

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
FACULTAD DE AGRONOMIA
PROGRAMA RECURSOS GENETICOS NICARAGÜENSES



TRABAJO DE DIPLOMA

**ESTABILIDAD Y RENDIMIENTO DE SEIS MATERIALES
GENETICOS DE FRIJOL COMUN (*Phaseolus vulgaris* L.) EN
DISTINTAS ZONAS DE NICARAGUA**

AUTORES

Br. YAMIL CRUZ CASCO
Br. EDWIN JOSE ESCOBAR LOAISIGA

ASESOR

Ing. M.Sc. OSCAR JOSE GOMEZ GUTIERREZ

MANAGUA, NICARAGUA
FEBRERO, 2003

Dedicatoria

En primer lugar a Dios, por haberme dado la oportunidad de cumplir con este trabajo y por permitirme alcanzar un peldaño mas en mi vida.

A mis padres Andrés A. Olivas y Dalila Casco, que con amor, esfuerzo y sacrificio ayudaron a que concluyera esta carrera.

A mis hermanos:

- Carlos A Cruz
- Ronmell J. Cruz
- Lubys Cruz
- Lorgia E. Cruz

A mi abuela Aura E. Cruz, a mi tío Jorge U. Casco, que de una u otra manera me brindaron su apoyo incondicional.

Yamíl Cruz Casco

Dedicatoria

Al creador de lo visible y lo invisible, al Dios supremo dador de la sabiduría y entendimiento.

A mis padres: Rufino Escobar S. y Nubia Loáisiga por sus valiosos esfuerzos, ellos fueron los eslabones principales en la formación de mi ser, brindándome amor y ánimo para salir adelante.

A mis hermanos: Wilmer, Dania y Lucia fuente de gozo y tranquilidad en mi hogar.

A la memoria de mi abuela María Sequeira G. (q.e.p.d) forjadora de valores éticos en mi.

Edwin J. Escobar L.

Agradecimiento

Agradecemos a las personas que de una u otra manera estuvieron involucradas en la elaboración de este trabajo de título, gracias a ellas por su paciencia y comprensión logramos cumplir nuestros objetivos.

A los productores Alexis Morán, Antonio Mejía, Alvaro Cano, Manuel Escobar y Roberto Larios. Quienes facilitaron elementos principales para la realización de este trabajo.

A nuestro asesor Ing. MSc. Oscar Gómez Gutiérrez, por brindarnos conocimientos importantes en nuestra formación.

A los profesores: Ing. MSc. Marvin Fornos y el Dr. Víctor Aguilar, por brindarnos apoyo y confianza.

Al personal del CENIDA: María Catalina Sánchez, Jacqueline López y Esperanza Montoya, por su valiosa cooperación en la búsqueda y obtención de información

Estamos agradecidos con todos ellos.

Yamíl Cruz Casco
Edwin J. Escobar Loáisiga.

INDICE DE CONTENIDO

Contenido	Pág.
INDICE DE CONTENIDO	<i>i</i>
INDICE DE TABLAS	<i>ii</i>
INDICE DE FIGURAS	<i>iii</i>
INDICE DE ANEXOS (TABLAS)	<i>vi</i>
INDICE DE ANEXOS (FIGURAS)	<i>v</i>
RESUMEN	<i>vi</i>
I INTRODUCCIÓN	1
II MATERIALES Y MÉTODOS	4
2.1 Localización de los ensayos	4
2.2 Material genético	5
2.3 Manejo Agronómico	5
2.4 Variables evaluadas	6
2.4.1 Variables Agronómicas	6
2.4.2 Variables ambientales	7
2.5 Diseño y dimensiones del experimento	7
2.6 Análisis estadístico	8
2.7 Parametros de estabilidad	8
2.7.1 Varianza de estabilidad de Shukla	8
2.7.2 Coeficiente de regresión	9
2.7.3 Suma de rangos de Kang	9
2.7.4 Análisis AMMI	9
III RESULTADOS	11
3.1 Parámetros de estabilidad	11
3.2 Análisis AMMI	12
3.3 Resultados del Biplot	13
IV DISCUSIÓN	15
V CONCLUSIONES	17
VI RECOMENDACIONES	19
VII LITERATURA CONSULTADA	20
VIII ANEXOS	22

INDICE DE TABLAS

Tabla		Pág.
1	Valores anuales de las características topográficas, climáticas y de suelo de seis localidades de Nicaragua	4
2	Lugar de procedencia y color de semilla de las variedades locales de frijol.	5
3	Medición de la estabilidad del rendimiento de seis materiales genéticos de frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) evaluadas en seis localidades de Nicaragua	12
4	Descomposición de la varianza total debido a diferentes fuentes de variación y de la interacción material genético por localidad mediante el análisis AMMI.	13

ii
INDICE DE FIGURAS

Figura	Pág.
1 Valores del primer componente de la interacción IPCA1 versus el rendimiento promedio de seis materiales genéticos de frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) evaluadas en seis localidades.	14

INDICE DE ANEXOS (TABLAS)

iii

Tabla		Pág.
1A	Significancia estadística y coeficiente de variación de las variables agronómicas en materiales genéticos de fríjol común (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.)	23
2A	Número promedio de vainas por plantas de cada material genético de fríjol (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) en cada una de las localidades en estudio.	24
3A	Número de semilla por vaina de cada material genético de fríjol (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) en cada una de las localidades en estudio	25
4A	Peso de 100 semillas (g) de cada material genético de fríjol (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) en cada una de las localidades en estudio	26
5A	Rendimiento (kg ha^{-1}) de cada material genético de fríjol (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) en cada una de las localidades en estudio	27

INDICE DE ANEXOS (FIGURAS)

Figura		Pág.
1A	Comportamiento de los materiales genéticos en ambientes de diferente productividad.	28
2A	Valores de humedad relativa, precipitación (PP) y temperatura (T) durante el ciclo del cultivo de frijol registrados en la localidad de San Marcos, Carazo.	29
3A	Valores de humedad relativa, precipitación (PP) y temperatura (T) durante el ciclo del cultivo de frijol registrados en la localidad de La Poma, Masaya.	29
4A	Valores de temperatura y precipitación durante el ciclo del cultivo de frijol registrados en la localidad de Las Cámaras, santa Cruz, Estelí.	30
5A	Valores de precipitación durante el ciclo del cultivo de frijol registrados en la localidad de Tomatoya, Jinotega..	30
6A	Valores de humedad relativa, precipitación (PP) y temperatura (T) durante el ciclo del cultivo de frijol registrados en la localidad de Dulce Nombre de Jesús, Darío, Matagalpa.	31

RESUMEN

El presente trabajo se realizó con el objetivo de evaluar la estabilidad y capacidad de rendimiento de seis poblaciones de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) (dos variedades mejoradas) DOR-364 e INTA-Masatepe, (cuatro variedades locales) V16, V29, V6 y V9 en seis localidades del país (Dulce Nombre de Jesús, Darío; Matagalpa; Tomatoya, Jinotega; Las Cámaras, Santa Cruz, Estelí; La Poma, Masaya; La Pita, Santo Tomás, Chontales y La Compañía, San Marcos, Carazo) El experimento consistió en un bifactorial en un diseño de Bloques Completamente al Azar (BCA). El rendimiento de los materiales genéticos se sometió al análisis de estabilidad mediante estadísticas univariadas de estabilidad y el análisis AMMI (Additive Main Effects and Multiplicative Interactions) que permitió una mejor interpretación de la interacción material genético-localidad. Los resultados significativos de dicha interacción demostraron que los materiales genéticos se comportaron de manera diferente en las distintas localidades. La variedad INTA-Masatepe según el análisis combinado de estabilidad y rendimiento, resultó superior al resto. El análisis AMMI permitió detectar interacciones positivas y negativas entre los diferentes materiales genéticos y localidades resaltando el comportamiento de DOR-364 y V9 en San Marcos (ambiente de alta productividad) y las variedades locales V29 y V16 en las localidades de Dulce Nombre, Masaya y Estelí (ambiente de baja productividad). La variedad local V6 resultó tan estable como INTA-Masatepe pero deficiente en cuanto a rendimiento. El estudio no permitió detectar una interacción específica de INTA-Masatepe con una localidad en particular.

I. INTRODUCCIÓN

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es, entre las leguminosas de grano alimenticio, la especie más importante para el consumo humano. Su producción abarca áreas diversas, pudiéndose decir con propiedad que prácticamente se cultiva en todo el mundo, siendo América latina la zona de mayor producción y consumo con más del 45% de la producción mundial, (Voyses, 2000). El frijol en Nicaragua es cultivado en diversas áreas, desde el nivel del mar hasta más de los 900 metros en la cordillera central, siendo las zonas más aptas para el cultivo las ubicadas en la región norte y la meseta central del Pacífico, en donde predominan microclimas específicos y en donde se cultiva en períodos definidos (Tapia, 1987). Además de la variabilidad ambiental, factores como diferencias en el manejo del cultivo, presencia de plagas y enfermedades, baja fertilidad de suelos y toxicidad de ciertos elementos ocasionan inconsistencia en el comportamiento de las variedades (Schawartz y Gálvez, 1980)

El comportamiento diferenciado de las variedades en los distintos ambientes en que se evalúan es lo que se ha denominado como interacción genotipo-ambiente . Dicha interacción reduce la asociación entre los valores genotípicos y fenotípicos y obliga a los fitomejoradores y agrónomos a considerar la estabilidad o adaptabilidad de los materiales (Vallejo y Estrada, 2002). Según estos mismos autores, estos dos términos son usados como sinónimos o asociados a dos conceptos diferentes: algunos autores utilizan el término estabilidad para describir un comportamiento uniforme y predecible a través del tiempo (semestres o años), o

prácticas agronómicas de un determinado genotipo en una determinada localidad. La adaptabilidad para estos mismos autores se refiere a un comportamiento uniforme y predecible de un determinado genotipo a través de distintas localidades. Otros conceptos asociados al de estabilidad son estabilidad biológica u homeostasis y estabilidad agronómica (Cubero *et al.*, 1997). Desde el punto de vista puramente genético, el primer término se refiere a la habilidad de una población en panmixia, para equilibrar su composición genética y resistir cambios repentinos es decir, un mecanismo de autorregulación del organismo que le permite estabilizarse ante las variaciones ambientales externas e internas (Vallejos y Estrada, 2002). De acuerdo al segundo concepto, un genotipo es considerado como estable si sus rendimientos son buenos en comparación con la producción potencial existente en cada ambiente del ensayo. Si esta estabilidad es demostrada para un amplio rango de ambientes se dice que este genotipo tiene una adaptación amplia o general. Si por el contrario se manifiesta frente a un limitado rango de ambientes, se dice que este genotipo tiene una adaptación específica (Cubero *et al.*, 1997).

Por lo que respecta a la interacción genético-ambiental, aunque esta ha sido reconocida como un factor que complica la identificación de individuos o poblaciones genéticamente superiores, es conveniente señalar algunos aspectos relevantes en torno a este concepto. En un sentido estricto, es la interacción entre genotipos y ambientes la que hace posible la expresión de los genes. Genes sin ciertos niveles de algunos factores ambientales como nutrimentos, temperatura etc., no tiene ningún significado práctico. Por otra parte, cada carácter de un individuo se presenta con una intensidad que depende enteramente de la interacción entre factores genéticos y ambientales. Precisamente, una de las formas en que los agrónomos tratan de incrementar el rendimiento de los cultivos es mediante la introducción de mejoras en el

ambiente, con el objeto de que la interacción intensifique, en el sentido positivo, la expresión de este carácter (Sahagun, 1992).

El presente trabajo de investigación se realizó con el objetivo de evaluar la estabilidad y capacidad de rendimiento de seis poblaciones de frijol común en seis localidades del país.

Basado en el objetivo antes mencionado se planteó como hipótesis que el rendimiento de los distintos materiales genéticos evaluados se ve afectado por la interacción genotipo-ambiente.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Localización de los ensayos

Los ensayos fueron establecidos en seis fincas de productores ubicados en diferente localidades del país (Dulce Nombre de Jesús, Darío, Matagalpa; Tomatoya, Jinotega; Las Cámaras, Santa Cruz, Estelí; La Poma, Masaya y La Pita, Santo Tomás, Chontales) y en la estación experimental “La Compañía” ubicada en San Marcos, Carazo, en la época de postrera (Septiembre y Octubre) del año 2001. Un resumen de las características de cada uno de los sitios antes mencionados se describe en la tabla 1.

Tabla 1. Valores anuales de las características topográficas, climáticas y de suelo de seis localidades de Nicaragua.

Características	Dulce Nombre	Jinotega	Estelí	Masaya	San Marcos	Santo Tomás
Topográficas y Climáticas						
Ubicación						
Latitud Norte	12° 33' 26"	13° 05' 06"	13° 07' 00"	11° 58' 48"	11° 54' 00"	12° 04' 06"
Longitud Oeste	85° 55' 12"	85° 59' 48"	86° 21' 36"	86° 06' 18"	86° 09' 00"	85° 05' 30"
Elevación (msnm)	640	1032	815	210	480	400
Temperatura Promedio (°C)	18-23	21	22	27	23	22-25
Precipitación media anual (mm)	1175	784	873	1445	1221	1717
Característica de Suelo						
PH	5.5	5.8	5.9	5.7	6.4	5.3
MO (%)	3.84	4.29	4.13	0.33	11.6	3.51
N (%)	0.19	0.21	0.2	0.01	0.57	0.71
P (ppm)	4.33	51.5	27.52	3.84	11	1.36
K (Meq/100g)	0.3	0.38	0.71	0.39	0.56	0.39
Textura	Arcilloso	Franco	Arcilloso	Franco Arenoso	Franco Limoso	Franco Arcilloso

ppm: partes por millón; MO: materia orgánica
Laboratorio de suelo (UNA)
ÍNETER 2001

2.2 Material genético

El material genético en estudio consistió en cuatro variedades locales de frijol (Tabla 2) actualmente cultivadas por agricultores y provenientes de diferentes zonas agroecológicas de Nicaragua y dos variedades mejoradas: DOR-364 e INTA-Masatepe, ambas obtenidas a partir de poblaciones del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) y evaluadas y seleccionadas por el Programa de Frijol de Nicaragua.

Tabla 2. Lugar de procedencia y color de semilla de las variedades locales de frijol

Variedades locales	Sitio de colecta	Color de semilla
V16	Santa Cruz, Estelí	Rojo
V29	Santa Lucia, Boaco	Rojo
V6	Palo Quemado, Diriomo, Granada	Rojo
V9	El Guarumo, Nandaime, Granada	Rojo

2.3 Manejo Agronómico

Con excepción de la estación experimental “La compañía” en San Marcos, Carazo y de Santo Tomás, Chontales, localidades en que la preparación del suelo se realizó de manera convencional y al espeque, respectivamente; en el resto de sitios se utilizó el arado de bueyes en la preparación del suelo. Con relación al control de malezas, éste fue similar en todos los ensayos, empleándose el control mecánico con azadón. Como fertilizante se empleó la formula completa 12-30-10 a razón de 64.7 kg ha⁻¹, en una sola aplicación al momento de la siembra. Esta dependió del criterio del agricultor no utilizándose mas de un quintal por manzana. La

cosecha se realizó de forma manual luego que cada variedad alcanzara su madurez fisiológica. Posteriormente el material cosechado fue trasladado al Programa Recursos Genéticos Nicaragüenses, adscrito a la universidad Nacional Agraria, donde se sometió a secado natural para finalmente ser aporreado.

2.4 Variables evaluadas

2.4.1 Variables agronómicas: Estas variables se evaluaron siguiendo la metodología propuesta por Muños *et al.*, (1993). El tamaño de muestra consistió en diez plantas tomadas al azar del total de plantas cosechadas.

Número de vainas por plantas: Se procedió a contar el total de vainas en la muestra de plantas estudiadas y posteriormente se determinó el valor promedio por planta.

Número de granos por vaina: Su determinación se llevó a cabo en las mismas plantas estudiadas en la variable anterior. Por cada planta de la muestra se selecciono una vaina del cuarto nudo del tallo central, luego se contabilizó el número de granos contenidos en ella y finalmente se determinó el promedio de granos por vaina.

Peso de 100 semillas: Para su cálculo se utilizaron cuatro repeticiones de 100 semillas. Posteriormente se determinó el peso. Esta variable se expresó en gramos estandarizándose a un contenido de humedad de los granos del 14%.

Rendimiento: Para su determinación se cosechó⁶ todas las plantas de la parcela útil. Los resultados se expresaron en kilogramos por hectárea previa estandarización a un contenido de humedad del grano del 14%.

2.4.2 Variables ambientales: Estas variables se pueden agrupar en dos grupos: el primero compuesto por aquellas variables relacionadas con ciertas propiedades del suelo de las diferentes localidades donde se efectuaron los ensayos (Tabla 1); y el segundo grupo estuvo conformado por ciertas variables climáticas (Temperatura promedio, precipitación acumulada y humedad relativa) que se lograron registrar con la colaboración de los agricultores mismos en cinco de las seis localidades donde se establecieron los ensayos. Los valores de dichas variables durante el ciclo agrícola se presentan en el anexo de figuras.

2.5 Diseño y dimensiones del experimento

El experimento consistió en un bifactorial (Material Genético por Localidad) en un diseño de Bloques Completos al Azar (BCA) con cuatro repeticiones, para un total de 24 parcelas en cada ensayo. Cada parcela experimental estuvo constituida por 6 surcos de 5 m de largo separados a 0.5 m para un área de 15 m² (5 x 3 m). La parcela útil consistió en los 4 surcos

centrales (área 10 m²). Las semillas se sembraron aproximadamente cada 10 cm para una densidad de 20 plantas por metro cuadrado.

2.6 Análisis estadístico

7

Para una mejor interpretación de la interacción genotipo-ambiente se realizaron una combinación de técnicas analíticas empezando por parámetros de estabilidad, seguido del análisis AMMI (Additive Main Effects and Multiplicative Interactions) lo que traducido al español sería. efectos principales aditivos e interacción multiplicativa. El paquete estadístico que se utilizó es el SAS versión 6.12, (SAS Institute 1997).

2.7 Parametros de estabilidad

2.7.1 *Varianza de estabilidad de Shukla*: Estima la varianza del genotipo a través de los ambientes en que se evalúa, se basa en los residuos de la interacción genotipo-ambiente. Se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$s_i^2 = \frac{p}{(p-2)(q-1)W_i^2} - \frac{SS(GE)}{(p-1)(p-2)(q-1)} ; \text{ en donde:}$$

Los términos de esta ecuación se describen a continuación

W_i^2 = Ecovalencia de Wright

\bar{y}_{ij} = Valor promedio observado del genotipo i en el ambiente j

\bar{y}_i = Valor promedio del genotipo i , a través de los ambientes

\bar{y}_j = Valor promedio del ambiente j , a través de los genotipos

\bar{y} = Gran media para todas las observaciones

p == Número de genotipos evaluados

q == Número de ambientes en que se evaluaron los genotipos

SS(GE) = Suma de cuadrados de la interacción genotipo-ambiente

Según este parámetro el material más estable será el que presente menor valor

2.7.2 *Coefficiente de Regresión*: Este estadístico se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$b_i = \frac{\sum_j (\bar{y}_{ij} - \bar{y}_{i\cdot})(\bar{y}_{\cdot j} - \bar{y})}{\sum_j (\bar{y}_{\cdot j} - \bar{y})^2} ; \text{ en donde } ^8$$

\bar{y}_{ij} = Valor promedio observado del genotipo i en el ambiente j

$\bar{y}_{i\cdot}$ = Valor promedio del genotipo i , a través de los ambientes

$\bar{y}_{\cdot j}$ = Valor promedio del ambiente j , a través de los genotipos

\bar{y} = Gran media para todas las observaciones

En el presente contexto, aunque se puede utilizar como un parámetro de estabilidad, el coeficiente de regresión fue utilizado para detectar aquellos materiales genéticos especialmente adaptados a ambientes de baja o alta productividad. Materiales genéticos con valores de $b < 1$ ó $b > 1$ son considerados como adaptados a ambientes de baja y alta productividad, respectivamente. Por otro lado, aquellos con valores cercanos o igual a la unidad se consideran poseer una estabilidad y un comportamiento promedio en los ambientes.

2.7.3 *Suma de rangos de Kang*:. En éste método se asigna un número de orden a cada valor de rendimiento medio, dando el valor uno al rendimiento más alto. También se asigna las ordenaciones a los valores de s_i^2 (varianza de estabilidad de Shukla), dando el valor de uno a la varianza s_i^2 más pequeña. Las dos ordenaciones se suman para cada genotipo. El valor más pequeño, resultante de esta suma, daría el genotipo más deseable en cuanto a estabilidad y rendimiento.

2.7.4 *Análisis A.M.M.I*: Estudia primeramente los efectos aditivos principales de genotipos y

ambientes por medio de un análisis de la varianza y describe la parte no-aditiva de la variación, esto es, la interacción genotipo-ambiente por medio de un análisis de componentes principales.

El modelo es:

9

$$y_{ge} = \mathbf{m} + \mathbf{a}_g + \mathbf{b}_e + \sum \mathbf{I}_n \mathbf{t}_{gn} \mathbf{d}_{en} + \mathbf{q}_{ge} ; \text{ donde:}$$

y_{ge} : Es el rendimiento del genotipo g en el ambiente e.

Los parámetros aditivos son:

\mathbf{m} : Es la media general

\mathbf{a}_g : Efecto principal debido al genotipo

\mathbf{b}_e : Efecto principal debido al ambiente

Los parámetros multiplicativos son:

\mathbf{I}_n : Es el auto valor del eje n del análisis de componentes principales

$\mathbf{t}_{gn}; \mathbf{d}_{en}$: Son los vectores propios unitarios genotípicos y ambientales, respectivamente, asociados a \mathbf{I}_n .

\mathbf{q}_{ge} : Error

III. RESULTADOS

El análisis de varianza (Tabla 1A, Sección Anexos) reflejó que tanto los efectos principales para material genético y localidades así como su interacción resultaron altamente significativos para las variables agronómicas consideradas en el presente trabajo. Los resultados a presentar van dirigidos a tratar de determinar la contribución de los materiales genéticos y de las localidades a dicha interacción reflejada principalmente en el rendimiento.

3.1 Parametros de estabilidad

En base a la varianza de estabilidad de Shukla (s^2) se puede decir que la contribución de los materiales genéticos INTA-Masatepe (variedad mejorada) y V6 (variedad local) a la interacción genotipo-ambiente fue nula, ya que en ambos materiales genéticos dicho estadístico resultó no significativo (Tabla 3). De igual manera, los materiales antes mencionados presentaron coeficientes de regresión (b_i) cercanos a la unidad, lo que indica que presentaron una estabilidad promedio en las localidades en que se evaluaron. En base al coeficiente de regresión, la variedad mejorada DOR-364 y el material genético V9 entre las variedades locales, mostraron una mejor adaptación en ambientes de alta productividad (San Marcos, Figura 1A), mientras que las variedades locales V16 y V29 lo hicieron en ambientes de baja productividad. Al combinar los criterios de estabilidad y rendimiento, la variedad mejorada INTA-Masatepe resultó ser la de mejor comportamiento de acuerdo al estadístico suma de rangos de Kang.

Tabla 3: Medición de la estabilidad del rendimiento de seis materiales genéticos de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) evaluados en seis localidades de Nicaragua

Materiales genéticos	Rendimiento kg ha ⁻¹	Varianza de estabilidad de Shukla (S^2)	Coefficiente de regresión (b _i)	Suma de rangos de Kang
DOR – 364	745.4	27218.9 ***	1.16	7
INTA-Masatepe	687.2	6812.2 ns	0.99	4
V16	536.6	17198.0 ***	0.86	8
V29	479.9	10277.0 *	0.86	8
V6	476.4	6489.9 ns	1.01	7
V9	509.3	11973.0 **	1.11	8

*, **, ***: Significante al 5, 1 y 0,1%, respectivamente; ns: no significativo

3.2 Análisis AMMI

El análisis de varianza mostró una interacción material genético-localidad altamente significativa y según el análisis de componentes principales de la misma reflejó que únicamente los dos primeros componentes principales resultaron significativos según la prueba de Gollob (Tabla 4). El primero y segundo componente de la interacción reflejan el 1.33 y el 1% de la variación total o sea el 50.1 y 37.7% de la variación debido a la interacción respectivamente.

Tabla 4. Descomposición de la varianza total debido a diferentes fuentes de variación y de la interacción material genético por localidad mediante el análisis AMMI.

12

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Significancia	Porcentaje de la variación total	
Modelo	143	49935997.16		100	
Error		1594959.88		3.20	
Bloque	3	12297.45	ns	0.02	
Material genético	5	1587109.77	*** ^a	3.10	
Localidad	5	45409055.74	*** ^a	91.0	
Material genético-localidad	25	1332574.32	*** ^a	2.70	
Descomposición de la interacción					
				Porcentaje de la interacción	
IPCA1	9	667008.4	*** ^b	1.33	50.1
IPCA2	7	502219.5	*** ^b	1.00	37.7
IPCA3	5	135844.1	ns	0.27	10.2
IPCA4	3	26282.1	ns	0.05	1.9
IPCA5	1	1220.3	ns	0.002	0.1

^aSignificancia según la prueba de Fisher (ANOVA).

^bSignificancia según la prueba de Gollob

IPCA: Interaction principal component axis (Eje del componente principal de la interacción)

3.3 Resultados de Biplot

La Figura 1 refleja la variación explicada por los efectos principales (material genético, localidad) y el primer componente principal de la interacción lo que en suma representa el 95.4% de la variación total observada. La localidad de San Marcos (SM), presentó altos valores para el primer componente principal de la interacción lo que indica que este sitio interactuó fuertemente con los materiales genéticos en estudio: positivamente con aquellos con valores IPCA1 positivos y negativamente con los materiales genéticos que presentaron valores IPCA1 negativos. Lo mismo puede decirse de las localidades Dulce Nombre (DN), Estelí (Est) y Masaya (Mas) aunque en sentido contrario a lo observado en San Marcos (SM). Con relación

a las localidades de Jinotega (Jin) y Santo Tomás (ST) sus bajos valores para IPCA1 sugiere

que estas tuvieron poca interacción con los materiales genéticos. Entre los materiales genéticos, DOR-364 e INTA-Masatepe presentaron un rendimiento superior al promedio. De ambos el primero es particularmente apropiado para la localidad de San Marcos (adaptación específica) y con respecto al segundo, este resultó ser el más estable a través de las localidades en estudio (adaptación general). Todas las variedades locales utilizadas en el presente estudio presentaron un rendimiento inferior al promedio siendo la más estable dentro de dicho grupo, en términos generales, el material genético V6, aunque el resto tendían a producir más en dependencia de la productividad de las localidades: V16 y V29 en ambientes de baja productividad y V9 en ambientes de alta productividad

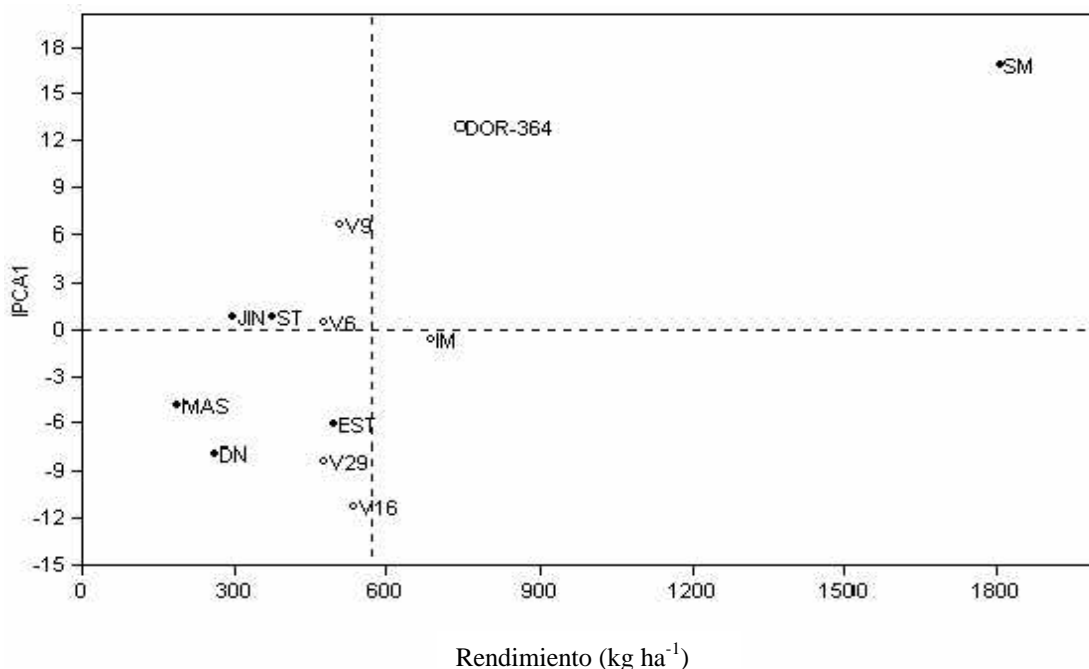


Figura 1. Valores del primer componente de la interacción IPCA1 versus el rendimiento promedio de seis materiales genéticos de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) evaluados en seis localidades.

IV DISCUSIÓN

La interacción genotipo-ambiente es un problema universal (Kang, 1998) y en términos estadísticos se interpreta como una medida del cambio del comportamiento relativo de los genotipos cuando se pasa de un ambiente a otro (Sahagun, 1992); sin embargo, más que un problema estadístico, es un problema biológico de gran interés para agrónomos y mejoradores cuando se trata de identificar variedades estables a través del tiempo y del espacio y con buen rendimiento (Lin y Binns, 1994). Para comprender la interacción genotipo-ambiente detectada en el presente trabajo es necesario analizar no sólo las variables ambientales que fueron muy diversas entre las distintas localidades en las que se realizó el ensayo, sino también se debe considerar la composición genética de los materiales que se evaluaron. En términos generales, las variedades mejoradas mostraron una superioridad en cuanto a rendimiento en todas las localidades y una mayor estabilidad agronómica que las variedades locales, lo que estuvo determinado por su mayor tolerancia a las enfermedades más comunes del frijol común. Ocón y Tapia, (1985) mencionan que entre las limitantes de mayor cuantía que reducen la productividad de las variedades locales, se encuentran patógenos de naturaleza fungosa, bacterial y viral; dicho problema persiste hoy en día y gran parte de los esfuerzos del mejoramiento de plantas van dirigidos a la búsqueda de solución de los mismos. Las variedades mejoradas portadoras de genes de resistencia a diferentes enfermedades han venido en gran parte a solucionar temporalmente dicho problema (INTA, 2000). Otra diferencia clara entre las variedades locales y las mejoradas fue lo observado en los componentes de rendimiento (Tablas de 1A a 5A, Sección Anexos). En estos, la interacción genotipo-ambiente también resultó estadísticamente significativa y el mayor rendimiento de los materiales

genéticos estuvo asociado a su mayor capacidad en producir un mayor número de vainas por planta y semillas más pesadas. Ambos ¹⁵ los estuvieron influenciados no sólo por la constitución genética de los materiales genéticos sino también por las localidades en estudio.

Entre las variables ambientales que pudieron estar influenciando a la interacción genotipo-ambiente se pueden mencionar la sequía, baja fertilidad del suelo, sobre todo en Masaya, y la alta incidencia de bacteriosis que se apreció en la localidad de Dulce Nombre de Jesús. De igual manera se debe mencionar la excepcionalidad de San Marcos en lo referente variables ambientales y de manejo del cultivo que fueron totalmente distintas al resto de localidades y que favorecieron a una mayor expresión del rendimiento de los materiales genéticos, particularmente las variedades mejoradas.

En lo referente a las variedades locales éstas interactuaron más cercanamente con las localidades en las que el cultivo se manejó de acuerdo a las prácticas empleadas por los agricultores y mostraron cierta estabilidad agronómica a medida que los ambientes mejoraban evaluado esto último por el índice ambiental. Este resultado contradice en cierta medida la creencia generalizada de que las variedades locales son homeostáticas.

El mejor comportamiento de las variedades mejoradas en la estación experimental y de las variedades locales en campos de los agricultores, no es algo nuevo y ha sido enfatizado por diversos autores (Ceccarelli *et al.*, 1987), lo que demuestra la adaptabilidad diferenciada de los mismos dependiendo del sitio donde estos han sido mejorados y/o cultivados.

V. CONCLUSIONES

En conclusión se puede decir que el presente trabajo permitió la detección de la interacción genotipo-ambiente y la cuantificación de la misma habiéndose identificado asociaciones positivas y negativas entre los materiales genéticos y las localidades. De igual manera fue posible obtener cierta información de algunas variables ambientales y genéticas que pueden explicar en parte la interacción mencionada. Entre las conclusiones más importantes se pueden mencionar las siguientes:

- Los distintos análisis realizados permitieron identificar a los materiales genéticos INTA-Masatepe (variedad mejorada) y V6 (variedad local) como los de mayor estabilidad agronómica a través de las distintas localidades evaluadas.
- La variedad mejorada DOR-364 fue la mejor en cuanto rendimiento; sin embargo, INTA-Masatepe fue clasificada como superior al incluir de manera conjunta tanto rendimiento como estabilidad. DOR-364 en el presente estudio mostró una adaptación específica a la localidad de San Marcos, por el contrario INTA-Masatepe reflejó una adaptación más general a las diferentes localidades estudiadas.
- Entre las variedades locales los materiales genéticos V16 y V29 mostraron una mejor adaptación en ambientes de baja productividad, mientras que V6 y V9 tuvieron un mejor comportamiento en ambientes de alta productividad
- Las variedades mejoradas presentaron de manera general a través de las localidades en estudio un mayor número de vainas por planta y semillas más pesadas, lo que explica en parte su mayor capacidad de producción en comparación con las variedades locales utilizadas en el presente estudio.

- Todos los materiales respondieron positivamente en cuanto a rendimiento a medida que las condiciones de producción mejoraban, aunque dicho efecto fue más marcado en las variedades mejoradas .

VI. RECOMENDACION

El principal problema con que se enfrenta el investigador al realizar este tipo de estudios es el registro de aquellas variables que ayuden a la interpretación de la interacción como es el caso de las variables ambientales y del crecimiento y desarrollo del cultivo. La disponibilidad de dicha información es valiosa, ya que puede permitir aprovechar o potenciar al máximo aquellos casos en que se detectan interacciones positivas entre los materiales genéticos y la localidad donde son evaluados. Además de esto, también dicha información puede permitir detectar las razones de las interacciones negativas y actuar en este sentido, a fin de poder controlar los factores que podrían estar afectando negativamente el rendimiento. Es por ello que recomendamos:

- Elaborar formatos sencillos para el registro de los datos.
- Capacitar a productores que participarán en este tipo de estudios.
- Contar con la colaboración de técnicos locales, ya que estos podrían mejorar grandemente el registro de las variables explicativas en caso de que se detectare una interacción significativa.

VII. LITERATURA CONSULTADA

- Ceccarelli, S; Grando S. and Van Leur J.A.G. 1987. Genetic diversity in barley landraces from Syria and Jordan. *Euphytica* 36:389-405.
- Cubero, J. I. *et. al.* 1997. Métodos estadísticos para el estudio de la estabilidad varietal en ensayos agrícolas. 176p.
- Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (INTA). 2000. Variedades de frijol rojo de alto potencial de rendimiento y tolerancia a enfermedades. Guía Tecnológica. Managua Nicaragua.
- Ineter (Instituto Nicaragüense de estudios territoriales). 2001 Datos climatológicos de las estaciones de Nicaragua.
- Kang, M.S. 1998. Using genotype-by-environment interaction for crop cultivars development. In: D.L. Sparks (ed). *Advances in agronomy*. Vol. 62. Academic Press, USA. pp 199-252.
- Lin, C.S. and Binns M.R. 1994. Concepts and methods for analyzing regional trial data for cultivar and location selection. In: J.Janick (ed). *Plant breeding reviews*. Vol. 12. John Wiley and Sons, Inc. New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore. pp 271-295.
- Muños G., Giraldo y J. Fernández de Soto. 1993. Descriptores varietales: Arroz, Frijol, Maíz y Sorgo. Centro internacional de agricultura tropical tropical. Calo Colombia. 174p.
- Ocón, I. P. y H. Tapia B. 1985. Sanidad de semillas y plantaciones de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) de cultivares criollos usados por pequeños agricultores en Nicaragua. Informe anual Managua. 304p.
- Sahagun, C. J. 1992. El ambiente, el genotipo y su interacción. *Revista de la universidad de Chapingo*, Año XVI, No. 79-89.
- Schwartz. H. F. y Gálvez, G. E. 1980. Problemas de la producción de fríjol, enfermedades, insectos, limitaciones edáficas y climáticas de *Phaseolus vulgaris* L. CIAT. Colombia. Traducido por Jorge Victoria. 423 pág.
- Tapia. B; H. 1987. Variedades mejoradas de fríjol común con grano rojo para Nicaragua. Managua, Nicaragua. ISCA. 26 P.

Vallejo,F.A. y E. I. Estrada, 2002. Mejoramiento Genético de plantas, Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira, Publicación financiada por Dipal. 402 p.

20

Voysest, V. O.200. Mejoramiento Genético del frijol (*Phaseolus Vulgaris* L.). Legado de variedades de América Latina 1930-1999/ Cali , Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical. 195p.

SECCION ANEXOS

VIII. ANEXOS

Tabla 1A. Significancia estadística y coeficiente de variación de las variables agronómicas en materiales genéticos de fríjol común (*Phaseolus vulgaris* L.)

Fuente de variación	Variables			
	Número de vainas por Planta	Número de semillas por vaina	Peso de 100 Semillas	Rendimiento
Material genético	***	***	***	***
Localidad	***	***	***	***
Material genético * localidad	***	***	***	***
CV (%)	58.03	8.22	25.52	3077.33

CV: Coeficiente de Variación; ***: Significante al 0,1%

Tabla 2A. Número promedio de vainas por plantas de cada material genético de fríjol (*Phaseolus vulgaris* L.) en cada una de las localidades en estudio.

Material genético	Dulce Nombre	Estelí	Jinotega	Masaya	San Marcos	Santo Tomás	Promedio
DOR-364	16.2	19.02	18.4	6.9	23.4	9.9	16
INTA-Masatepe	16.8	18.3	18.8	6.3	19.5	7.8	15
V16	14.1	14.04	13.5	6.6	13.4	6.02	11
V29	11.4	12.1	13.5	6.04	15.8	8.1	11
V6	10.7	12.9	11.3	7.7	17.2	8.2	11
V9	9.7	14.3	15.2	10.1	16.4	8.2	12
Promedio	13	15	15	7	18	8	

Tabla 3A. Número de semilla por vaina de cada material genético de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en cada una de las localidades en estudio

Material genético	Dulce Nombre	Estelí	Jinotega	Masatepe ²⁴	San Marcos	Santo Tomás	Promedio
DOR-364	5.9	5.9	6.1	5.2	6.5	6.2	6
INTA-Masatepe	5.5	5.0	5.2	5.1	6.1	5.3	5
V16	5.5	5.5	4.8	4.4	6.4	5.7	5
V29	5.4	5.5	5.2	4.5	6.4	5.7	6
V6	4.5	5.4	4.7	4.7	6.3	5.7	5
V9	4.7	5.8	5.0	4.9	6.5	5.6	5
Promedio	5	5	5	5	6	6	

Tabla 4A. Peso de 100 semillas (g) de cada material genético de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en cada una de las localidades en estudio

Material genético	Dulce Nombre	Estelí	Jinotega	Masaya	San Marcos	Santo Tomás	Promedio
DOR-364	14.5	20.0	21.5	19.1	22.5	19.8	19.5
INTA-Masatepe	15.6	20.9	25.1	25	23.7	20.4	20.9
V16	13.8	20.0	19.2	18.8	21.3	20.0	18.9
V29	12.6	18.9	18.9	17.2	19.5	19.8	17.8
V6	10.8	16.1	14.8	17.5	19.9	17.8	16.2
V9	10.3	16.9	16.0	15.8	19.0	17.3	15.9
Promedio	12.9	18.8	19.3	17.9	21.0	19.2	

Tabla 5A. Rendimiento (kg ha⁻¹) de cada material genético de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en cada una de las localidades en estudio

Material genético	Dulce Nombre	Estelí	Jinotega	Masaya	San Marcos	Santo Tomás	Promedio
DOR-364	426.3	523.6	582.6	204.6	2189.9	545.5	745.4
INTA-Masatepe	467.5	523.1	440.1	36 ²⁶	1944.2	380.0	687.2
V16	400.7	507.8	290.1	15 ²⁶	1601.7	267.8	536.6
V29	177.1	464.7	216.0	102.8	1537.5	381.3	479.9
V6	47.0	471.8	126.2	168.4	1718.0	327.2	476.4
V9	55.3	490.4	135.8	144.9	1866.7	364.1	509.1
Promedio	262.3	496.9	298.5	191.8	1809.7	377.7	572.5

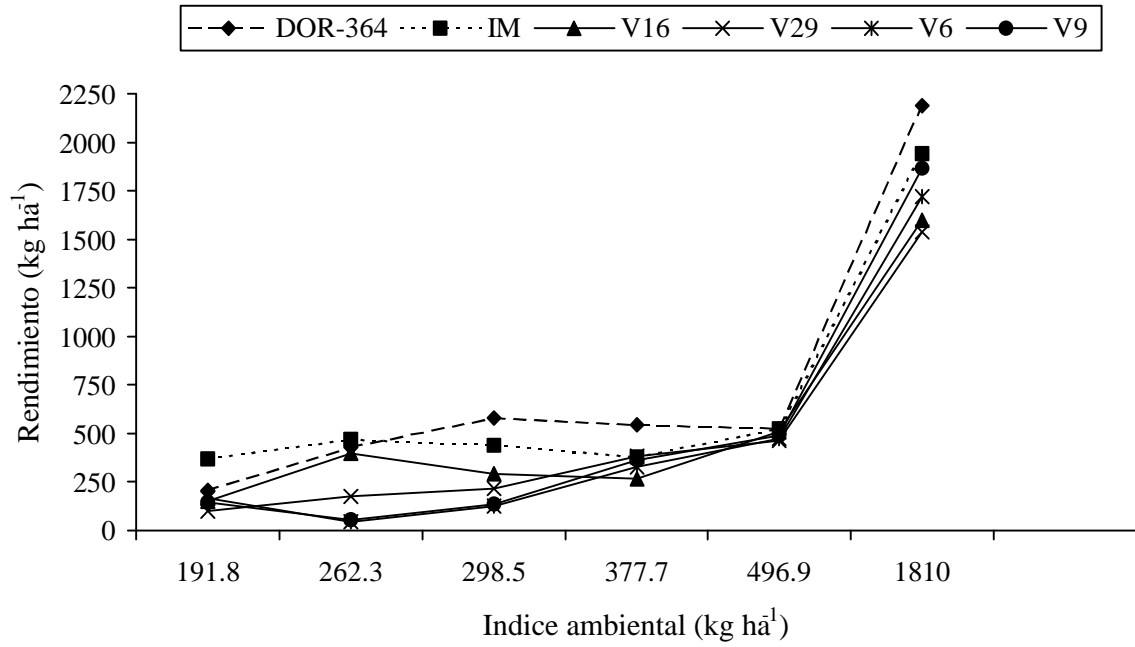


Figura 1A. Comportamiento de los materiales genéticos en ambientes de diferente productividad

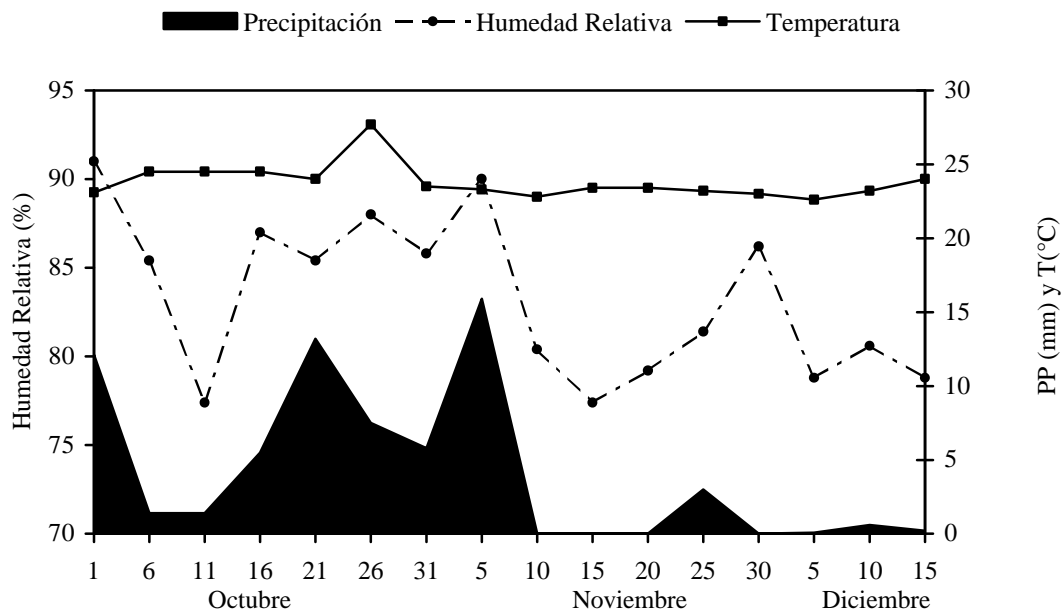


Figura 2A. Valores de humedad relativa, precipitación (PP) y temperatura (T) durante el ciclo del cultivo de frijol registrados en la localidad de San Marcos, Carazo.

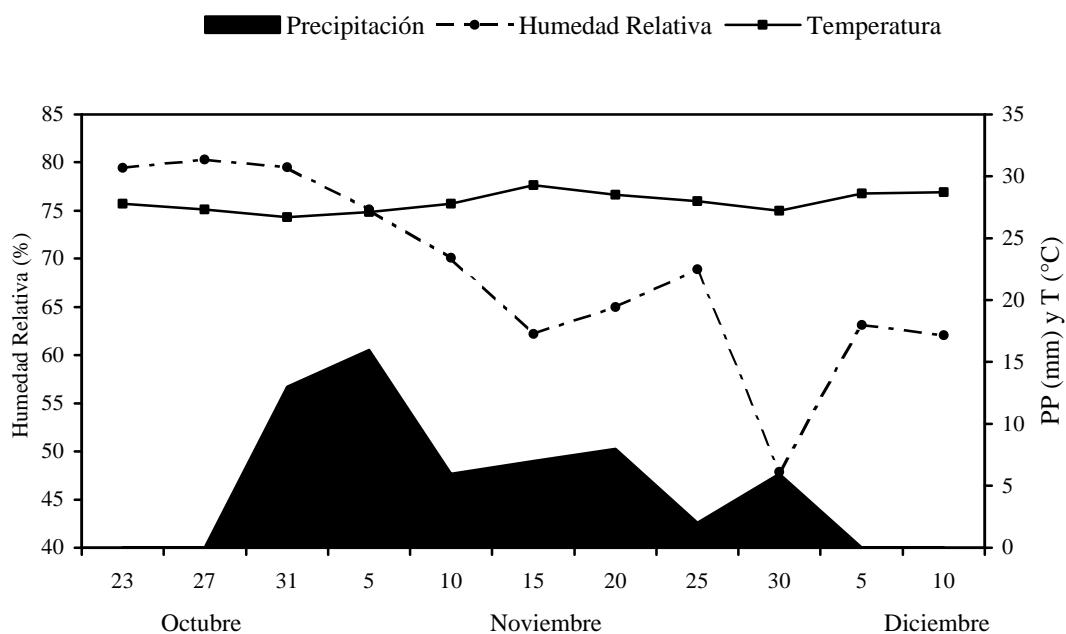


Figura 3A. Valores de humedad relativa, precipitación (PP) y temperatura (T) durante el ciclo del cultivo de fríjol registrados en la localidad de La Poma, Masaya

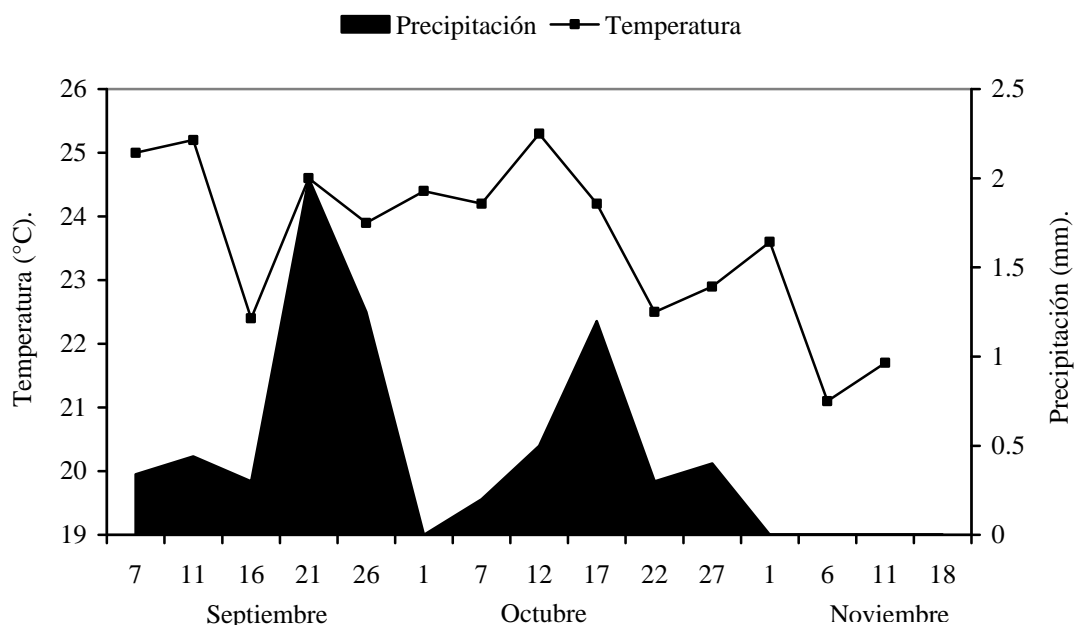


Figura 4A. Valores de temperatura y precipitación durante el ciclo del cultivo de fríjol registrados en la localidad de Las Cámaras, santa Cruz, Estelí.

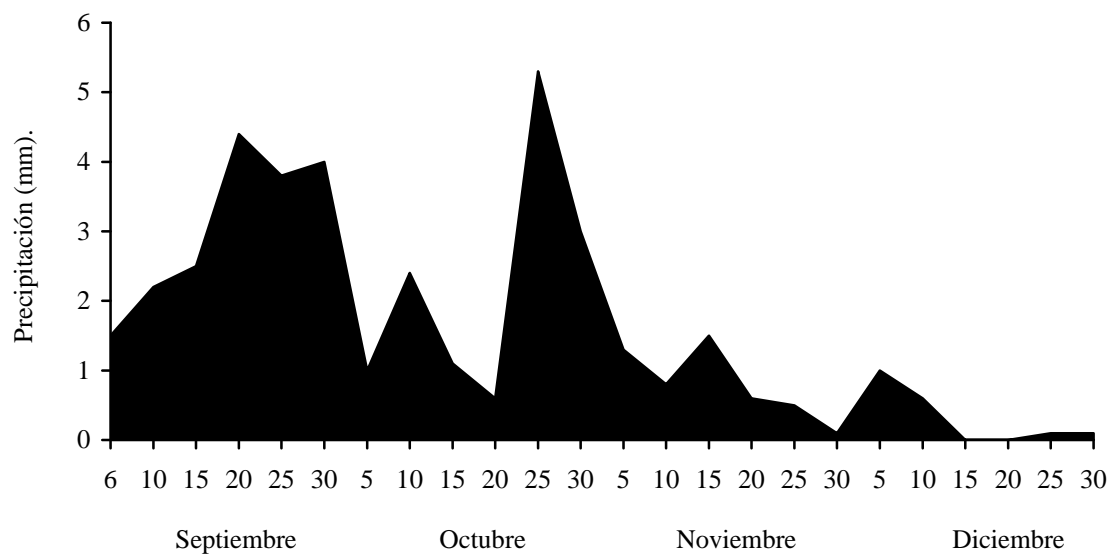


Figura 5A. Valores de precipitación durante el ciclo del cultivo de fríjol registrados en la localidad de Tomatoya, Jinotega..

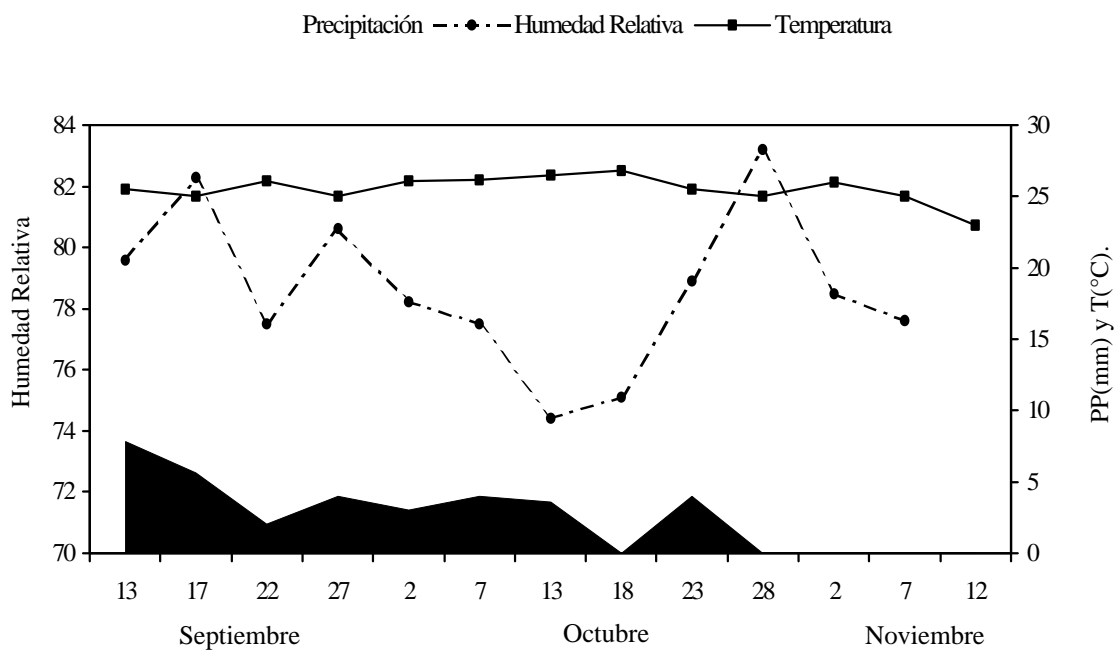


Figura 6A. Valores de humedad relativa, precipitación (PP) y temperatura (T) durante el ciclo del cultivo de fríjol registrados en la localidad de Dulce Nombre de Jesús, Darío, Matagalpa.