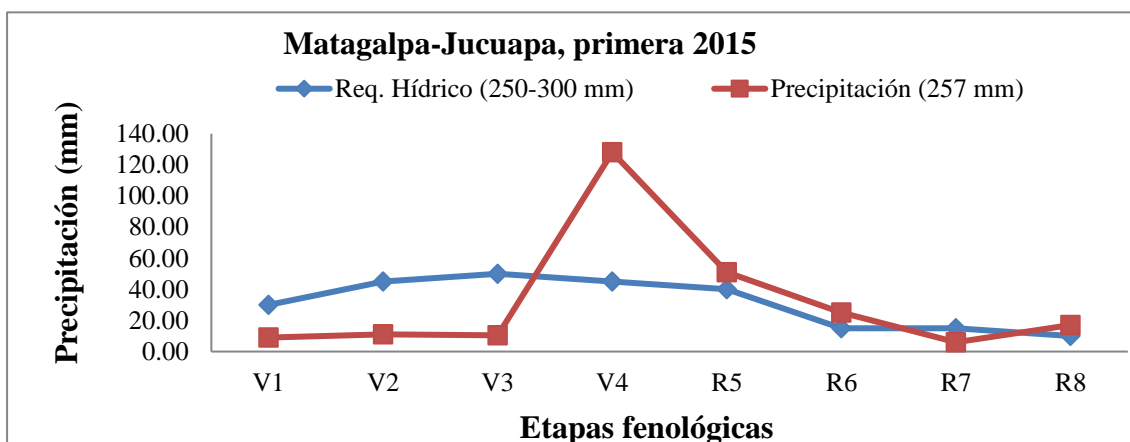
Figura 2. Precipitación acumulada (mm) y requerimientos hídricos durante el ciclo del cultivo en Masatepe postrera, 2015.



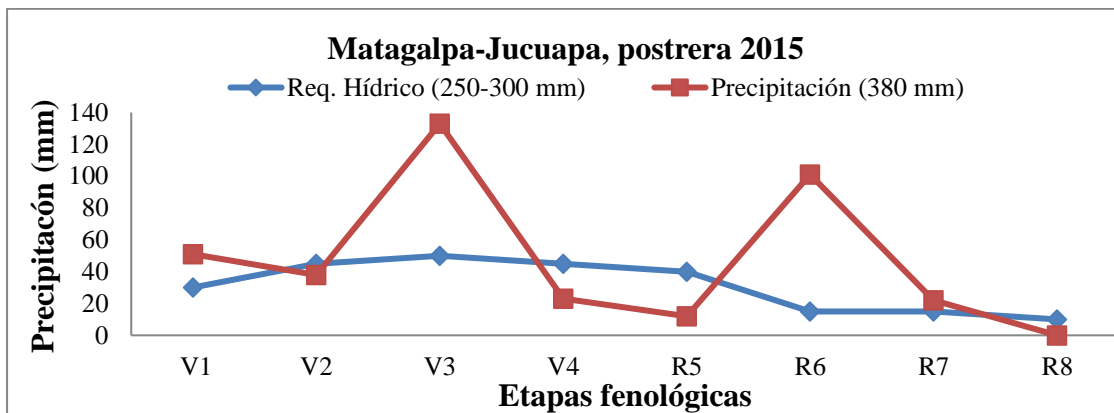
**Figura 3.** Precipitación acumulada (mm) y requerimientos hídricos durante el ciclo del cultivo en Yali primera, 2015.



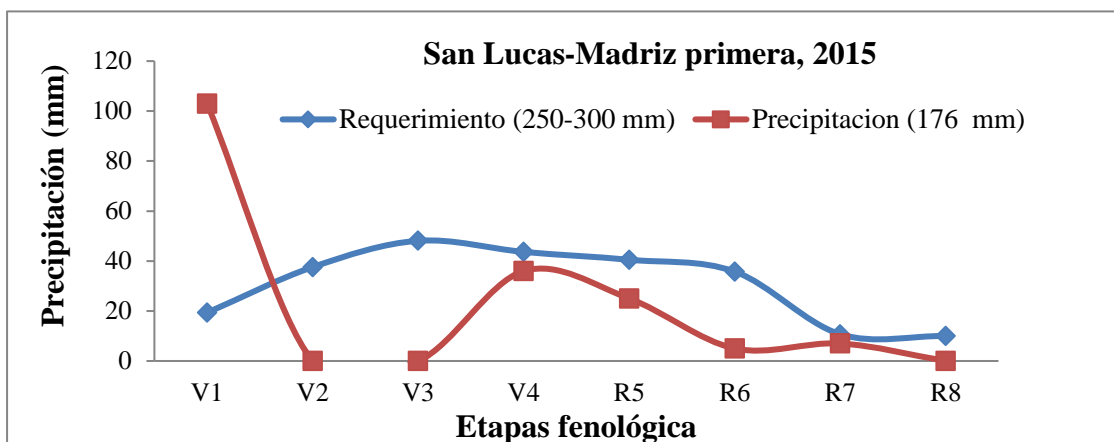
**Figura 4.** Precipitación acumulada (mm) y requerimientos hídricos durante el ciclo del cultivo en Yalí postrera, 2015.



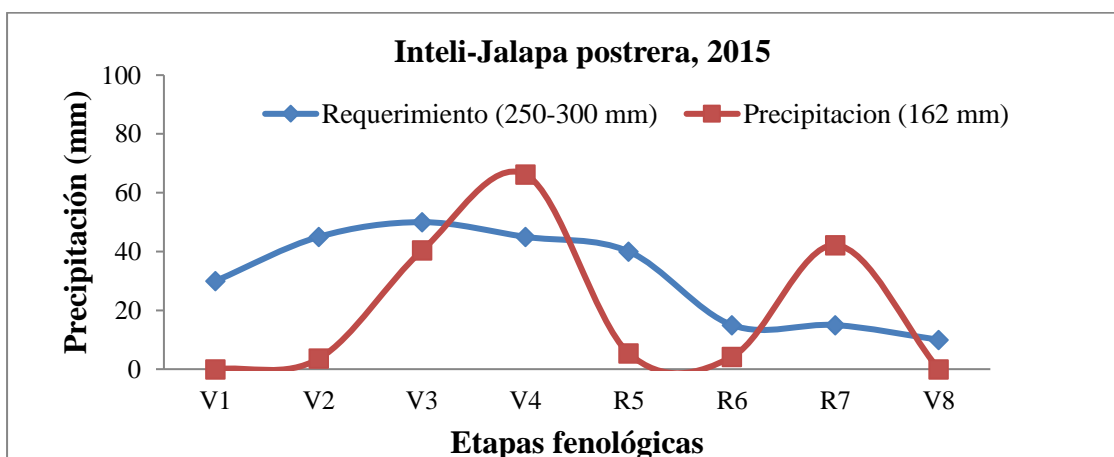
**Figura 5.** Precipitación acumulada (mm) y requerimientos hídricos durante el ciclo del cultivo en Matagalpa primera, 2015.



**Figura 6.** Precipitación acumulada (mm) y requerimientos hídricos durante el ciclo del cultivo en Matagalpa postrera, 2015.

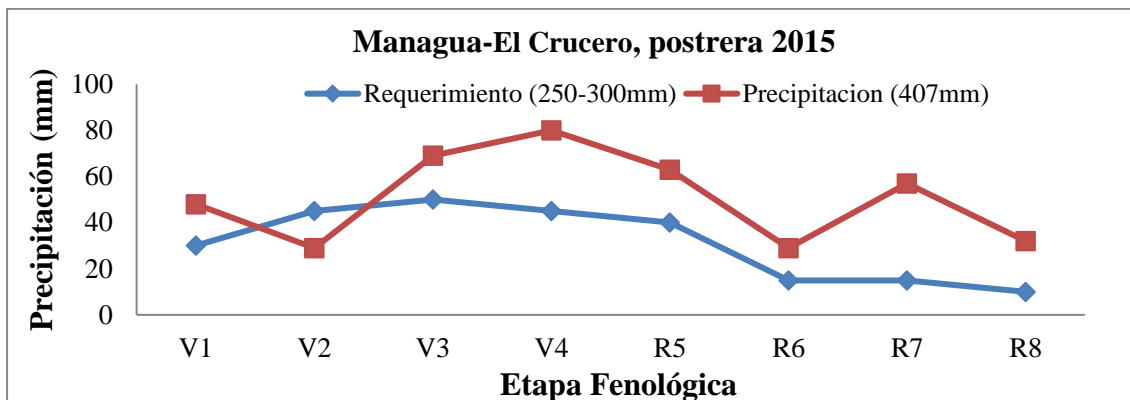


**Figura 7.** Precipitación acumulada (mm) y requerimientos hídricos durante el ciclo del cultivo en San Lucas – Madriz primera, 2015.

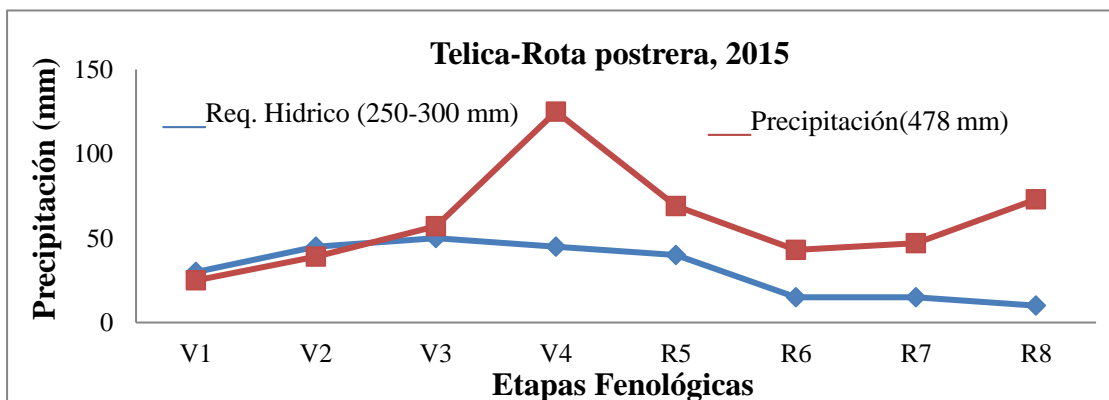


**Figura 8.** Precipitación acumulada (mm) y requerimientos hídricos durante el ciclo del cultivo en Jalapa postrera, 2015.

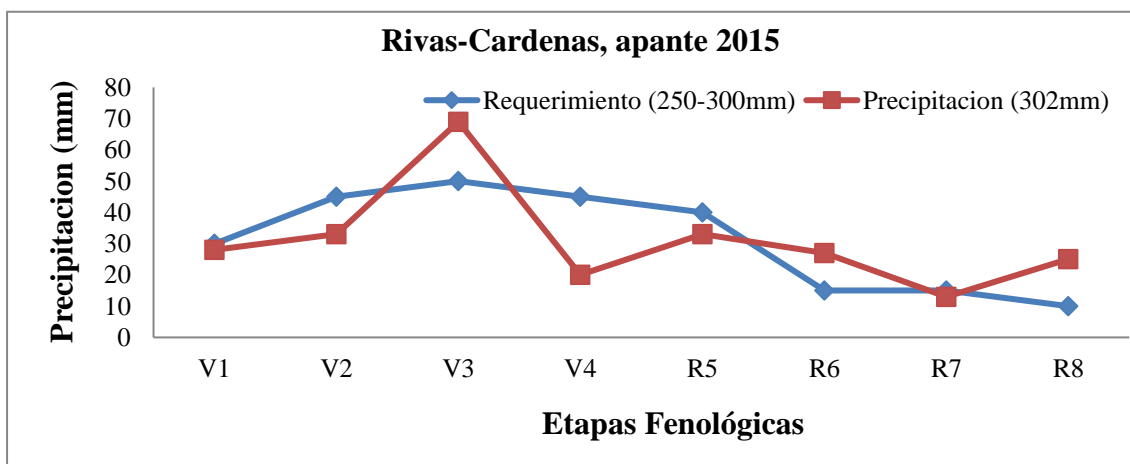




**Figura 9.** Precipitación acumulada (mm) y requerimientos hídricos durante el ciclo del cultivo en El Crucero postrera, 2015.



**Figura 10.** Precipitación acumulada (mm) y requerimientos hídricos durante el ciclo del cultivo en Telica – León postrera, 2015.



**Figura 11.** Precipitación acumulada (mm) y requerimientos hídricos durante el ciclo del cultivo en Cárdenas - Rivas apante 2015 - 2016.

Los ambientes de Mas1, Mad1 en el ciclo de primera las precipitaciones fueron inferior a 200 mm con una distribución regular y Jalapa (Jal2) en el ciclo postrera la distribución fue irregular durante las etapas fenológicas. Los de más ambientes mostraron precipitación superior a los 250 mm, excepto Yalí (Yal2) postrera que registro 800 mm de precipitación durante el ciclo del cultivo.

#### **4.2. Análisis de suelo en los ambientes evaluados, 2015**

Los resultados de los análisis de suelo en las localidades donde se desarrollaron los ensayos de evaluación se reflejan en el Cuadro 4. En términos generales, los suelos demostraron un pH de neutro (6.8-7.2) a medianamente ácido (5.2-5.6) y altos contenidos de nitrógeno ( $> 0.15\%$ ), fósforo ( $> 20$ ) y potasio ( $> 0.3$ ) con algunas variantes entre localidades principalmente para los dos primeros macronutrientes. Estos elementos son importantes en el desarrollo de las plantas.

El nitrógeno ayuda al crecimiento de la planta, sintetiza una mejor clorofila y producción de grano. El fósforo contribuye a que la planta desarrolle mejor sistema radicular para la captación de nutrientes y el potasio estimula el sistema radicular y población de microorganismos que contribuye a la movilidad y captación de minerales disponible en el suelo y la asimilación por la planta (Tofiño *et al.*, 2016).

Los contenidos de hierro fueron altos ( $> 21$  ppm) en todas las localidades con excepción de Madriz (Mad1) que indico (16.5 ppm) y para el zinc los contenidos fueron de medio a bajos ( $< 4.2$  ppm), con excepción de Jalapa (Jal2) en donde se registró un bajo contenido de este elemento (5.6 ppm). La materia orgánica (MO) fue muy alta (8.9%) en Masatepe (Mas1 y Mas2) en comparación a las demás localidades el contenido oscilo de media a alta (2-4.8%). La materia orgánica contribuye en un mejor comportamiento agronómico, nutricional y favorece la movilidad de nutrientes y minerales a la planta (Tofiño *et al.*, 2016)

**Cuadro 4.** Análisis de suelo en las distintas localidades de Nicaragua donde se establecieron los ensayos de campo en el período de 2015 a 2016.

Elementos	U/M	Masatepe	Yalí	Matagalpa	Madriz	Telica	Jalapa	Cárdenas
pH	Und	5.6	5.9	6.3	6.9	6.7	6.2	6.0
MO Total	%	8.9	3.2	4.1	2.3	4.8	3.0	3.1
N	%	0.4	0.2	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2
P	ppm	7.9	28	23.5	42.2	12.6	53.5	21.4
K	mg <sup>-100g</sup>	0.9	1.1	1.3	1.7	1.6	0.5	1.1
Fe	ppm	81	73	63.5	16.5	62.8	120	58.6
Zn	ppm	0.7	3.9	2.6	1.4	1.4	5.6	3.3

### 4.3. Variables cualitativas

#### Hábito de crecimiento

Los genotipos introducidos del CIAT indicaron un hábito de crecimiento arbustivo indeterminado con guía más o menos larga (2b) diferenciándose ambos testigos. INTA Ferroso y Cincuentaño con un hábito de crecimiento 2a (arbustivo indeterminado con guía corta) y 3a (postrado indeterminado con guía corta no trepadora) respectivamente. Los genotipos introducidos reflejaron buena arquitectura con tipo de planta erecta donde las vainas y hojas no entran en contacto con el suelo, en comparación al criollo cincuentaño que tiene mala arquitectura con un tipo de planta postrado (Cuadro 5). Las plantas erectas producen 40% más que las plantas acamadas según Masaya *et al.* 1991.

#### Color de grano

En frijol el color del grano es de mucha importancia desde el punto de vista del consumidor y comerciante.

Los genotipos SMR 115, INTA Ferroso, SMR 105 y SMR 100 mostraron un color de grano de rojo a rojo claro brillante (valores 3 y 4 en la escala utilizada) es el color preferido en el mercado nacional. El color de grano del resto de genotipos, incluyendo uno de los testigos, fue rojo oscuro brillante (valores de 5 y 6). Los genotipos con color de grano rojo oscuro tiene también buena aceptación en el mercado nacional y además, poseen la ventaja de que dicho color no cambia (no se lava) en ambientes de altas precipitaciones (Figura 3 y 4, Cuadro 5).

**Cuadro 5.** Escala de color de grano y hábito de crecimiento de los 16 genotipos biofortificados de frijol evaluados en 11 ambientes de Nicaragua 2015-2016.

<b>Genotipos</b>	<b>Hábito de crecimiento</b>	<b>Color de grano</b>
INTA Ferroso	2a	3
SMR115	2b	3
SMR105	2b	4
SMR91	2b	4
SMR92	2b	4
SMR100	2b	4
SMR130	2b	4
SMR88	2b	5
SMR124	2b	5
SMR108	2b	5
SMR106	2b	5
SMR104	2b	5
SMR96	2b	5
Cincuentaño	3a	5
SMR85	2b	6
SMR128	2b	6

El análisis estadísticos utilizado en este estudio fue para determinar el comportamiento de las variables agronómicas en la evaluación de nuevas variedades biofortificadas de frijol en 11 localidades del país.

Los resultados obtenidos en la evaluación de 16 genotipos sometidos en los diferentes ambientes afectaron de manera significativa los valores promedios de todas las variables estudiadas con excepción del número de vainas por planta no hubo diferencias significativas entre genotipos. Con relación al comportamiento agronómico de los genotipos a través de los ambientes, éste fue marcadamente inconsistente en días a floración, peso de 100 granos y rendimiento de grano.

Los valores del coeficiente de determinación ( $R^2$ ) oscilaron entre 0.69 y 0.93. Esto indica que el análisis de varianza explica, en buena medida, la variación observada en los datos para cada una de las variables en estudio (Cuadro 6).

**Cuadro 6.** Significancias estadísticas para las características agronómicas registradas en 16 genotipos biofortificados de frijol común evaluados en 11 ambientes de Nicaragua, 2015-2016.

Fuentes de variación	Días a Floración	Días a madurez fisiológica	Número de vainas por planta	Número de granos por vaina	Peso de 100 granos (g)	Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )
Repetición	p > 0.21	p > 0.72	p > 0.07	p > 0.38	p > 0.24	p > 0.17
Genotipo	p < 0.00	p < 0.00	p > 0.73	p < 0.00	p < 0.00	p < 0.00
Ambiente	p < 0.00	p < 0.00	p < 0.00	p < 0.00	p < 0.00	p < 0.00
Genotipo x Ambiente	p < 0.00	p > 0.99	p > 0.80	p > 0.08	p < 0.00	p < 0.01
R <sup>2</sup>	0.93	0.78	0.69	0.78	0.85	0.90
CV (%)	4.38	7.43	39.99	13.45	7.37	22.78

R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinación, CV (%): Coeficiente de Variación.

### Comportamiento de los genotipos a través de ambientes

Los valores promedios de días a floración, peso de 100 granos y rendimiento de grano dependieron marcadamente del ambiente donde fueron evaluados (Cuadro 6). En lo que se sigue se presentan los resultados de las dos primeras variables. Con relación al rendimiento de grano la interacción genotipo por ambiente se explicará más adelante por medio del análisis AMMI. En general (Cuadro 7) se observó poca variación entre genotipos dentro de cada ambiente de días a floración en los ciclos primera, postrera y apante. Todos los genotipos fueron más tardíos que el testigo Cincuentaño y SMR 115 y SMR 91 más precoces que la variedad testigo INTA Ferroso. En Telica (Tel2) en el ciclo de postrera todos los genotipos florecieron más tempranamente en consecuencia se registró el menor valor promedio por ambiente para días a floración (26 días). Ocasionado por poca adaptación de los genotipos al calor y gases del volcán Telica y Santiago que acelera los procesos de floración y prolonga el ciclo del cultivo reduciendo la formación de vainas.

La planta de frijol es clasificado de días cortos, pero la mayoría de los genotipos mejorados de frijol de grano pequeño son neutros para el fotoperiodo, es decir no responden de forma específica a la longitud del día (White 1988). Este proceso se presentó en los ambientes de Jalapa, Telica y El Crucero.

**Cuadro 7.** Días a floración de 16 genotipos biofortificados de frijol en los ambientes donde se establecieron los ensayos durante el período de 2015 a 2016.

<b>Genotipo</b>	<b>Yal1</b>	<b>Mat1</b>	<b>Mas1</b>	<b>Mad1</b>	<b>Yal2</b>	<b>Mat2</b>	<b>Mas2</b>	<b>Tel2</b>	<b>Cru2</b>	<b>Car3</b>
INTA ferroso	38 a	38 a	36 a	38 a	40 a	38 a	36 a	26 ab	35 a	34 ab
SMR105	37 ab	38 a	34 b	38 a	36 b	38 a	35 ab	25 b	34 a	35 a
SMR124	37 ab	38 a	35 ab	37 ab	39 ab	38 a	35 ab	25 b	34 a	35 a
SMR106	37 ab	37 ab	34 b	36 b	36 b	36 b	36 a	26 ab	34 a	33 b
SMR108	35 b	37 ab	33 bc	36 b	36 b	36 b	35 ab	28 a	34 a	33 b
SMR104	35 b	36 b	33 bc	35 bc	35 bc	37 ab	35 ab	25 b	34 a	35 a
SMR88	34 bc	34 bc	33 bc	32 c	33 c	35 bc	36 a	25 b	36 a	33 b
SMR85	33 c	34 bc	32 c	32 c	34 bc	35 bc	35 ab	26 ab	35 a	33 b
SMR130	33 cd	34 bc	32 c	32 c	34 bc	35 bc	35 ab	26 ab	35 a	32 bc
SMR128	33 cd	32 c	32 c	32 c	34 bc	34 c	35 ab	25 b	35 a	31 c
SMR100	33 cd	32 c	32 c	30 d	34 bc	35 bc	35 ab	26 ab	34 a	33 b
SMR92	33 cd	32 cd	32 cd	30 d	33 c	35 bc	35 ab	27 a	35 a	33 b
SMR96	33 cd	32 cd	33 bc	32 c	34 bc	35 bc	35 ab	27 a	34 a	33 b
SMR91	32 d	34 bc	32 cd	31cd	33 c	34 c	35 ab	27 a	36 a	34 ab
SMR115	31 de	32 cd	33 bc	30 d	32 c	35 bc	34 b	27 a	34 a	31 c
Cincuentaño	31 e	30 d	30 d	28 e	33 c	31 d	32 c	23 c	28 b	30 d
Media	34	35	33	33	35	35	35	26	34	33
R <sup>2</sup>	0.85	0.9	0.86	0.97	0.69	0.89	0.48	0.54	0.92	0.76
CV (%)	3.24	2.85	2.12	2.2	5.07	2.05	2.52	4.98	1.94	3.14

**R<sup>2</sup>:** Coeficiente de determinación, **CV (%)**: Coeficiente de Variación. Jalapa postrera (Jal2), Yalí postrera (Yal2), Telica postrera (Tel2), Masatepe postrera (Mas2), El Crucero postrera (Cru2), Matagalpa primera (Mat1), Cárdenas apante (Car3), Matagalpa postrera (Mat2), Madriz primera (Mad1), Yalí primera (Yal1), Masatepe primera (Mas1).

**Efecto principal de genotipos sobre la madurez fisiológica y el número de granos por vaina**

Los genotipos difirieron marcadamente entre sí en días a madurez fisiológica y en el número de granos por vaina. Todos los genotipos introducidos del CIAT resultaron entre los 10-16 días más tardíos en comparación con la variedad local Cincuentaño. SMR 115 resultó más precoz que el testigo INTA Ferroso pero más tardío que Cincuentaño. No hubo diferencias significativas entre los genotipos en número de granos por vaina. Los genotipos SMR 100, 92 y 91 registraron el menor número de granos en comparación con el genotipo SMR 124. Se atribuye que el mayor número de granos por vaina es genético por la longitud de la vaina (Cuadro 8).

**Cuadro 8.** Valores promedios de los 16 genotipos de frijol común para días a madurez fisiológica y numero de granos por vainas registradas en 11 ambientes en el ciclo agrícola 2015-2016.

<b>Genotipo</b>	<b>Días a madurez fisiológica</b>	<b>Número de granos por vaina</b>
SMR124	68 a	6a
SMR105	67 a	5ab
INTA Ferroso	67 a	5ab
SMR85	66 a	5ab
SMR106	66 a	5ab
SMR128	66 a	5ab
SMR108	66 a	5ab
SMR104	66 a	5ab
SMR130	65 ab	5ab
SMR88	65 ab	5ab
SMR96	64 ab	5ab
SMR100	64 ab	4b
SMR92	64 ab	4b
SMR91	64 ab	4b
SMR115	62 b	5ab
Cincuentaño	52 c	5ab
Media	65	5
R <sup>2</sup>	0.78	0.78
CV %	7.43	13.45

R<sup>2</sup>: Coeficiente de determinación, CV(%): Coeficiente de Variación. Se empleó la prueba de Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=1.34526

### Efecto de las localidades en variables fenológicas y en componentes del rendimiento de grano

Las condiciones prevalecientes en los distintos ambientes ejercieron un efecto significativo sobre los valores promedios de días a la madurez fisiológica y número de granos de vaina sobre el número de vainas por planta (Cuadro 9).

**Cuadro 9.** Comparación de los valores promedios de tres variables registrados en 11 ambientes en el período de 2015 a 2016.

Ambientes	Días a madurez fisiológica	Número de vainas por planta	Número de granos por vaina
Jal2	74 a	6 f	4 cd
Yal2	69 b	6 f	5 bc
Tel2	67 c	9 d	4 cd
Mas2	67 c	13 b	5 b
Cru2	65 d	9 de	3 d
Mat1	63 e	10 cd	5 bc
Car3	63 e	8 e	4 cd
Mat2	60 f	11 c	6 a
Mad1	60 f	5 f	5 c
Yal1	60 f	15 a	5 bc
Mas1	58 g	15 a	6 a
Media	67	10	5
R <sup>2</sup>	0.78	0.69	0.78
CV (%)	7.43	39.99	13.45

Jalapa postrera (Jal2), Yalí postrera (Yal2), Telica postrera (Tel2), Masatepe postrera (Mas2), El Crucero postrera (Cru2), Matagalpa primera (Mat1), Cerdenas apante (Car3), Matagalpa postrera (Mat2), Madriz primera (Mad1), Yalí primera (Yal1), Masatepe primera (Mas1). Se empleó la prueba de Tukey Alfa=0.05 DMS=0.96140

En Masatepe (Mas1) y Yalí (Yal1) en el ciclo de primera los genotipos alcanzaron el mayor valor promedio de vainas por planta y granos por vaina, además, en dichos ambientes los genotipos alcanzaron la madurez fisiológica más rápidamente (Cuadro 9). Se atribuye a una precipitación normal y bien distribuida en el ciclo primero durante las diferentes etapas del cultivo, lo que ocasiono una maduración fisiológica más temprana en los ambientes antes mencionados que postrera (Figura 1 a la 11).



En Masatepe (Mas1) y Yalí (Yal1) en el ciclo primera registraron precipitación moderada pero con buena distribución en las etapas del cultivo que tuvieron un efecto directo en la maduración fisiológica de forma precoz, mayor número de vainas por planta y granos por vaina que están relacionados con altos rendimientos (Cuadro 9, Figura 1 y 3).

En Jalapa (Jal2) en postrera la madurez fisiológica se atrasó 16 días por la condensación de humedad y clima frío prolongo el ciclo del cultivo que provocó madurez tardía y menor número de granos por vainas y vainas por plantas, en comparación a Masatepe (Mas1) en el ciclo primera la madurez fue precoz y obtuvo el mayor número de granos por vaina y vainas por planta por presentar poca precipitación y una distribución regular durante el ciclo del cultivo.

En Yalí (Yal2) en el ciclo postrera los genotipos alcanzaron la madurez fisiológica más tardía y con menor número de vainas por planta y granos por vaina, por las altas precipitación durante las etapas cultivo prologando su ciclo, reduciendo la formación de vainas y granos. Se le atribuye al exceso de precipitación y ataques de hongos ocasionaron aborto floral y reducción en el número de vainas por planta y granos por vaina. En Telica (Tel2) en el ciclo de postrera la madurez fue tardía y el menor de número de vainas por planta y granos por vaina, por efecto de los gases del volcán Telica y calor en el momento de la floración provocando aborto floral y poca formación y desarrollo de vainas en la planta (Cuadro 9, Figura 4 y 10).

Los genotipos evaluados lograron el mayor peso de semilla en comparación a los testigos Cincuentaño e INTA Ferroso (Cuadro 10). En la mayoría de los ambientes sobresalieron los genotipos SMR 88, SMR 130 y SMR 91 (29 g y 28 g). El mayor valor promedio por ambiente se registró en El Crucero postrera (Cru2) con 28 g y los menores en el ambiente de Madriz (Mad1) y Masatepe (Mas1) (24 g). En los últimos ambientes, el menor peso de 100 semillas fue en el ambiente de Masatepe (Mas1) porque las plantas mostraron el mayor valor promedio de vainas por planta y el ambiente de Madriz (Mad1) predominó la sequía durante el ciclo del cultivo (Figura 1 y Cuadro 10). El peso está relacionado a la genética y el mayor número vainas por planta y granos por vaina reduce el peso de 100 semillas, (Beebe *et al.*, 2000).

**Cuadro 10.** Peso de 100 semillas de 16 genotipos biofortificados de frijol en dependencia de los ambientes donde se establecieron los ensayos de campo durante los ciclos de primera, postrera y apante en el período de 2015 a 2016.

<b>Genotipo</b>	<b>Yal1</b>	<b>Mat1</b>	<b>Mas1</b>	<b>Mad1</b>	<b>Yal2</b>	<b>Mat2</b>	<b>Mas2</b>	<b>Jal2</b>	<b>Tel2</b>	<b>Cru2</b>	<b>Car3</b>	<b>Media</b>
SMR88	32 a	29ab	27 a	28 a	32 a	32 a	31 a	26 b	26 g	31 a	30 a	29
SMR130	30 ab	31 a	25 b	25 bc	30 ab	30 ab	28 c	27 ab	29 c	29 b	30 a	28
SMR124	30 ab	23 cd	23 c	23 cd	30 ab	27 bc	25 f	23 cd	31 a	26 c	27 bc	26
SMR128	28 b	26 bc	25 b	25 bc	28 b	28 b	27 d	28 a	27 e	29 b	27 bc	27
SMR100	28 b	26 bc	26 ab	26 b	28 b	26 c	29 b	25 bc	26 f	29 b	29 ab	27
SMR91	28 b	26 bc	26 ab	27 ab	28 b	25 cd	29 b	27 ab	28 d	30 ab	30 a	28
SMR92	28 b	24 c	23 c	27 ab	28 b	25 cd	28 c	24 c	28 d	30 ab	30 a	27
SMR85	27 bc	23 cd	25 b	24 c	27 bc	27 bc	24 g	23 cd	24 h	31 a	25 d	26
SMR115	27 bc	27 b	26 ab	27 ab	27 bc	26 c	27 d	24 c	28 d	29 b	28 b	27
SMR106	27 bc	23 cd	23 c	23 cd	27 bc	27 bc	25 f	26 b	27 e	27 bc	27 bc	25
SMR96	26 c	26 bc	25 b	26 b	26 c	28 b	27 d	24 c	30 b	29 b	28 b	27
SMR104	25 cd	21 d	22 cd	22 d	25 cd	25 cd	26 e	28 a	28 d	29 b	27 bc	25
SMR105	25 cd	26 bc	23 c	22 d	25 cd	23 d	26 e	26 b	24 h	27 bc	24 de	25
SMR108	25 cd	21 d	21 d	22 d	25 cd	23 e	24 g	26 b	26 f	27 bc	28 b	27
INTA ferroso	24 d	21 d	20 e	20 e	24 d	23 e	25 f	24 c	25 g	26 c	26 c	23
Cincuentaño	21 e	20 e	22 cd	23 cd	21 e	24 d	23 h	20 d	22 i	22d	23 e	22
Media	27	25	24	24	27	26	27	25	27	28	27	26
R <sub>2</sub>	0.85	0.87	0.84	0.82	0.85	0.58	1	0.81	1	0.75	0.95	
CV (%)	5.07	5.95	4.63	5.66	5.07	10.47	6.08	5.24	2.57	6.06	2.39	

**R<sup>2</sup>**: Coeficiente de determinación, **CV (%)**: Coeficiente de Variación. Jalapa postrera (Jal2), Yalí postrera (Yal2), Telica postrera (Tel2), Masatepe postrera (Mas2), El Crucero postrera (Cru2), Matagalpa primera (Mat1), Cárdenas apante (Car3), Matagalpa postrera (Mat2), Madriz primera (Mad1), Yalí primera (Yal1), Masatepe primera (Mas1). Se empleó la prueba de Tukey Alfa=0.05 DMS=0.96140.

### Rendimiento de grano (kg ha<sup>-1</sup>)

El rendimiento de grano de los distintos genotipos varió en dependencia de las condiciones ambientales donde fueron evaluados (Cuadro 11). Al aplicar el análisis de componentes principales a la parte residual de la interacción genotipo por ambiente se obtuvieron los resultados siguientes:

**Cuadro 11.** Analisis estadístico de los componentes principales que identifican la variación e interacción genotipo ambiente, 2015-2016.

F de V	Gl	SC	CM	F	Pr (>F)
Genotipo	15	2980023.89	198668.26	3.40	0.0000
Genotipo x Ambiente	150	26845783.74	178971.89	3.06	0.0000
cp_1	24	17247358.45	718639.94	12.30	0.0000
cp_2	22	2923722.03	132896.46	2.28	0.0011
cp_3	20	2663079.77	133153.99	2.28	0.0016
cp_4	18	1383374.95	76854.16	1.32	0.1750
Residuo	66	2628248.54	39821.95	0.68	0.9698
Total	330	19276385.88	58413.29		

Los tres primeros componentes de la interacción resultaron estadísticamente significativos. Los dos primeros componentes explicaron el 75.1 % de la variación observada en los datos (CPI-1=64.2% y CPI-2=10.9%).

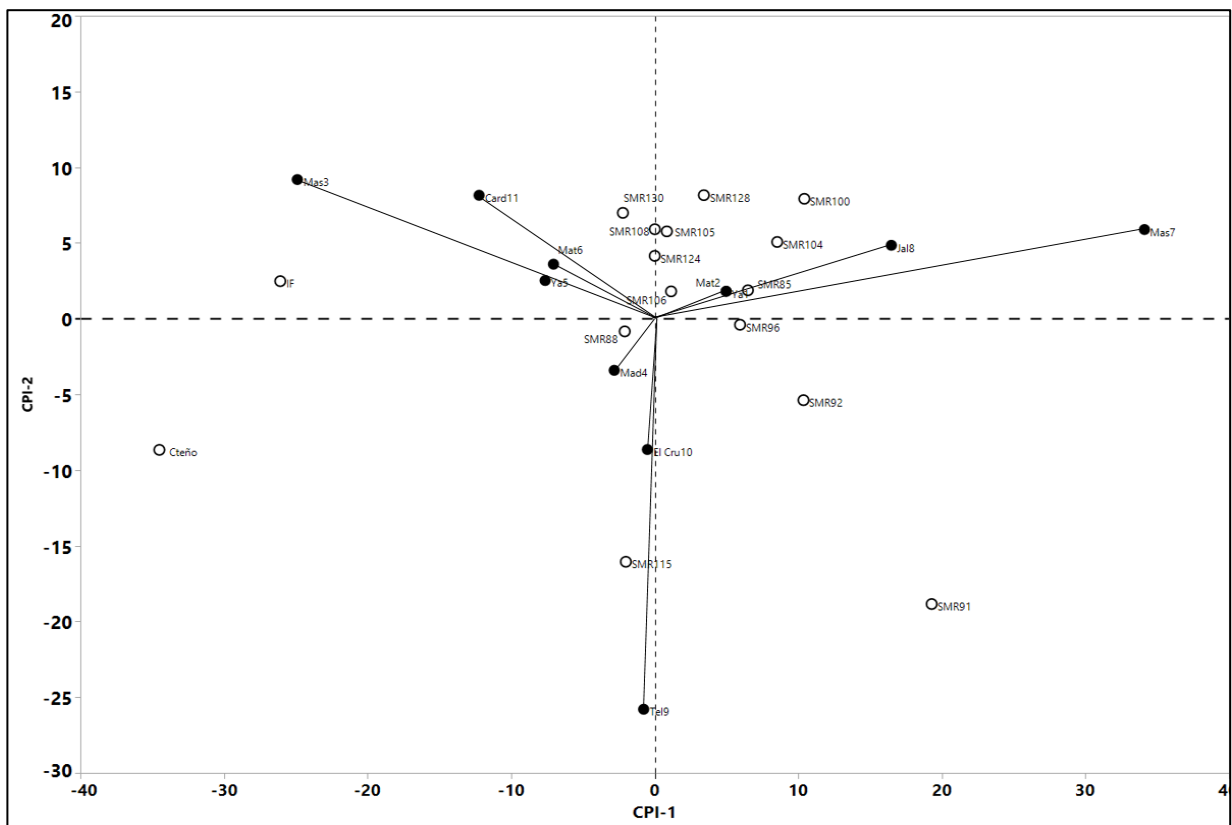
Datos similares por Acosta *et al.* 2012 encontrando que el 70.4% de la varianza fue por el efecto ambiente y el 11.8% para la interacción GxA en un estudio de adaptación de 16 genotipos de frijol en 15 ambientes de México.

En la Figura 12 se muestra la contribución de los ambientes y genotipos a la interacción al igual que la relación entre GxA.

Los ambientes Masatepe (Mas1), Masatepe (Mas2) y Telica (Tel2) en los ciclos de primera y postrera fueron los que más contribuyeron a la interacción detectada al igual que los genotipos SMR 115, SMR 91, INTA Ferrosos y Cincuentaño. El resto de materiales contribuyeron a la interacción en menor magnitud destacándose entre ellos los genotipos SMR 88 y SMR 106. Estos dos últimos genotipos se pueden considerar como los más estables. En la Figura 12, se

visualizan tres ambientes Madriz (Mad1), El Crucero (Cru2) y Telica (Tel2) en los ciclos de primera y postrera con valores negativos de la interacción y cinco genotipos incluyendo al criollo interaccionaron negativamente con los ambientes mencionados. Los genotipo en estos ambientes los rendimiento fueron bajos por efectos de adaptación, sequía, gases volcánicos (Telica y Santiago) y precipitación irregular durante el ciclo (factores abióticos).

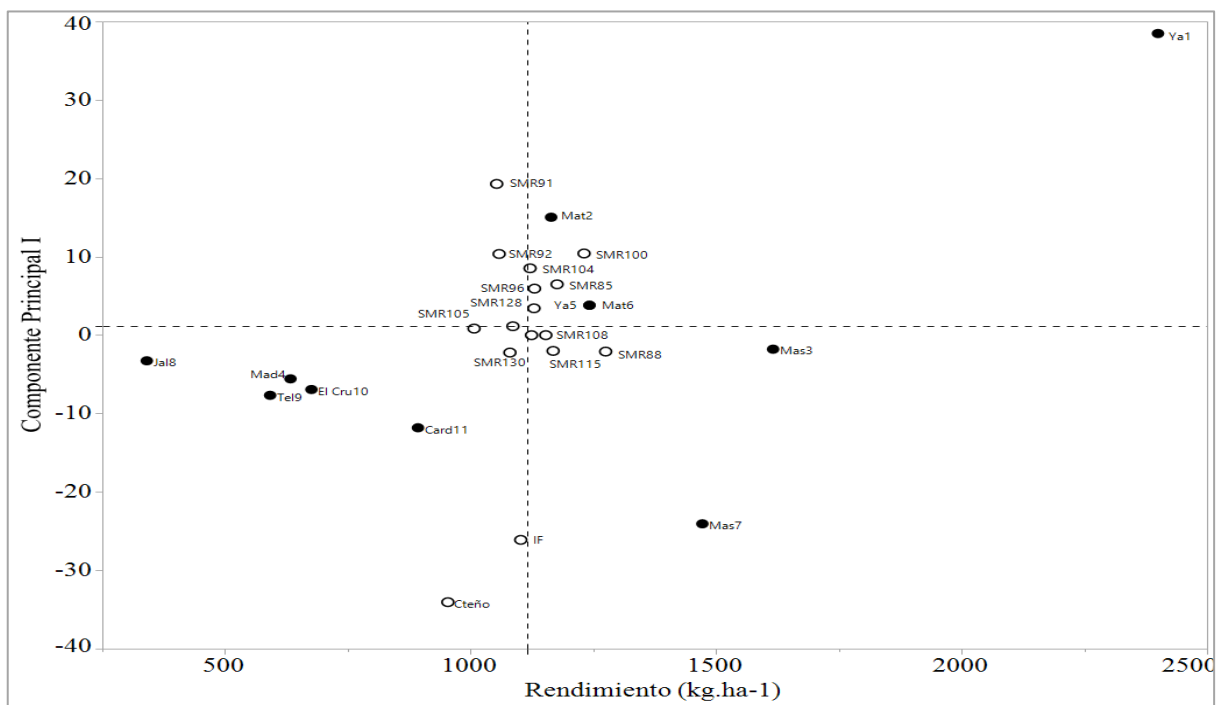
Los genotipos interactúan en los ambientes a medida que los vectores muestran mayor longitud existe alta interacción GxA de forma inestables con adaptación específica de forma positiva y negativa. Según estudios el AMMI permite detectar diferencias entre ambientes y genotipos, así como la interacción de ambos factores (López *et al.* 2011) (Figura 9, 10 y 12).



**Figura 12.** Gráfico Biplot de los componentes principales 1 y 2 que refleja la contribución genotipos y ambientes a la interacción en el período 2015-2016.

En la Figura 13 se asocia los valores del Componente Principal 1, que reflejan la interacción, con el rendimiento de grano. Todos los genotipos introducidos obtuvieron mayor estabilidad y rendimiento de granos en comparación con el testigo Cincuentaño. Con respecto al INTA

ferroso, todos los genotipos fueron también más estables pero solo unos cuantos lo superaron en rendimiento de grano. Entre los genotipos introducidos resalta el SMR 88 por su mayor estabilidad y rendimiento de grano ( $1274 \text{ kg ha}^{-1}$ , Figura 13). Otro genotipo promisorio fue SMR 100 ( $1231 \text{ kg ha}^{-1}$ ), aunque resultó menor estabilidad. El interés del fitomejoramiento es seleccionar por ambos atributos ya que liberar una variedad inestable implica que su comportamiento en el tiempo o espacio sea errático y no es deseable. La estabilidad tiene que estar ligado con altos el rendimiento de grano, porque si seleccionamos un genotipo como SMR 105, estaríamos asegurando una variedad consistentemente mala, con bajo rendimiento y tampoco es deseable. Por otro lado, y en base al rendimiento promedio de grano se puede inferir que las condiciones ambientales y de manejo fueron excepcionalmente buenas en Yali (Ya1), seguidos de Masatepe (Mas1) y Masatepe (Mas2) en la Figura 12 los dos últimos ambientes presentaron una contribución significativa a la interacción genotipo por ambiente. Estudios realizados mencionan que los mejores genotipos deben encontrarse próximos a cero del CP1, lo que significa que deben ser estables y de alto rendimiento (Silva *et al.*, 2012).



**Figura 13.** Potencial de rendimiento de grano y estabilidad de 16 genotipos de frijol biofortificados evaluados en 11 ambientes en el período 2015-2016.

En la Figura 13 se aprecian interacciones específicas de un grupo de genotipos con los ambientes de Yalí (Yal1 y Yal2) y Matagalpa (Mat1 y Mat2) (todos con signo positivo de la interacción) por su alto rendimiento superior a la media general y ubicados como ambientes estables por estar cerca de la línea horizontal de cero y otro grupo de genotipos con el resto de ambientes (todos con signos negativos) estos son ambientes inestables y con menor potencial de rendimiento.

El mayor rendimiento se obtuvo en Yalí (Yal1 y Yal2) y Masatepe (Mas1 y Mas2) por registrar una precipitación regular, suelos profundos y contenido de media a alta en materia orgánica y alto en fósforo que permite un mejor desarrollo del sistema radicular para la absorción por la planta. El genotipo SMR 88 su potencial productivo se le atribuye por su capacidad de respuestas a medianas y altas precipitaciones en comparación al genotipo SMR 100 que responde bien a precipitaciones de bajas a medianas durante el ciclo.

El criollo cincuentaño obtuvo buen rendimiento en el ambiente de Masatepe (Mas1 y Mas2) primera y postrera, se atribuye que por su adaptación agroecológica zona intermedia donde se colectó para los ensayos y por su precocidad aprovecha eficientemente la poca precipitación caída en su ciclo (Figura 1 y 2), el criollo por ser una variedad de ciclo corto mostró buena adaptación a sequía intermedia en Telica (Tel2) en este ambiente se comportó productivo y escape al calor en la etapa de floración. Algunos genotipos introducidos tienen más exigencia de agua por tener un ciclo tardío (Cuadro 12). Uno de los factores ambientales asociado con la mayor interacción de los genotipos y con el bajo rendimiento unitario de frijol es el nivel de precipitación pluvial en los ambientes de temporal (Silva *et al.*, 2012).

El rendimiento de los genotipos de frijol no son afectados por el fotoperiodo en variedades de frijol de grano pequeño desde su origen son neutras y no responden a los cambios de luz en los diferentes ciclos del cultivo. Los rendimientos de estos genotipos son afectados por selección a la adaptación a sequía, exceso de humedad y temperaturas. La pobre adaptación está ligada a bajos rendimientos (Masaya 1991).

**Cuadro 12.** Interacción de la variable rendimiento kg ha<sup>-1</sup> de los 16 genotipos biofortificados de frijol en 11 ambientes de Nicaragua, 2015–2016.

<u>Inter. Red.</u> <u>Gen</u>	<u>Yal1</u>	<u>Mat1</u>	<u>Mas1</u>	<u>Mad1</u>	<u>Yal2</u>	<u>Mat2</u>	<u>Mas2</u>	<u>Jal2</u>	<u>Tel2</u>	<u>Cru2</u>	<u>Car3</u>	<u>Red Kg ha<sup>-1</sup></u> <u>Media</u>
SMR100	3025 a	1354 a	1522 ab	652 ab	1452 a	1452 a	1460 bc	265 b	648 ab	708 ab	1003 a	1231
SMR91	2846 a	1391 a	1872 ab	613 ab	1379 a	1388 a	684 d	252 b	477 bc	303 c	368 d	1052
SMR85	2829 a	1302 a	1844 ab	639 ab	1201 a	1200 a	1535 b	338 ab	555 b	558 bc	934 ab	1176
SMR104	2814 a	1156 a	1433 ab	435 b	1276 a	1280 a	1300 c	552 a	587 b	736 ab	752 bc	1120
SMR128	2694 a	1171 a	1478 ab	478 b	1260 a	1265 a	1660 ab	309 ab	648 ab	618 b	834 b	1129
SMR96	2664 a	1132 a	1628 ab	737 a	1278 a	1288 a	1235 c	272 b	489 bc	844 a	850 b	1129
SMR108	2560 a	1198 a	1661 ab	760 a	1131 ab	1134 a	1584 b	379 ab	547 b	544 bc	1186 a	1153
SMR92	2541 a	1495 a	1437 ab	286 c	1365 a	1370 a	1166 c	432 ab	535 b	526 bc	482 c	1058
SMR106	2495 a	919 ab	1550 ab	693 ab	1228 a	1232 a	1327 bc	296 b	535 b	768 ab	903 ab	1086
SMR130	2437 a	932 ab	1544 ab	721 a	1086 ab	1090 ab	1491 bc	135 c	696 ab	755 ab	986 ab	1079
SMR105	2400 a	1146 a	1477 ab	494 b	851 b	858 b	1327 bc	449 ab	560 b	730 ab	775 bc	1006
SMR124	2390 a	1455 a	1633 ab	659 ab	1089 ab	1088 ab	1512 b	200 b	591 b	680 b	1071 a	1124
SMR88	2272 a	1603 a	1516 ab	774 a	1596 a	1601 a	1673 ab	360 ab	704 ab	808 a	1110 a	1274
SMR115	2223 a	1151 a	2094 a	826 a	1387 a	1391 a	1436 bc	417 ab	335 c	713 ab	871 b	1168
IF	1316 ab	771 b	1338 b	689 ab	1344 a	1351 a	2098 a	408 ab	735 ab	845 a	1217 a	1101
Cteño	897 b	444 c	1833 a	675 ab	874 b	877 b	2060 a	384 ab	825 a	677 b	941 ab	953
Media	2400	1164	1616	633	1237	1242	1472	341	592	676	893	<b>1115</b>
R <sup>2</sup>	0.87	0.48	0.51	0.61	0.5	0.5	18.97	0.63	0.74	0.49	0.66	
CV%	11.18	33.48	14.95	23.02	24.08	24	0.7	36.89	14.28	25.78	22.65	

**R<sup>2</sup>:** Coeficiente de determinación, **CV (%)**: Coeficiente de Variación. Jalapa postrera (Jal2), Yalí postrera (Yal2), Telica postrera (Tel2), Masatepe postrera (Mas2), El Crucero postrera (Cru2), Matagalpa primera (Mat1), Cárdenas apante (Car3), Matagalpa postrera (Mat2), Madriz primera (Mad1), Yalí primera (Yal1), Masatepe primera (Mas1).

**Red:** Rendimiento kg.ha<sup>-1</sup>, **Amb:** Ambiente, **Gen:** Genotipo

### **Contenido de hierro y zinc en el grano de 16 genotipos biofortificados**

Uno de los objetivos del presente trabajo fue la identificación de genotipos con alto rendimiento y contenidos de hierro y zinc (arriba de 80 y 33 mg kg<sup>-1</sup>). En este estudio, todos los genotipos introducidos tienen valores promedios superiores en contenidos de hierro y zinc en comparación a los testigos cincuentaño con 59 y 27 mg kg<sup>-1</sup> para hierro y zinc e INTA ferroso con 68 y 29 mg kg<sup>-1</sup> hierro y zinc (Figuras 14 y 15).

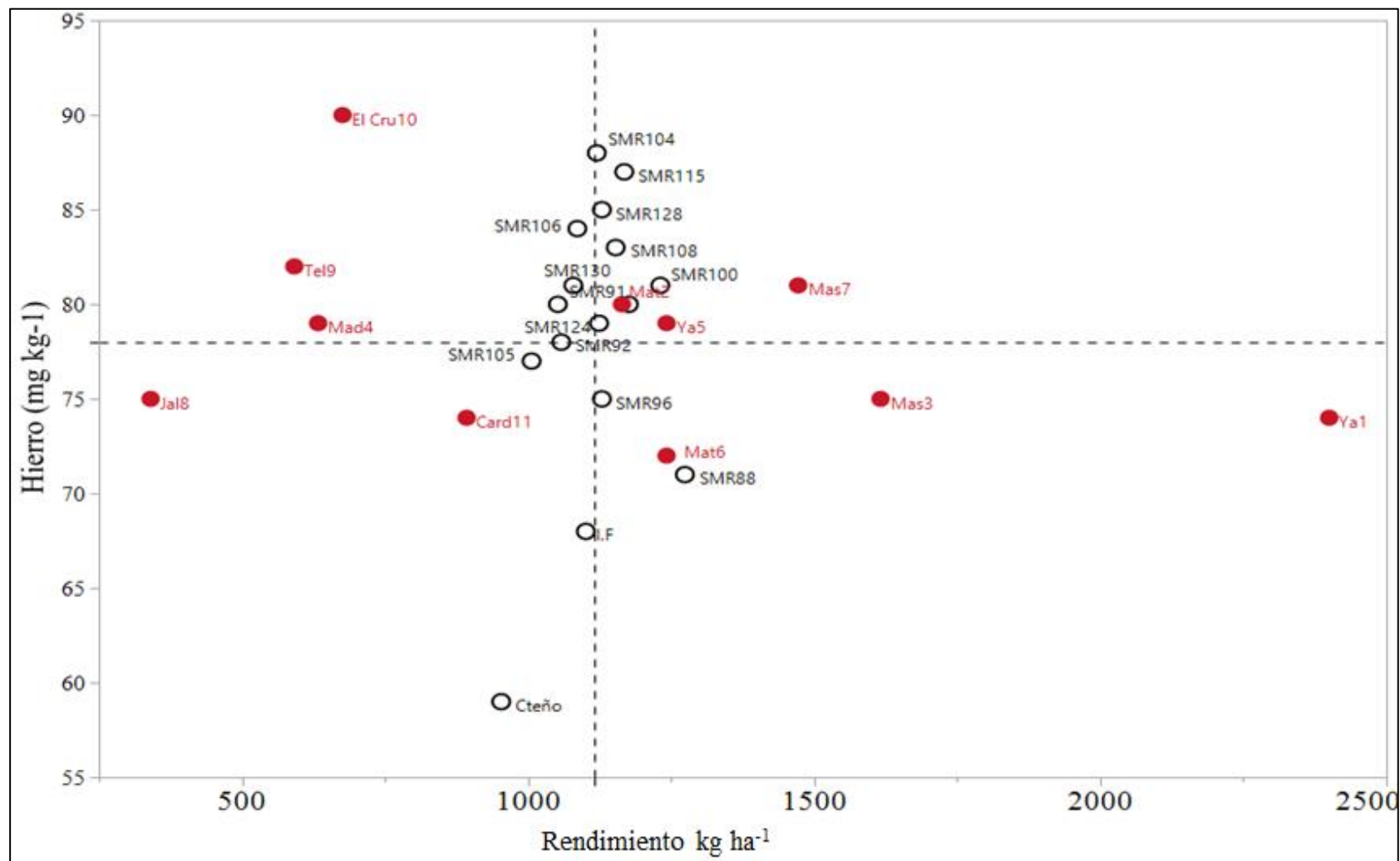
Por otro lado, la mayoría de los genotipos introducidos superó el contenido mínimo establecido en cuanto a contenidos de hierro y zinc (80 y 33 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente) para ser considerados como biofortificados (Figuras 14 y 15); además, algunos de ellos tuvieron un rendimiento de grano igual o ligeramente superior a la media general.

Los genotipos introducidos de interés son los ubicados en el cuadrante superior derecho de las Figuras 5 y 6, aunque no fue posible encontrar un genotipo que combinara los mayores valores promedios para las dos variables que se grafican en las figuras mencionadas. La inclusión de un tercer criterio como es la estabilidad del rendimiento de grano complica aún más la situación. En los resultados se encontró que el genotipo SMR 88 sobresalió al resto por su mayor rendimiento de grano y estabilidad del mismo, en contenido de mineral no alcanzó el criterio establecido.

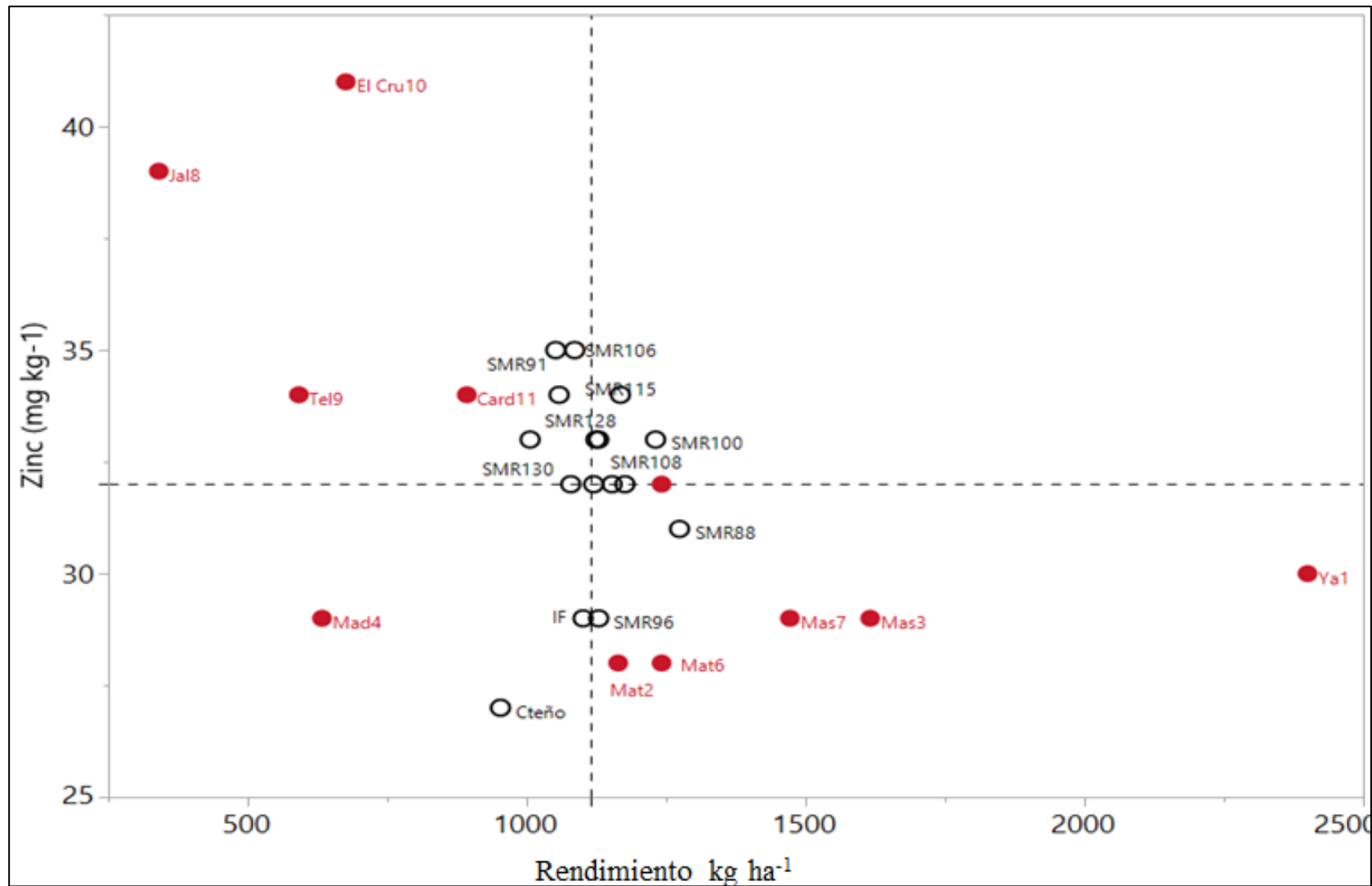
El genotipo SMR 100, aunque menos estable que SMR 88, expresó mayor eficiencia en la absorción, translocación y contenido de hierro y zinc superiores al mínimo establecido (Figuras 14 y 15) y buen rendimiento promedio de grano. Por lo que puede ser una buena opción sobre todo en aquellos ambientes con buen comportamiento agronómico (Figura 12).

Las fuentes genéticas con mayor concentración de hierro y zinc en los genotipos biofortificados provienen del mejoramiento genético de cruzas de *Phaseolus vulgaris L.* y raza andina con *Phaseolus dumosus* y *Phaseolus coccineus*. Las fuentes para tolerancia a factores bióticos y abióticos son *Phaseolus vulgaris L.* de la raza mesoamericana (Blair *et al.* 2000). El hierro y zinc son factores que operan en forma independiente. No existe relación significativa en la concentración de hierro y zinc con el rendimiento, indicando que son genes que operan en forma independientes (Graham *et al.* 2000).





**Figura 14.** Rendimiento y contenido de hierro en 16 genotipos biofortificados de frijol, evaluados en el periodo 2015-2016.



**Figura 15.** Rendimiento y contenido de zinc en 16 genotipos biofortificados de frijol, evaluados en el período 2015-2016.

## V. CONCLUSIONES

Se identificaron genotipos con buen potencial de rendimiento de grano, buena estabilidad y mayor contenido de hierro y zinc con respecto a los testigos.

El estudio demostró que los genotipos introducidos superaron a los dos testigos nacionales en contenido de hierro y de zinc.

Selección de genotipos biofortificados SMR 88 y SMR 100 por mostrar buena combinación de rendimiento y alto contenido de minerales en el grano en comparación a los testigos.

La interacción y estabilidad de los genotipos varió en los ambientes donde se realizaron las evaluaciones de campo detectándose genotipos con adaptación específica y amplia que deben ser explotadas.

Los genotipos biofortificado SMR 88 y SMR 100 presentaron buen comportamiento en rendimiento, color de grano, planta erecta porte arbustivo, tolerancia a enfermedades, sequía, alto contenido de minerales (Fe y Zn) en comparación a los testigos.

## **VI. RECOMENDACIONES**

Los genotipos biofortificados SMR 100 y SMR 88 por su buen comportamiento productivo, agronómico, mayor contenido de hierro y zinc someterlos a parcelas de validación en diferentes localidades de Nicaragua.

Desarrollar dominios de recomendación para las localidades donde los genotipos biofortificados SMR 88 y SMR 100 obtuvieron mayor estabilidad en ambientes húmedos y marginales de Nicaragua.

Establecer parcelas de difusión de SMR 88 y SMR 100 por su buen comportamiento agronómico y contenido de hierro y zinc para ampliar el uso de las nuevas variedades biofortificadas en las diferentes localidades de Nicaragua.

En los próximos ciclos proponer su liberación de las dos nuevas variedades biofortificadas por su mayor contenido nutricional y potencial de rendimiento en comparación a las variedades comerciales.

## VII. LITERATURA CITADA

- Acosta-Gallegos, J.A.; Espinoza-Trujillo, E.; Sánchez-García, B.M.; Jiménez-Hernández, Y.; Salinas-Pérez, R.A.; Rosales-Serna, R.; Zandate-Hernández, R. González-Rivas, C. 2012. Adaptación del frijol tipo flor de junio a diferentes ambientes de México, 435. Consultado mayo y junio 2017.
- Bassinello, P. Z., 2010. Effect the environment on zinc and iron levels in common beans. Embrapa Rice and Beans. 2p.
- Blear M.; Asturdillo, C 2000. Contenido de hierro y cinc en la semilla y su respuesta al nivel de fertilización de fosforo en 40 variedades de frijol colombiana. *Agronomía Colomb.* 26 (3): 441-476.
- Beebe, S.; A.V. González y J. Rengifo. 2000. El estudio de los minerales en frijol común. *Food and Nutrition Bulletin* 2. Consultado el 04 de febrero 2015.
- Beebe, S., M. Raó, M. J. Devi y J. Polania. 2014. Common beans, biodiversity and multiple stresses; challeges of drought resistance in tropical soils, Centro Internacional Agricultura Tropical (CIAT).
- Beebe, S.; A.V. González y J. Rengifo. 2016. Estudio de evaluación de 1400 accesiones provenientes del Banco de Germoplasma del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).
- Bitochi E., Nanni L., Rosi M. 2012. Mesoamerican origin of the common vean (*Phseolus vulgaris* L) is revealed by sequence data. Published online March, 2012. 788-796p.
- Bouis H., Meenakshi J.V., Nestel P., Pfeiffer W. 2006. Biofortification of staple food crops. Instituto internacional de investigación sobre políticas alimentarias. Washington proyecto

HarvestPlus Colombia. Consultado el 10 de febrero 2015. Disponible en [www.file:///c:/Users/INTA%20002/Documents/j.%20Nutr.-2006-Nestel-1064-7.pdf](http://www.file:///c:/Users/INTA%20002/Documents/j.%20Nutr.-2006-Nestel-1064-7.pdf).

Carrillo, C. P.; Chow, Z.; Cuadra S, Brenes D.; Pachón. H. 2011. Aceptación de tres líneas de fríjol (*Phaseolus vulgaris* L.) mejorado nutricionalmente por los consumidores nicaragienses. *Perspect Nutri Humana*. Consultado el 9 de marzo 2015. Disponible en <http://www.scielo.org.co/pdf/penh/v13n2/v13n2a6.pdf>.

Crossa J. 1990. Statistical analyses of multilocation trials. *Adv Agron*. 44: 55 - 85.

Graham, R., Humphries, J., Kitchen J. 2000. Nutricionalmente cereales mejoradas: Una base sostenible para una dieta equilibrada. *Asia Pacific J. Clin. Nutr*. Consultado el 10 de marzo 2015 disponible en <http://apjcn.nhri.org.tw/server/APJCN/9%20Suppl%201/S91.pdf>.

INIDE. 2008. Lactancia y Nutrición. Encuesta Nicaragüense de Demografía y Salud, ENDESA-2006/07. Informe Final. Pág. 312. Consultado 19, marzo 2015. Disponible en: <http://microdata.worldbank.org/index.php/catalog/988/download/20545>.

Kelly, A. 1992. A medio y largo-gama pronostican prevalencia y el número de desnutridos en niños. Las estimaciones mundiales y regionales. Organización Mundial de la Salud. Consultado el 10 marzo 2015. Disponible en [https://scholar.google.com.ni/scholar?q=Kelly%2C+A.+1992.+World+Health+Organizati on.+1992&btnG=&hl=es&as\\_sdt=0%2C5&as\\_vis=1](https://scholar.google.com.ni/scholar?q=Kelly%2C+A.+1992.+World+Health+Organizati on.+1992&btnG=&hl=es&as_sdt=0%2C5&as_vis=1)

López E, Acosta J, Tosquy O, Salinas R, Sánchez B, Rosales R, González C, Moreno T, Villar B, Cortinas H, et al. 2011. Yield stability of improved mesoamerican genotypes of black common bean in México. *Rev Mex Cienc Agric*. 2(1):29-40.

Llano A., 2013. Avances de la biofortificación de frijol (*Phaseolus vulgaris*) en Nicaragua. INTA [aureliollano@gmail.com](mailto:aureliollano@gmail.com).

Masaya P., White J. 1991. Adaptation to photoperiodo and temperature in Shoonhouven and Voysest. Common Beans: research for Crop Improvement, Londres CAB International England. Pp445-500.

Muñoz, G; Giraldo, G; Fernández de Soto, J. 1993. Descriptores varietales: arroz, frijol, maíz, sorgo. -- Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1993. 174 p.-- (Publicación CIAT; 177).

ONU. (Organización de las Naciones Unidas) 2015. Informe de la ONU sobre el hambre en el mundo. Consultado en el 17 de agosto del 2017. Disponible en [www.eldiario.es/desalambre/ultimo-informe-ONU-hambre-mundo\\_0\\_392311689.html](http://www.eldiario.es/desalambre/ultimo-informe-ONU-hambre-mundo_0_392311689.html).

Pachón H. 2011. Cartilla: El Impacto Nutricional de Cultivos Biofortificados o Cultivos con Mayor Calidad Nutricional. Universidad de Antioquia Medellín Colombia. Consultado 20 de Noviembre 2014. Disponible en [www.agrosalud.org/descargas/cartilla%20impacto%20nutricionalimpresion\\_feb12\\_10.pdf](http://www.agrosalud.org/descargas/cartilla%20impacto%20nutricionalimpresion_feb12_10.pdf)

Rosas, J.C.M. Guachambala y R.A. Ramos. 2009. Guía ilustrada para la descripción de las características de variedades de frijol común.

Schmutz, J., M. E. Phillip, S. Mamidi y G. A. Wu. 2014. A reference genome for commom bean and genome-wide analysis of dual domestications.

Silva C. A, A. F. Barbosa, M. A. P. Ramalho y A. D. Corrêa, 2012. Interaction genotype by season and its influence on the identification of beans with high content of zinc and iron. Received: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria (Embrapa), Centro de Pesquisa Arroz e Feijao/UFLA, Departamento de Biología, 37200-000 Lavras (MG), Brasil.

Tofiño R. A. P, Pastrana V. I. J, Melo R. A. E, Beebe S., 2016. Rendimiento, estabilidad fenotípica y contenido de micronutrientes de genotipos de fríjol biofortificado en el Caribe seco colombiano, 2016. Corpoica Cienc Tecnol Agropecuaria, Mosquera (Colombia) 17(3):309-329.

Vargas, M.Y.; Crossa, J. 2000. El análisis AMMI y la gráfica del Biplot en SAS. Universidad Autónoma de Chapingo. Unidad de Biometría y Estadística. CIMMYT, México D.F. México. 42p Disponible desde Internet en: [www.cimmyt.cgiar.org/biometrics](http://www.cimmyt.cgiar.org/biometrics) (con acceso 22/05/2017).

White J. W, 1998. Conceptos básicos de la fisiología de frijol. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). 55/p.



## VIII. ANEXOS

**Anexo 1.** Rendimiento de los 16 genotipos de frijol biofortificados evaluados en 11 ambientes de Nicaragua, 2015-2016

<b>Genotipos</b>	<b>Yal1</b>	<b>Mat1</b>	<b>Mas1</b>	<b>Mad1</b>	<b>Yal2</b>	<b>Mat2</b>	<b>Mas2</b>	<b>Jal2</b>	<b>Tel2</b>	<b>Cru2</b>	<b>Car3</b>	<b>Medias</b>	<b>IA</b>
SMR88	2272	1603	1516	774.1	1596	1601	1673	360	704.2	808.2	1110	<b>1274</b>	159
SMR100	3025	1354	1522	651.6	1452	1452	1460	265	647.7	707.7	1003	<b>1231</b>	116
SMR85	2829	1302	1844	639.3	1200	1200	1535	338	554.6	557.5	933.5	<b>1176</b>	61
SMR115	2223	1151	2094	826.3	1387	1391	1436	417	335.3	713.4	871.4	<b>1168</b>	53
SMR108	2560	1198	1661	760.5	1131	1135	1584	379	546.6	544.1	1186	<b>1153</b>	38
SMR96	2664	1132	1628	736.6	1278	1288	1235	272	489.3	843.9	849.9	<b>1129</b>	14
SMR128	2694	1171	1478	478.2	1260	1265	1660	309	648.3	618.3	834.2	<b>1129</b>	14
SMR124	2390	1455	1633	658.6	1089	1088	1512	199	590.9	680.2	1071	<b>1124</b>	9
SMR104	2814	1157	1433	435	1276	1280	1300	552	586.8	735.8	752.2	<b>1120</b>	5
I. Ferroso	1316	770.9	1338	689.1	1344	1351	2098	408	734.6	844.8	1217	<b>1101</b>	-14
SMR106	2495	918.5	1550	693.2	1228	1232	1327	296	534.9	768.3	903.2	<b>1086</b>	-29
SMR130	2437	932.5	1544	720.6	1086	1090	1491	135	696.3	754.8	986.3	<b>1079</b>	-36
SMR92	2541	1495	1437	285.8	1365	1370	1166	432	534.6	525.4	482.5	<b>1058</b>	-57
SMR91	2846	1391	1872	612.9	1379	1388	684	252	476.3	302.6	367.9	<b>1052</b>	-63
SMR105	2400	1146	1477	494.1	851	857.4	1327	449	560.5	730.4	774.7	<b>1006</b>	-109
Cteño	896.6	444.1	1833	674.6	873	877	2060	384	824.8	677.1	941.3	<b>953</b>	-162
<b>Medias</b>	<b>2400</b>	<b>1164</b>	<b>1616</b>	<b>633</b>	<b>1237</b>	<b>1242</b>	<b>1472</b>	<b>340</b>	<b>592</b>	<b>676</b>	<b>893</b>	<b>1115</b>	<b>0</b>

**Anexo 2.** Comportamiento en el rendimiento y contenido de hierro (Fe) en 16 genotipos de frijol biofortificados 2015-2016.

<b>Genotipos</b>	<b>Rendimiento kg.ha<sup>-1</sup></b>	<b>Hierro mg/kg</b>
SMR88	1274	71
SMR100	1231	81
SMR85	1176	80
SMR115	1168	87
SMR108	1153	83
SMR96	1129	75
SMR128	1129	85
SMR124	1124	79
SMR104	1120	88
I. Ferroso	1101	68
SMR106	1086	84
SMR130	1079	81
SMR92	1058	78
SMR91	1052	80
SMR105	1006	77
Cteño	953	59
Media	1115	79

**Anexo 3.** Contenido de hierro en 16 genotipos biofortificados evaluados en 11 ambientes de Nicaragua 2015-2016.







	<b>Yal1</b>	<b>Mat1</b>	<b>Mas1</b>	<b>Mad1</b>	<b>Yal2</b>	<b>Mat2</b>	<b>Mas2</b>	<b>Jal2</b>	<b>Tel2</b>	<b>Cru2</b>	<b>Car3</b>	<b>Media</b>
<b>Genotipos</b>	<b>Fe</b>	<b>Fe</b>	<b>Fe</b>	<b>Fe</b>	<b>Fe</b>	<b>Fe</b>	<b>Fe</b>	<b>Fe</b>	<b>Fe</b>	<b>Fe</b>	<b>Fe</b>	<b>Fe</b>
SMR 115	81	83	81	88	85	77	102	84	79	115	82	87
SMR 104	79	90	91	86	84	81	96	82	102	86	85	87
SMR 106	76	89	93	87	85	80	83	74	81	104	81	85
SMR 128	76	87	85	86	87	80	89	76	97	92	73	84
SMR 108	82	82	70	87	90	81	88	93	69	104	72	83
SMR 130	78	91	78	85	84	83	75	85	77	81	85	82
SMR 100	79	78	75	79	77	69	80	72	101	104	77	81
SMR 91	73	76	75	75	74	75	85	82	85	100	78	80
SMR 85	80	74	85	83	82	72	75	80	87	84	87	81
SMR 124	81	89	75	84	90	72	86	72	87	73	65	79
SMR 92	73	87	66	66	80	69	88	71	70	99	79	77
SMR 105	70	80	66	78	71	68	72	70	86	91	73	75
SMR 96	70	71	58	67	83	62	82	71	91	84	67	73
SMR 88	71	76	70	69	71	70	69	69	72	78	63	71
I. Ferroso	68	69	72	70	70	61	67	65	69	72	64	64
Cnteño	51	59	59	69	50	55	63	51	64	76	52	59
Media	<b>74</b>	<b>80</b>	<b>75</b>	<b>79</b>	<b>79</b>	<b>72</b>	<b>81</b>	<b>75</b>	<b>82</b>	<b>90</b>	<b>74</b>	<b>78</b>

**Anexo 4.** Comportamiento en el rendimiento y contenido de zinc (Zn) en 16 genotipos de frijol biofortificado 2015-2016.

<b>Genotipos</b>	<b>Rendimiento kg.ha<sup>-1</sup></b>	<b>Zinc mg/kg</b>
SMR88	1274	31
SMR100	1231	33
SMR85	1176	32
SMR115	1168	34
SMR108	1153	32
SMR96	1129	29
SMR128	1129	33
SMR124	1124	33
SMR104	1120	32
INTA Ferroso	1101	29
SMR106	1086	35
SMR130	1079	32
SMR92	1058	34
SMR91	1052	35
SMR105	1006	33
Cincuentaño	953	27
Media	1115	32

**Anexo 5.** Contenido de zinc en 16 genotipos biofortificados evaluados en 11 ambientes de Nicaragua, 2015-2016.

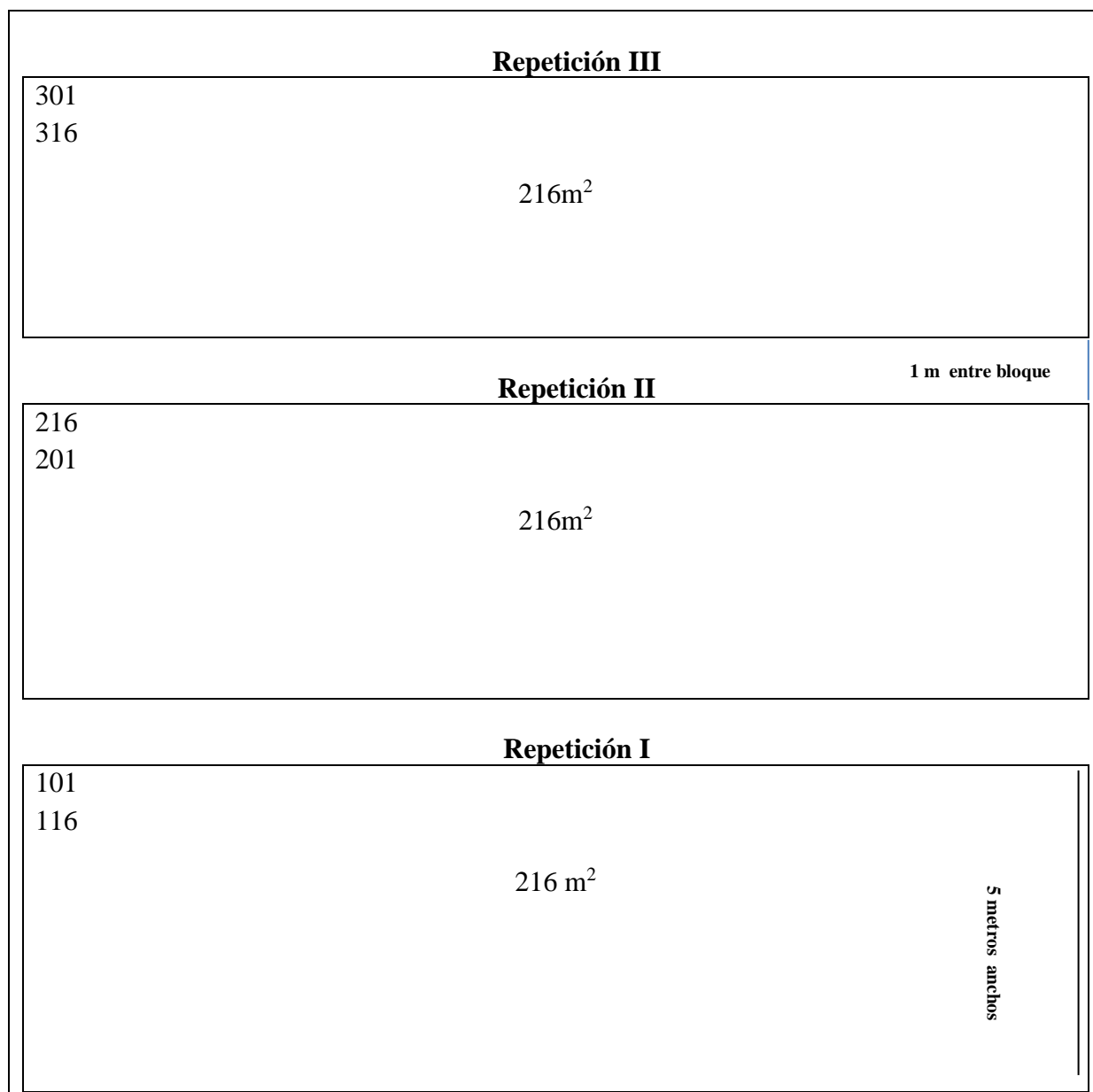
	<b>Yal1</b>	<b>Mat1</b>	<b>Mas1</b>	<b>Mad1</b>	<b>Yal2</b>	<b>Mat2</b>	<b>Mas2</b>	<b>Jal2</b>	<b>Tel2</b>	<b>Cru2</b>	<b>Car3</b>	<b>Rend</b>
<b>Genotipos</b>	<b>Zn</b>	<b>Zn</b>	<b>Zn</b>	<b>Zn</b>	<b>Zn</b>	<b>Zn</b>	<b>Zn</b>	<b>Zn</b>	<b>Zn</b>	<b>Zn</b>	<b>Zn</b>	<b>Media</b>
SMR 106	31	31	34	34	35	32	31	40	37	42	37	35
SMR 91	31	27	32	29	31	28	34	43	38	52	37	35
SMR 92	31	31	34	25	34	31	34	41	33	39	43	34
SMR 115	28	28	25	31	35	28	31	41	40	50	36	34
SMR 105	30	27	29	32	32	31	30	41	35	42	38	33
SMR 128	31	29	30	32	32	27	30	39	34	44	33	33
SMR 100	32	27	29	31	30	20	31	41	41	45	32	33
SMR 124	33	33	29	30	34	29	28	40	34	41	33	33
SMR 104	32	29	31	28	31	26	30	36	34	41	35	32
SMR 108	31	26	31	30	33	28	27	39	30	45	33	32
SMR 130	30	33	27	31	33	30	27	45	32	32	34	32
SMR 85	32	27	27	25	32	27	28	42	33	38	40	32
SMR 88	31	27	29	25	30	28	28	39	35	40	32	31
SMR 96	26	26	26	23	29	27	27	37	36	34	30	29
INTA Feroso	28	27	28	27	28	26	23	35	31	38	29	29
Cincuentaño	27	25	24	27	29	26	23	30	28	34	28	27
<b>Media</b>	<b>30</b>	<b>28</b>	<b>29</b>	<b>29</b>	<b>32</b>	<b>28</b>	<b>29</b>	<b>39</b>	<b>34</b>	<b>41</b>	<b>34</b>	<b>32</b>

Genotipos	Semilla	Color	Rendimiento	Contenido Fe	Dias a madurez	Virus del MD
SMR-100		Rojo brillante	1231 kg ha <sup>-1</sup>	81 mg kg <sup>-1</sup> (ppm)	60 DMF	4
SMR-88		Rojo retinto	1274 kg ha <sup>-1</sup>	71 mg kg <sup>-1</sup> (ppm)	64 DMF	2
SMR-115		Rojo opaco	1168 kg ha <sup>-1</sup>	87 mg kg <sup>-1</sup> (ppm)	58 DMF	6
SMR-91		Rojo brillante claro	1052 kg ha <sup>-1</sup>	80 mg kg <sup>-1</sup> (ppm)	62 DMF	3
I. Ferroso		Rojo claro	1001 kg ha <sup>-1</sup>	68 mg kg <sup>-1</sup> (ppm)	66 DMF	2
Cincuentaño		Rojo retinto	953 kg ha <sup>-1</sup>	59 mg kg <sup>-1</sup> (ppm)	50 DMF	6

Anexo 7. Plano de campo

**Diseño Bloques Completo al Azar**

(BCA)



101-116; número de genotipos o entradas en la repetición uno

201-216; número de genotipos o entradas en la repetición dos

301-316; número de genotipos o entradas en la repetición tres