

INTENTO METODOLOGICO PARA CUANTIFICACION DE LA ESTABILIDAD EN GENOTIPOS DE MAIZ (*Zea mays* L.) Y DEL EFECTO DE LA PRECIPITACION DURANTE EL PERIODO DE FLORACION.

Por: Jorge A. Escobar Girón *

Jaime E. Muñoz Flórez **

José G. Cruz Cerón **

I. INTRODUCCION.

A. El carácter del trabajo.

El carácter del presente trabajo es metodológico y de investigación básica, en el cual se aprovechó la información contenida en los libros "Resúmenes del Programa de Maíz y Sorgo" de la Regional 5 Palmira, del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), programa con cerca de 30 años de existencia.

Aunque la información disponible obedeció a las necesidades del Programa, los autores intentan aprovechar los resultados experimentales de varios genotipos de maíz, en diferentes semestres, para tratar de plantear una metodología que permita cuantificar la estabilidad de los mismos.

B. El problema en Estudio y su Justificación.

Se considera como "buen material" aquel que puesto en las mejores condiciones rinde el máximo, es decir, se pretende que el material demuestre todo su potencial genético. Sin embargo, desde el punto de vista práctico dicha concepción ha implicado un uso creciente de insecticidas, herbicidas, riego, fertilizantes, etc., para reproducir a nivel del agricultor las "mejores condiciones" y así maximizar la producción.

El agricultor empresarial con capital ilimitado ha acogido en relativo corto plazo, los diferentes materiales generados, bajo tal concepción, pero no podría decirse lo mismo de los agricultores de las zonas de ladera y de subsistencia, aunque se desconoce él o los criterios de decisión de tales agricultores para la siembra de uno u otro material.

Ante el carácter impredecible de las condiciones meteorológicas que imperan en un semestre, el agricultor que no dispone de equipo de riego, inconcientemente confía en la adaptabilidad genética de "su" material para soportar variadas condiciones de clima.

* Profesor U. Nacional Palmira

** Estudiantes de pre-grado U. Nacional Palmira

Jurado: Fernando Arboleda R., I.A., Ph.D; Humberto Arango B., I.A., M.Sc. y Nelson Castellar P., I.A.

El fitomejorador estará interesado en producir, y a su vez el agricultor en recibir, materiales no solo con alto rendimiento sino también estables en su producción bajo las diferentes condiciones de clima que suelen presentarse en un medio ecológico dado. Existe creciente interés de los mejoradores en suministrar materiales adaptables a una amplia gama de condiciones de clima, lo cual plantea y justifica la necesidad de buscar y desarrollar metodologías que permitan evaluar la estabilidad de los materiales entregados (o progenitores a emplear), búsqueda iniciada con los trabajos de Plaisted y Petterson (3) y continuada por Finlay y Wilkison (2).

C. Objetivos.

Tomando como base nueve genotipos empleados como testigos experimentales en ensayos de rendimiento en el programa de Maíz, la información disponible y la metodología desarrollada se plantearon dos objetivos:

1. Empleando un modelo jerárquico definido con categorías de: semestres, experimentos dentro de semestres y parcelas dentro de experimentos dentro de semestres, y bajo la concepción de efecto aleatorio (Modelo tipo II), se estima el componente de varianza debida a semestres y la varianza total, como índice o medida de la estabilidad de cada material, lo cual permite el juzgamiento interno y la comparación cuantitativa entre los nueve materiales.

2. Aunque se reconocen las numerosas y complejas variables que componen y definen un ambiente en particular, en los trabajos revisados el ambiente involucra una serie grande de factores no especificados en concreto, ni mucho menos cuantificados en su magnitud. Se pretende estudiar y cuantificar el porcentaje de la variación en la producción entre semestres de cada material, que es explicable por la precipitación caída en el periodo alrededor de la floración, empleando modelos polinomiales de potencias enteras y fraccionarias.

II. MATERIALES Y METODOS.

A. Obtención de la información básica.

1. Criterios de selección de materiales.

La pauta básica de selección fué la abundancia de información sobre materiales empleados como "testigos" experimentales en el programa de Maíz durante el período de 1952 - 1959, época para la cual no se disponía de equipo de riego.

Se incluyeron genotipos que aparecían en cinco o más semestres (no necesariamente consecutivos) y se homogenizó, por conveniencia para el análisis estadístico, el número de experimentos por semestre teniendo en cuenta la uniformidad en las fechas de siembra y de floración, aceptando en ésta una oscilación máxima de cinco días entre parcelas de un material en un mismo semestre.

2. Información recolectada.

a. Respecto a los materiales.

Los ensayos de rendimiento se habían conducido en diseños experimentales de Látice simple o Bloques al azar, con cuatro repeticiones. La unidad experimental constaba de 20 ó 24 sitios, cada sitio con área de 0.846 m².

Los autores se ciñeron a los criterios y sistemas evaluativos definidos por la sección de Maíz. Los datos extractados de los libros "Ensayos de Rendimiento" y "Sumario de Ensayos de Rendimiento", se consignaron en formatos especialmente diseñados, así:

1. Identificación del experimento
2. Localización (año, semestre, lote)
3. Fecha de siembra de cada experimento.
4. Fecha de floración de cada parcela
5. Población (número de sitios por parcela)
6. Rendimiento por parcela de cada experimento: Peso húmedo, porcentaje de humedad, peso seco (corregido al 15 o/o) y peso seco corregido (por plantas faltantes).

La distribución de datos en las 2.588 parcelas experimentales con información se resumen en la Tabla I.

TABLA I

DISTRIBUCION DE DATOS EN LAS PARCELAS EXPERIMENTALES

No.	MATERIAL	No.SEM.	EXP/SEM.	TOTAL PARCELAS
1	BLANCO COMUN	15	8	480
2	ETO	14	8	448
3	ROCOL V-101	14	8	448
4	DIACOL H-251	9	7	252
5	ROCOL H-203	7	8	224
6	ROCOL H-201	5	8	160
7	L 25 x L 315	5	8	160
8	L 1 x L 21	6	8	192
9	L 38 x L 36	7	8	224

La uniformidad exigida en la fecha de siembra y época de floración, además del concepto de "testigo", dinámico en el tiempo, impidió obtener un grupo más amplio de materiales y que estuviesen presentes, exactamente en los mismos semestres agrícolas del período considerado.

b. Respecto al clima

Se recolectó la precipitación diaria entre el 1o. de enero de 1952 y el 31 de diciembre de 1959 de los archivos de la Estación Meteorológica del ICA - Palmira, considerándola como representativa ya que los lotes experimentales se encuentran a una distancia menor de 500 m.

B. Metodología de análisis de la Información

1. Cuantificación de la estabilidad.

Para los rendimientos (ton/ha) de cada uno de los materiales de maíz se realizó un análisis de varianza conforme al modelo:

$$Y_{ijk} = U + S_i + E_{J(i)} + P_{k(j(i))}$$

En donde:

Y_{ijk} = Rendimiento (ton/ha) de la K-ésima parcela en el J-ésimo experimento en el semestre i-ésimo.

U = Rendimiento promedio del material.

S_i = Efecto de semestre ($U_{i.} - U$) (atribuible a las variaciones del clima). Se distribuye $N(0, \sigma_s^2)$.

$E_{J(i)}$ = Efecto de experimentos dentro de un mismo semestre ($U_{ij.} - U_{i.}$) (atribuibles a lotes diferentes, manejos diferentes, etc.) Se distribuye $N(0, \sigma_e^2)$.

$P_{k(j(i))}$ = Efecto de parcelas dentro de un mismo experimento en un mismo semestre ($Y_{ijk} - U_{ij.}$), atribuible a cambios en suelo, ataque diferencial de plagas, etc.) Se distribuye $N(0, \sigma_p^2)$.

Por intermedio de la unidad de Biometría del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) se envió la información para ser procesada en el computador del Departamento Nacional de Estadística (DANE).

FUENTES DE VARIACION	G.L.	S.C.	C.M.	E(CM)
Entre semestres	(s-1)	SCS	CMS	$6_p^2 + p 6_e^2 + pe 6_s^2$
Entre exper./semest.	s(e-1)	SCE	CME	$6_p^2 + p 6_e^2$
Entre parc./exp./sem.	se(p-1)	SCP	CMP	6_p^2
Total _(c)	sep-1	SCT		

s ⇒ número de semestres en que aparecía un material.

e ⇒ número de experimentos dentro de un mismo semestre.

p ⇒ número de parcelas o repeticiones en un mismo experimento.

E(CM) ⇒ esperanza matemática del cuadrado medio

Fig. 1 Esquema del análisis de varianza para el modelo jerárquico propuesto

En el modelo jerárquico se estimaron los diferentes parámetros bajo la concepción de efectos aleatorios (Modelo Tipo II) estimado cada uno de los Componentes de Varianza como se especifica a continuación:

CMP estima a 6_p^2 componente de varianza debida a parcelas.

CME estima a $(6_p^2 + p 6_e^2)$, por tanto $(CME - CMP) / p$, estima a 6_e^2 componente de varianza debida a experimentos.

CMS estima a $(6_p^2 + p 6_e^2 + p e 6_s^2)$, por lo tanto $(CMS - CME) / pe$ estima a 6_s^2 componente de varianza debida a semestres.

La varianza total $V_{(t)}$ debida a variaciones de suelo, manejo, clima, estará dada por, la suma de los componentes parciales:

$$V_{(t)} = 6_p^2 + 6_e^2 + 6_s^2$$

El valor estimado de U, promedio general de producción de un material en los semestres considerados, indica la capacidad productora; el valor del componente de varianza debida a semestres (6_s^2) y la varianza total ($V_{(t)}$) reflejan el efecto que el medio ambiente tiene sobre un material de maíz y por lo tanto se pueden considerar como medidas de su estabilidad. Para un adecuado juzgamiento es conveniente que los materiales seleccionados estén presentes en los mismos semestres agrícolas.

Los valores estimados de U y de $\hat{\sigma}_s^2$ (o $V_{(t)}$) permitirán el juzgamiento interno y la comparación cuantitativa entre los materiales seleccionados para el presente estudio.

2. Efectos del clima.

a. Comparación entre y dentro de semestres.

Los agricultores del área de Palmira, consideran el segundo semestre del año agrícola superior al primero. Esta opinión está reforzada por algunos resultados experimentales de rendimiento comparativo obtenidos por el ICA.

No parece existir homogeneidad en las condiciones de clima dentro de un mismo semestre. Quizás existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias de producción correspondientes a semestres A (ó semestres B).

Para dilucidar las anteriores consideraciones, se descompuso en tres partes la Suma de Cuadrados de Semestres: (I) semestres A Vs. B; (II) dentro Semestres A; (III) dentro de semestres B, para probar las siguientes tres hipótesis estadísticas, respecto a las medias de producción de cada uno de los materiales:

$$(I) \quad H_{01}: U_A = U_B$$

$$H_{a1}: U_A \neq U_B$$

$$(II) \quad H_{02}: U_1 = U_2 = \dots = U_g / \text{semestre A.}$$

$$H_{a2}: \text{Algunas medias son diferentes a otras/semestre A.}$$

$$(III) \quad H_{03}: U_1 = U_2 = \dots = U_r / \text{semestre B.}$$

$$H_{a3}: \text{Algunas medias son diferentes a otras/semestre B.}$$

Si se rechazan las hipótesis nulas planteadas, al menos para la mayoría de los materiales, serán válidos los planteamientos iniciales.

b. Efecto de la precipitación.

En esta sección se intentan explicar, al menos parcialmente, las variaciones en la producción de un material en los distintos semestres, mediante los cambios en la precipitación ocurrida tanto en el semestre agrícola como en el período alrededor de la floración.

De acuerdo al criterio del Programa de Maíz, la fecha de floración de una parcela es aquella en que aproximadamente un 50 o/o de las plantas exhiben la inflorescencia femenina con presencia de cabellos (estigmas).

Se definió la fecha de floración única para los experimentos de un material en un mismo semestre, tomando un promedio aritmético de las fechas de floración de las diferentes parcelas y para los casos de mayor uniformidad se escogió simplemente la moda (fecha de mayor frecuencia).

En la Tabla II se presenta una síntesis de las fechas de floración y producción (Kg/Ha) en los semestres con información disponible para cada uno de los materiales.

Se produjeron inicialmente 17 arreglos diferentes en cuanto a duración de hipotéticos períodos críticos, tomando tanto períodos simétricos (por ejemplo, 15 días antes y 15 días después de la floración), como períodos asimétricos (por ejemplo, 8 días antes y 15 días después de la floración).

Teniendo en cuenta la información obtenida mediante la Revisión de Literatura y los criterios de investigadores en maíz de reconocida experiencia (*) se produjeron los arreglos de la Figura 2.

En base a los registros pluviométricos diarios se procedió a evaluar la precipitación acumulada en cada uno de los hipotéticos períodos críticos, la precipitación durante el día de la floración se consideró como parte de la lluvia ocurrida después de la floración.

1. Método gráfico.

Desconociendo la forma de la relación funcional que pudiera existir entre los rendimientos y la precipitación, se hizo una exploración inicial del comportamiento en base al método gráfico. Teniendo en cuenta los promedios de producción por semestres para cada uno de los materiales seleccionados y las precipitaciones acumuladas para cada uno de los 17 arreglos establecidos, se elaboraron los respectivos diagramas de dispersión que permitieron observar tendencias generales y vislumbrar tanto potenciales modelos a ser ajustados, como seleccionar los arreglos que sistemáticamente presentaban mejores relaciones entre los factores en estudio.

(*) Dres. Daniel Sarria V., y Samuel Muñoz G., Investigadores del Programa de Maíz y Sorgo, ICA -Palmira, (comunicación personal).

TABLA II

**MATERIALES EMPLEADOS, SEMESTRES CON INFORMACION DISPONIBLE,
FECHAS DE FLORACION Y PRODUCCION (Kg/Ha) POR SEMESTRE**

SEMESTRE	52 B	53 A	53 B	54 A	54 B	55 A	55 B
BLANCO COMUN	11/12 ^a	8/6	1/12	27/5	8/12	28/5	15/12
MATERIAL.	4.098	4.435	5.174	3.583	6.101	5.114	5.280
ETO	13/12	12/6	4/12	2/6	-	31/5	19/12
	5.143	4.934	5.175	3.846	-	5.174	5.078
ROCOL V-101	15/12	14/6	4/12	3/6	13/12	1/6	20/12
	5.009	5.252	6.263	4.249	6.817	6.735	6.859
DIACOL H-251	-	-	-	-	-	1/6	-
	-	-	-	-	-	6.159	-
ROCOL H-203	-	-	4/12	1/6	-	30/5	12/12
	-	-	5.564	3.804	-	5.630	5.507
ROCOL H-201	13/12	8/6	2/12	30/5	10/12	-	-
	5.595	5.934	5.870	4.572	6.643	-	-
L25 x L315	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-
L1 x L21	-	9/6	3/12	28/5	11/12	27/5	16/12
	-	5.895	4.766	3.637	5.109	5.763	5.527
L38 x L36	-	-	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-	-	-

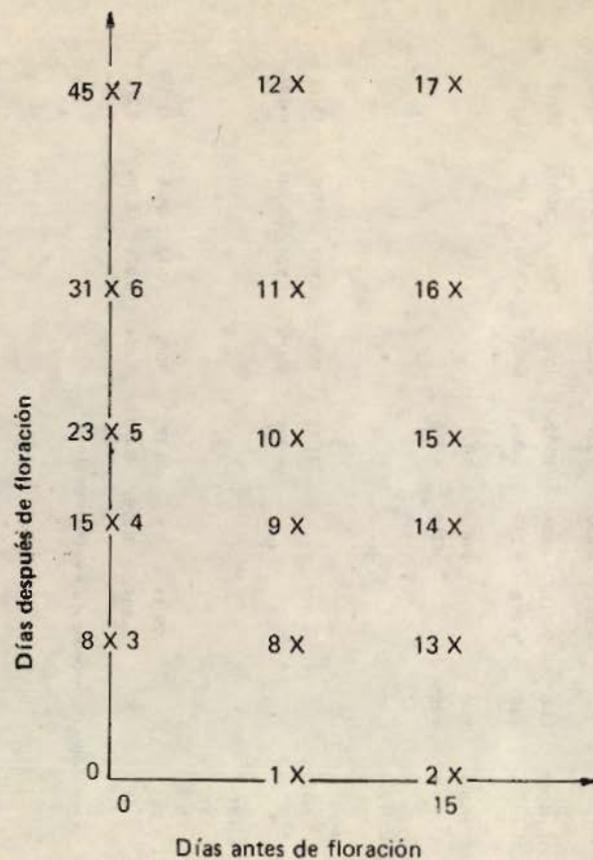
* El primer número corresponde al día y el segundo al mes.

TABLA II(Cont.)

MATERIALES EMPLEADOS, SEMESTRES CON INFORMACION DISPONIBLE,
FECHAS DE FLORACION Y PRODUCCION (Kg./Ha) POR SEMESTRE

SEMESTRE	56 A	56 B	57 A	57 B	58 A	58 B	59 A	59 B
MATERIAL								
BLANCO COMUN	7/6 ^a 4 824	24/11 3 148	3/6 3 824	3/12 4 682	6/6 4 205	4/12 4 194	20/6 4 065	8/12 3 862
ETO	13/6 6 210	30/11 5 343	9/6 4 875	9/12 5 363	10/6 5 115	9/12 4 748	24/6 5 546	11/12 5 632
ROCOL V 101		4/12 4 864	11/6 4 990	11/12 5 331	13/6 5 606	13/12 4 898	27/6 5 427	14/12 6 136
DIACOL H 251	14/6 4 897	29/11 5 781	10/6 5 213	10/12 5 395	13/6 5 654	13/12 4 975	28/6 5 194	15/12 5 118
ROCOL H 203	12/6 4 785		8/6 4 299	9/12 4 366				
ROCOL H 201								
L25 x L315				11/12 6 205	13/6 6 175	13/12 5 828	27/6 5 704	15/12 6 635
L 1 x L21								
L 38 x L 36		29/11 5 867	8/6 5 226	9/12 6 470	10/6 5 894	10/12 5 025	25/6 6 284	12/12 6 279

El primer número corresponde al día y el segundo al mes.



Arreglo No.	Duración del periodo crítico	
	Días antes	Días después
de la floración		
1	8	0
2	15	0
3	0	8
4	0	8
5	0	23
6	0	31
7	0	45
8	8	8
9	8	15
10	8	23
11	8	31
12	8	45
13	15	8
14	15	15
15	15	23
16	15	31
17	15	45

Fig. 2 Alternativas consideradas para diferentes arreglos en cuanto a duración del periodo crítico de floración

2. Método estadístico.

En base al conocimiento adquirido en el punto anterior, se pasó a estudiar el problema en base a métodos estadísticos empleando técnicas de regresión.

Por facilidad de manejo y de estimación de parámetros mediante el método de mínimos cuadrados, se postularon seis modelos pertenecientes a dos familias de funciones del siguiente tipo:

$$i. \quad \bar{Y}_i = \alpha + BX_i^e + \delta_i$$

$$ii. \quad \bar{Y}_i = \alpha + BX_i^e + \gamma X_i^{2e} + \delta_i$$

En donde: \bar{Y}_i = producción promedio de un material en el i-ésimo semestre.

X_i = precipitación ocurrida en el i-ésimo semestre en la alternativa considerada.

α, B, γ = parámetros a ser estimados.

e = exponente que toma valores de 0,50; 0,75; 1,00

δ_i = desviación de regresión (falta de ajuste).

Mediante el análisis de varianza de la regresión se descompuso la suma de cuadrados de semestres en dos partes: una correspondiente a la regresión o modelo ajustado y otra a las desviaciones de la regresión o falta de ajuste.

Se pretende que en una alternativa o arreglo adecuado, un "buen" modelo para expresar la relación funcional entre las medias de producción semestrales y la precipitación en el período de floración, es aquel que capte con pocos grados de libertad la mayor cantidad de Suma de Cuadrados, debiendo resultar en la prueba de F: Modelo "significativo" y la Falta de Ajuste "No significativa".

Se hicieron las respectivas Pruebas de Hipótesis sobre los coeficientes y se calculó el Coeficiente de Determinación (R^2), como la relación: Suma de Cuadrados de Regresión/Suma de Cuadrados de Semestres, el cual medirá el o/o de la variación en las producciones Semestrales que es explicada por la variación en la precipitación en cada alternativa o arreglo considerado.

III. RESULTADOS Y DISCUSION.

A. Cuantificación de la estabilidad.

El análisis de varianza permitió probar dos hipótesis nulas respecto a los componentes de semestres y experimentos:

$$H_{o(1)} : \sigma_s^2 = 0 \quad \text{y} \quad H_{o(2)} : \sigma_e^2 = 0$$

$$H_a : \sigma_s^2 > 0 \quad \quad \quad H_a : \sigma_e^2 > 0$$

dando como resultado el rechazo de tales hipótesis en todos los materiales, usando niveles de significancia de 1 y 50/o (TablaII). Se comprueba estadísticamente una vez más que los cambios en producción de un material están relacionados tanto con las condiciones climatológicas de los semestres como de los lotes experimentales, aún tratándose de sitios relativamente próximos entre sí.

El hecho de rechazar las hipótesis nulas planteadas permite una estimación razonable de los componentes de varianza de semestres, experimentos y parcelas, para calcular posteriormente la varianza total. En la Tabla IV se presenta un resumen de los resultados para los nueve materiales.

En general los valores de σ_s^2 oscilaron entre 0,1002 para L25 X L315 lo cual lo ubica como el material más estable respecto al clima, hasta 0,6507 para L 1 X L21 el material estudiado más heterogéneo respecto al clima. En cuanto a la varianza total (suelo, manejo, clima) el DIACOL H-251 (0,7344) seguido por el híbrido simple L 25 X L 315 (0,8710) aparecen como los materiales más estables en contraposición a ROCOL V-101 (1,6139) y ROCOL H-201 (1,4734).

Puesto que el comportamiento de los materiales en cuanto a estabilidad está controlado genéticamente, la explicación debe buscarse en las genealogías (*). Conviene recordar que el material estable ETO tiene su origen en la mezcla de 11 cruzamientos fraternos provenientes de combinaciones múltiples entre Colombia 1 y germoplasma extranjero (Estados Unidos, Venezuela, Puerto Rico, México, Brasil, Cuba y Argentina).

En los híbridos sencillos L25 X L315: L38 X L36 y en el híbrido doble DIACOL H-251, que tiene su origen en el cruzamiento de (L314 X L315) X (L316X L317), intervienen algunas de las líneas de maíz seleccionadas como superiores por el programa de la Estación Tulio Ospina (Medellín - Colombia) y en las cuales los materiales ETO y Colombia 2 estaban implicados.

En los híbridos sencillos L1 X L21 (inestable) y en el híbrido doble ROCOL H-203 proveniente de (L31 X L33) X (L 1 X L32) intervienen líneas de material extranjero de Venezuela y Brasil.

La variedad ROCOL V-101 catalogada como inestable, tiene su mejor adaptación entre cero y 600 m.s.n.m. ya que corresponde a la serie 1, desarrollada en Turipaná - Cereté a 50 m.s.n.m. y es un cruce intervarietal BLANCO COMUN X ROCAMEX V-250 más selección.

(*) Dr. Fernando Arboleda R. (comunicación personal).

TABLA III

RESUMEN DE LOS ANALISIS DE VARIANZA BAJO MODELO JERARQUICO PARA RENDIMIENTO (TON/HA)

	BLANCO COMUN		ETO		ROCOL V-101		DIACOL H-251		ROCOL H-203	
	G.L.	CM	G.L.	CM	G.L.	CM	G.L.	CM	G.L.	CM
ENTRE SEMESTRES	14	18,8413**	13	8,9506**	13	21,8079**	8	4,7992	6	17,1766**
ENTRE EXP./SEM.	105	0,9156*	98	1,3501*	98	1,4300*	54	0,9256*	49	1,4281*
ENTRE PAR/EXP/SEM.	360	0,3867	336	0,6683	336	0,8261	189	0,4862	168	0,4929
TOTAL _(c)	479		447		447		251		223	

* Significancia al nivel de 0.05 de probabilidad.

** Significancia al nivel de 0.01 de probabilidad.

TABLA III (Cont.)

RESUMEN DE LOS ANALISIS DE VARIANZA BAJO EL MODELO JERARQUICO PARA RENDIMIENTOS (TON/HA).

	ROCOL H-201		L 25 X L 315		L 1 x L 21		L 38 X L 36	
	G.L.	CM	G.L.	CM	G.L.	CM	G.L.	CM
ENTRE SEMESTRES	4	18,0241**	4	4,2619**	5	22,4316**	6	9,7476**
ENTRE EXP./SEM.	35	1,5923**	35	1,0562*	42	1,6085**	49	0,9414*
ENTRE PAR/EXP./SEM	120	0,7491	120	0,6758	144	0,4193	168	0,5726
TOTAL (c)	159		159		191		223	

* Significancia al nivel de 0,05 de probabilidad

** Significancia al nivel de 0.01 de probabilidad

TABLA IV
RESUMEN DE RESULTADOS DEL MODELO JERARQUICO
PARA LOS DISTINTOS MATERIALES

No.	MATERIAL	SEM.	Total Observ.	\hat{U} (Ton-Ha)	\hat{V}	$\hat{\sigma}_s^2$	o/o
1	BCO.COMUN	15	480	4,439	1,0728	0,5539	51,63
2	ETO	14	448	5,519	1,0763	0,2375	22,07
3	ROCOL V-101	14	448	5,602	1,6139	0,6368	39,45
4	DIACOL H-251	9	252	5,376	0,7344	0,1383	18,40
5	ROCOL H-203	7	224	4,846	1,2134	0,4899	40,37
6	ROCOL H-201	5	160	5,723	1,4734	0,5135	34,85
7	L 25 X L 315	5	160	6,109	0,8710	0,1002	11,50
8	L 1 X L 21	6	192	5,116	1,3673	0,6507	47,59
9	L 38 X L 36	7	224	5,864	0,9400	0,2752	29,27
PROMEDIO SIMPLE				5,395	1,1513	0,3996	
PROMEDIO PONDERADO.				5,427 ^a	1,1690 ^b	0,4182 ^c	

- a. El número total de parcelas de cada material fué el factor de ponderación.
- b. Los grados de Libertad asociados al total en el Análisis de Varianza. (sep-1) fueron el factor de ponderación.
- c. Los grados de libertad asociados a semestres. (s-1) fueron el factor de ponderación.

Desde el punto de vista práctico no solo interesa la mayor estabilidad sino también la mayor producción; se procedió a realizar una combinación de estos dos importantes criterios y ubicar espacialmente a cada material sobre los ejes cartesianos, en base a las coordenadas $(\bar{U}, \hat{\sigma}_s^2)$.

Como todos los valores de coordenadas son positivos, se tomó el valor promedio de las estimaciones de rendimiento y el valor promedio de las estimaciones del componente de varianza debida a semestres, y éstas sirvieron como nuevo centro (traslación de ejes), definiendo los nuevos cuadrantes que sirven de base para la clasificación de cada material en una de cuatro categorías con significado agronómico diferente, como se especifica en la Fig. 3.

La ubicación espacial de los materiales en los cuadrantes se vió poco afectada si se toma el promedio de la varianza total en vez del componente de varianza de semestres, excepción hecha para el BLANCO COMUN que de acuerdo a la varianza total quedaría en cuadrante III. (Véase Fig. 4).

Debe pensarse que la inestabilidad con relación al clima podría ser eventualmente suplida con riego por agricultores empresariales: constituyéndose la "estabilidad" asociada al clima en una condición muy deseable para agricultores de subsistencia. Los híbridos simples L25 X L315 y L38 X L36, dadas sus características de alta producción y gran estabilidad en sus rendimientos se constituyen en material básico para la formación de híbridos dobles promisorios.

El anterior resultado se corrobora en la práctica con el híbrido doble ICA H-207, material obtenido en Palmira en el año 1963 caracterizado por sus altos rendimientos que lo hacen uno de los maíces más solicitados por los agricultores y que precisamente tiene en su conformación genealógica la contribución del híbrido simple L38 X L36.

En resumen, los programas de mejoramiento se orientan hacia la creación de genotipos de alto rendimiento, y que reúnan características tales como adaptabilidad a diferentes condiciones ambientales, de tal manera que haya una tendencia a la homogenización de los rendimientos, relativamente independiente del clima.

El primer paso que se da en un Centro de Investigación de mejoramiento, consiste en la recolección y valoración de variedades autóctonas y extranjeras, las cuales presentan en su mayoría una formación natural y constituyen el material básico para futuros trabajos de mejoramiento.

Luego de la anterior etapa, y para el caso específico del maíz, se trata de obtener líneas por medio de autofecundaciones de variedades promisorias seleccionadas, obteniendo la identificación y selección de líneas endocriadas superiores que posteriormente van a constituir variedades sintéticas o híbridos comerciales (de forma

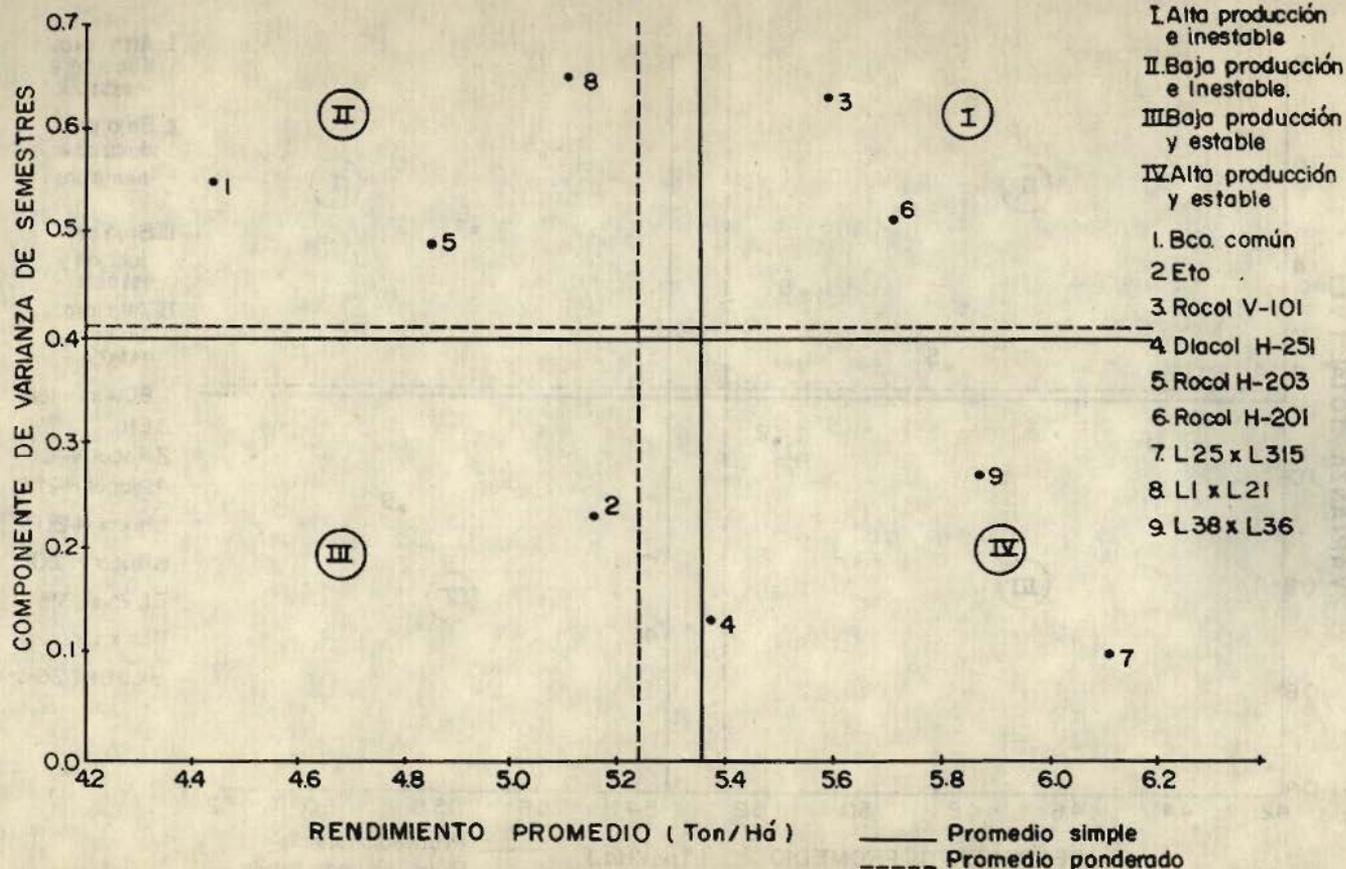


FIG.3.— Ubicación espacial de los materiales según su estabilidad y rendimiento en base a promedios (simples y ponderados) del componente de varianza de semestre y rendimiento.

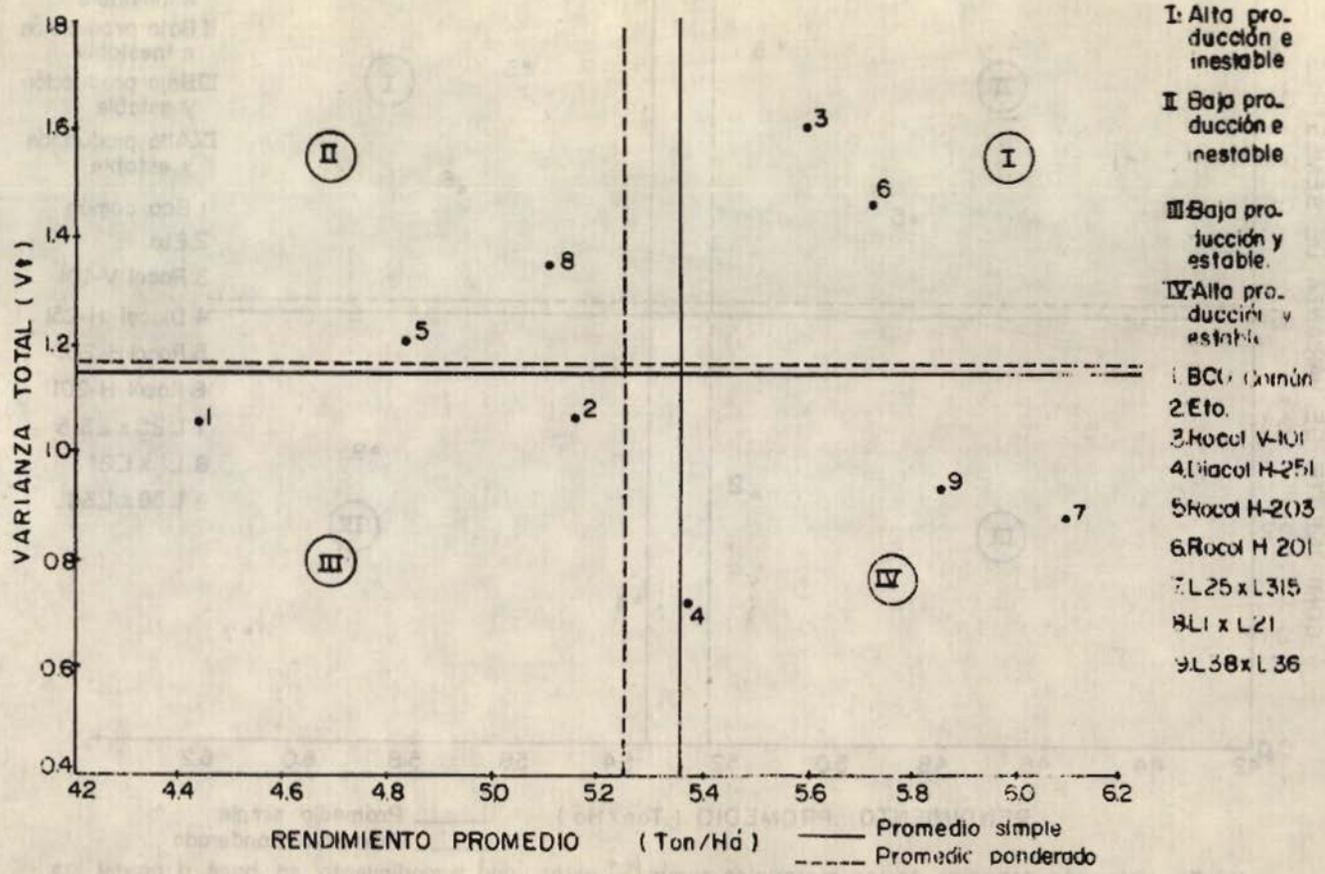


FIG.4 _ Ubicación espacial de los materiales según su estabilidad y rendimiento en base a promedios (simples y ponderados) de la varianza total y rendimiento.

ción artificial) que son materiales de distribución a los agricultores. Esquemáticamente podría decirse que éstos son la resultante de dos fuerzas combinadas que tienden tanto al aumento como a la homogenización de los rendimientos, como se ilustra en el planteamiento general del mejoramiento (Fig. 5).

B. Efecto del Clima

1. Comparación entre y dentro de semestres.

En esta sección se cambia de concepto respecto al modelo y el interés se centra en las medias de producción semestrales de los materiales estudiados, para realizar comparaciones dentro de un mismo genotipo.

Se procedió a descomponer la Suma de Cuadrados de Semestres con $(S-1)$ G.L. en tres partes y probar, mediante la distribución de F, las tres hipótesis previamente planteadas en el capítulo de Materiales y Métodos. En la Tabla V se presentan los resultados del Análisis de Varianza correspondiente a tales pruebas.

En la Tabla VI se presenta el resumen correspondiente a las medias de producción estimadas para la comparación entre semestres. Exceptuando el DIACOL H-251, los restantes materiales exhiben un mayor rendimiento en el segundo semestre, con diferencias en producción que oscilaron entre 36 y 783 kg/ha. de maíz, aspecto que corrobora la opinión generalizada entre agricultores del área de Palmira quienes consideran el segundo semestre del año agrícola superior al primero.

La prueba de F condujo al rechazo de la primera hipótesis nula en cuatro de los nueve materiales (BLANCO COMUN, Rocol V-101, Rocol H-203 y Rocol H-201), que corresponden a cuatro de los cinco materiales clasificados como inestables en la sección anterior (ubicados en cuadrantes I y II).

Si hubiese una clara distinción climatológica entre semestres A y B, la Suma de Cuadrados de Semestres con $(S-1)$ G.L. podría ser explicada en un alto porcentaje por la suma de cuadrados asociada al G.L. de la comparación entre semestres. Sin embargo, en los cuatro casos anotados se observa que también existen diferencias altamente significativas en la comparación de rendimientos dentro de semestres A y dentro de semestres B.

Aún para materiales estables como ETO, DIACOL H-251, L25 X L315 y L38 X L36 (ubicados en cuadrantes III y IV) se presentaron diferencias significativas o altamente significativas dentro de semestres A y dentro de semestres B, lo cual puede servir de base para confirmar la no existencia de condiciones homogéneas de cli-

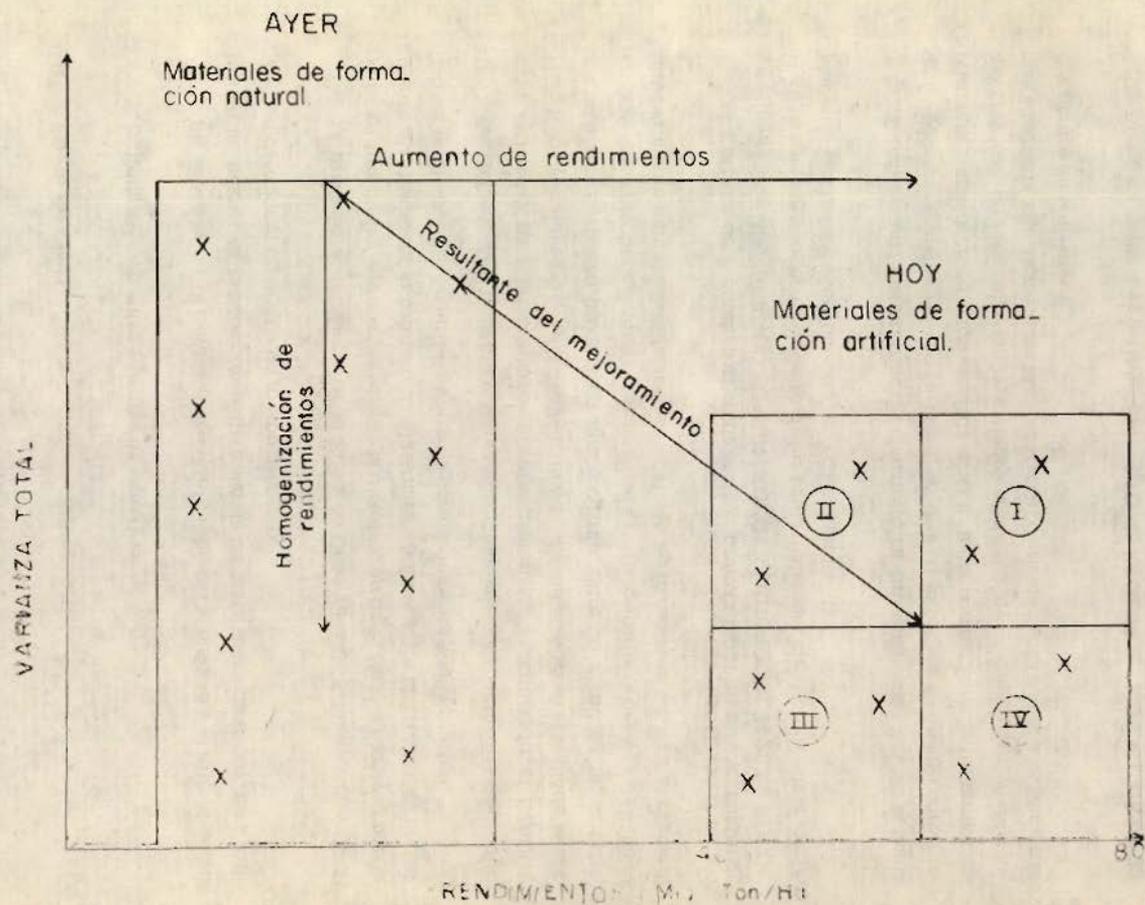


FIG 5 - Esquema del planteamiento general de mejoramiento

TABLA V
RESUMEN DE LA COMPARACION A NIVEL DE SEMESTRES -
DESCOMPOSICION DE LA SUMA DE CUADRADOS Y LOS GRADOS DE LIBERTAD

FUENTE	BLANCO COMUN			ETO			ROCOL V-101		
	G.L.	SC	CM	G.L.	SC	CM	G.L.	SC	CM
ENTRE SEMESTRES	14	260,979		13	116,358		13	283,503	
-SEMESTRE A VS. B	1	8,992	8,992**	1	1,568	1,568	1	17,088	17,088**
-DENTRO SEMESTRES A	6	56,320	9,387**	6	98,784	16,464**	5	106,752	21,350**
-DENTRO SEMESTRES B	7	195,667	27,952**	6	16,006	2,668	7	159,663	22,809**
EXP/SEMESTRE	105	96,139	0,9156	98	132,306	1,350	98	140,143	1,430

* Significancia al nivel de 0,05 de probabilidad

** Significancia al nivel de 0,01 de probabilidad

TABLA V (Cont.)

RESUMEN DE LA COMPARACION A NIVEL DE SEMESTRES -
DESCOMPOSICION DE LA SUMA DE CUADRADOS Y LOS GRADOS DE LIBERTAD

	DIACOL H- 251			ROCOL H-203			DIACOL H- 201		
	G.L.	SC	CM	G.L.	SC	CM	G.L.	SC	CM
ENTRE SEMESTRES	8	38,393		6	103,059		4	72,096	
-SEMESTRE A VS. B	1	0,700	0,700	1	14,624	14,624**	1	23,552	23,552**
-DENTRO SEMESTRES A	4	27,132	6,783**	3	58,080	19,360**	1	29,664	29,664**
-DENTRO SEMESTRES B	3	10,561	3,520**	2	30,355	15,178**	2	18,880	9,440**
EXP/SEMESTRE	54	49,980	0,926	49	69,975	1,428	35	55,732	1,592

* Significancia al nivel de 0,05 de probabilidad

** Significancia al nivel de 0,01 de probabilidad.

TABLA V (Cont.)

RESUMEN DE LA COMPARACION A NIVEL DE SEMESTRES -
DESCOMPOSICION DE LA SUMA DE CUADRADOS Y LOS GRADOS DE LIBERTAD

	L 25 X L 315			L 1 X L 21			L 38 X L 36		
	G.L.	SC	CM	G.L.	SC	CM	G.L.	SC	CM
ENTRE SEMESTRES	4	17,047		5	112,158		6	58,486	
-SEMESTRE A VS. B	1	3,072	3,072	1	0,064	0,064	1	0,640	0,640
-DENTRO SEMESTRES A	1	3,584	3,584	2	102,784	51,392**	2	18,336	9,168**
-DENTRO SEMESTRES B	2	10,391	5,196**	2	9,310	4,655	3	39,510	13,170**
EXP/SEMESTRE	35	36,966	1,056	42	67,559	1,609	49	46,131	0,941

* Significancia al nivel de 0,05 de probabilidad

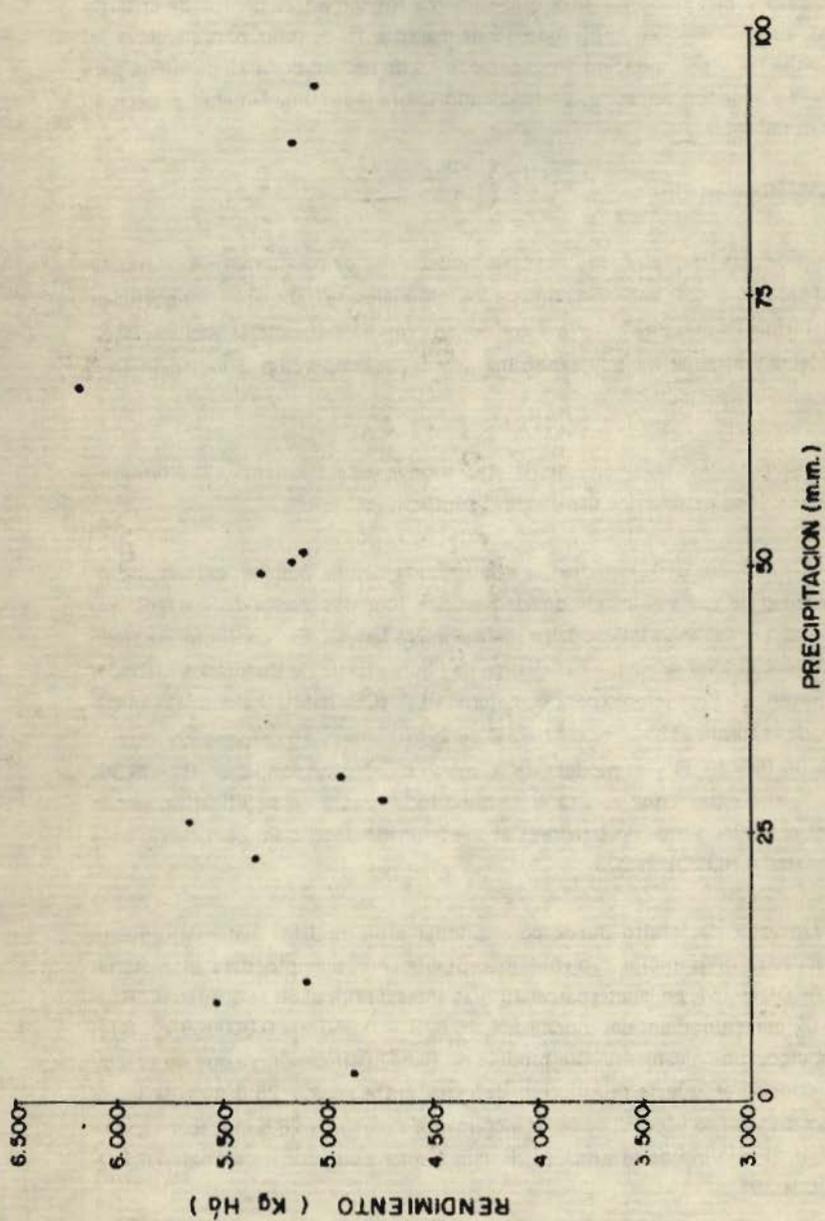
** Significancia al nivel de 0,01 de probabilidad.

TABLA VI

COMPARACION DE PRODUCCION ENTRE SEMESTRES (A y B)
PARA LOS DISTINTOS MATERIALES

MATERIAL	No. Sem.	\bar{X} (Kg/Ha)	No. Sem.	\bar{X} (Kg/Ha)	Diferencia (B - A)
	"A"	Sem. A	"B"	Sem. B	
BCO COMUN	7	4.293	8	4.567	274
ETO	7	5.100	7	5.219	119
ROCOL V-101	6	5.377	8	5.771	394
DIACOL H-251	5	5.423	4	5.317	-106(*)
ROCOL H-203	4	4.630	3	5.146	516
ROCOL H-201	2	5.253	3	6.036	783
L 25 X L 315	2	5.940	3	6.223	283
L 1 X L 21	3	5.098	3	5.134	36
L 38 X L 36	3	5.801	4	5.910	109
MEDIA GENERAL		5.096		5.390	294

(*) DIACOL H-251 es el único material que exhibe mayor media de producción para el primer semestre.



PRECIPITACION (m.m.)

FIG: 7 — Diagrama de dispersión que muestra relación positiva entre rendimiento y precipitación acumulada 8 días antes_8 días después de floración.

Con el fin de contrastar situaciones y dado el carácter metodológico del presente trabajo, además de las alternativas antes mencionadas se incluyeron dos adicionales: 15 días antes de la floración, que en general presentaba baja relación entre precipitación y producción y otra que enmarca los semestres dentro de criterios agrícolas: precipitación en el período 15 de marzo a 15 de julio, para siembras del primer semestre y precipitación en el período 15 de septiembre a 15 de enero, para siembras del segundo semestre, pretendiendo cubrir aproximadamente el período vegetativo del maíz.

b. Método estadístico.

Corridas las treinta regresiones (seis modelos por cinco alternativas de hipotéticos períodos críticos) para cada uno de los materiales, se tabularon los coeficientes de determinación y este criterio permitió, en primera instancia, seleccionar aquellos modelos y alternativas que explicaban en mayor proporción la variación en la producción semestral.

No siempre el mayor valor de R^2 corresponde necesariamente a la alternativa seleccionada, pues existen dos situaciones "conflictivas," así:

i. Los modelos correspondientes a la segunda familia podrían extraer mayor cantidad de suma de cuadrados de regresión (con dos grados de libertad), que la S.C. obtenida en los modelos de la primera familia. El "conflicto" se resolvió aplicando el principio estadístico de "Suma Extra de Cuadrados" (Draper y Smith, 1). Por ejemplo para el material BLANCO COMUN al modelo ajustado, de la forma $a+bx^{0.5}+cx^{1.0}$ para el período 8 antes y 15 después, correspondió un $R^2=40,35$ y al modelo de forma $a+bx^{1.0}$ correspondió un $R^2=39,36$. La "suma extra" que aporta el término $bx^{0.5}$ resulta no significativa, por lo cual el segundo modelo citado es el seleccionado. Hecho similar ocurrió para el material ROCOL H-203.

ii. Un valor de R^2 alto puede corresponder a un modelo matemáticamente adecuado, pero biológicamente inaceptable. Por ejemplo para el material DIACOL H-251, en la alternativa 15 días antes de floración se obtuvo un $R^2=56,02$ correspondiente al modelo: $Y_i=5,825 - 0,050 x_i + 0,000869 x_i^2$. Si n embargo, biológicamente este modelo no tiene justificación ya que no es lógico considerar que la producción decrezca entre cero y 28,8 mm de lluvia (Fig. 8), y luego la producción se incremente a partir de 28,8 mm (correspondiente al mínimo de la función). Hecho similar ocurrió para el material ROCOL H-201.

En estos casos lógicamente debe primar el criterio biológico y por lo tanto se selec-

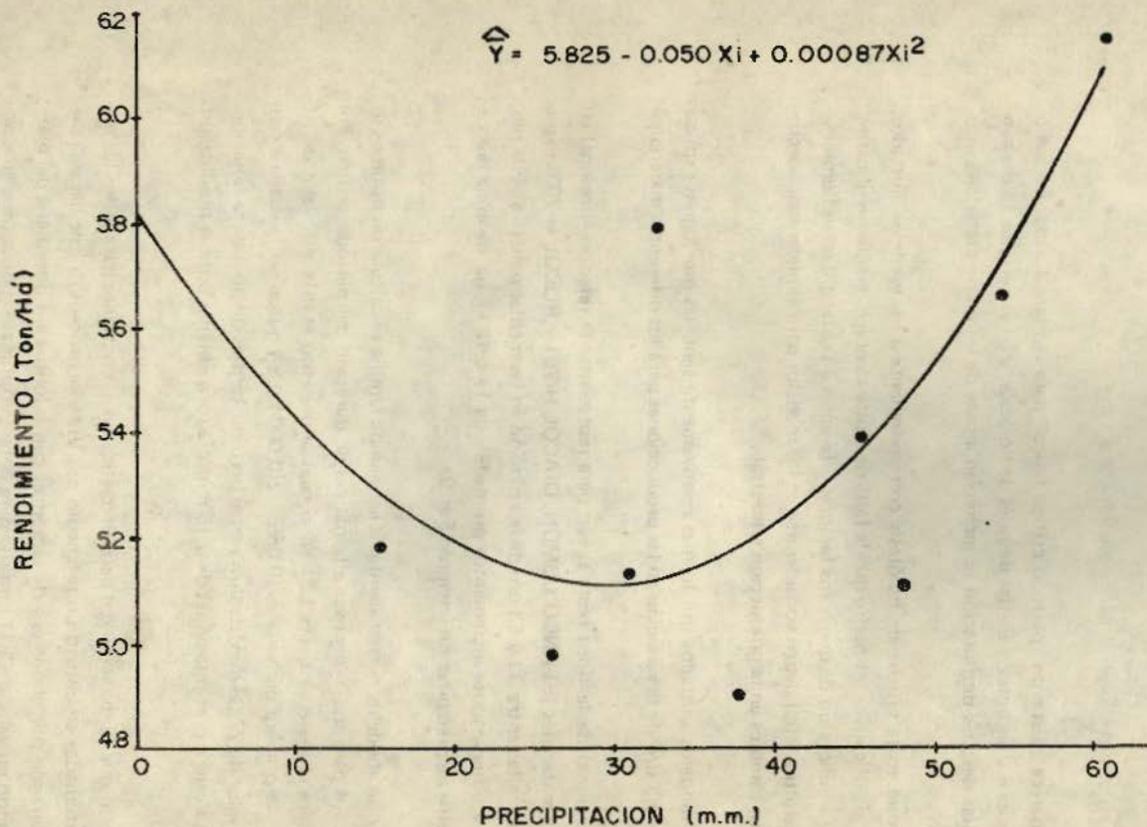


FIG. 8.— Modelo de ajuste que no da explicación lógica a la relación entre Rendimiento y la Precipitación acumulada en el período 15 días antes de floración para Diacol H-251.

cionaron otras alternativas que aunque con menor valor de R^2 presentaron mayor lógica en la relación funcional.

El valor de R^2 y la aplicación de los dos criterios anteriores, condujo a la selección tanto de la "mejor" alternativa para el período crítico como del "mejor" modelo de ajuste.

Un resumen de los resultados obtenidos se presentan en la Tabla VII.

No parece existir un "período crítico único" para el maíz. La más frecuente alternativa es 8 días antes y 8 días después de floración y en el período 15 días antes a 15 días después de floración se incluirían a siete de los nueve materiales estudiados.

Aunque en la prueba de hipótesis correspondiente a los modelos ajustados, todos son significativos, el hecho que la falta de ajuste también resulte significativa, es una clara indicación de que otros factores diferentes a la precipitación (luminosidad, temperatura, etc.) deben considerarse en los modelos para explicar más adecuadamente los cambios en la producción semestral.

Los modelos ajustados son formas relativamente sencillas que logran explicar entre 27 y 83 o/o de la variación en las producciones para los diferentes materiales.

Ecuaciones de la línea recta sirven para representar la relación funcional en tres de los materiales (BLANCO COMUN, DIACOL H 251 y ROCOL H 203) explicándose por ellas entre 39 y 63 o/o de la variación en las medias semestrales de rendimiento y obteniéndose incrementos promedios de 17 o 18 kg/ha. de maíz por cada milímetro de precipitación (ejemplo Fig. 9).

Para los modelos pertenecientes a la segunda familia se calcularon óptimos de precipitación para sus respectivas alternativas de duración del período crítico. Por ejemplo para el material L 1 x L21 en el cual se presentó el más alto valor de R^2 (82,60 o/o), la primera derivada es $(0,065 - 2(0,00042) x_1)$ que al ser igualada a cero arroja un valor de 77,38 mm. de lluvia en el período 15 días después de la floración, lo cual equivale a precipitaciones de 5,16 mm/día para obtener óptima producción (Fig. 10).

Puesto que la duración del período crítico no es constante para todos los materiales estudiados se obtuvo un promedio por día y se procedió a calcular una media, ponderando por el número de semestres con información disponible del material arrojando un valor de 3,11 mm/día para obtener óptimas producciones en cinco materiales diferentes.

TABLA VII

PERIODOS CRITICOS SELECCIONADOS Y MODELOS DE
MEJOR AJUSTE PARA CADA MATERIAL

MATERIAL	ALTERNATIVA	MODELO	R ²
BCO. COMUN	8 ANTES Y	$\hat{Y} = 3,404 + 0,0170 X_i$	39,36
	15 DESPUES	$16,0 \leq X_i \leq 115,2 \text{ mm.}$	
ETO	8 ANTES Y	$\hat{Y} = 4,117 + 0,379 X_i^{0,5} - 0,028 X_i$	46,79
	8 DESPUES	$0,0 \leq X_i \leq 94,9 \text{ mm.}$	
ROCOL V-101	8 ANTES Y	$\hat{Y} = 4,669 + 0,17 X_i^{0,5}$	38,10
	8 DESPUES	$0,0 \leq X_i \leq 94,7 \text{ mm.}$	
DIACOL H-251	15 ANTES	$\hat{Y} = 4,668 + 0,018 X_i$ $15,5 \leq X_i \leq 60,7 \text{ mm.}$	38,95
ROCOL H-203	8 ANTES Y	$\hat{Y} = 3,997 + 0,017 X_i$	63,40
	8 DESPUES	$2,4 \leq X_i \leq 91,4 \text{ mm.}$	
ROCOL H-201	LLUVIA EN	$\hat{Y} = -14,210 - 4,958 X_i^{0,5} - 0,047 X_i$	27,13
	PER. AGRIC.	$322 \leq X_i \leq 639 \text{ mm.}$	
L25 X L315	8 ANTES Y	$\hat{Y} = 1,706 + 2,639 X_i^{0,5} - 0,366 X_i$	58,54
	8 DESPUES	$4,6 \leq X_i \leq 22,9 \text{ mm.}$	
L1 X L21	15 DESPUES	$\hat{Y} = 3,588 + 0,065 X_i - 0,00042 X_i^2$ $0,0 \leq X_i \leq 114,3 \text{ mm.}$	82,66
L 38 X L36	LLUVIA EN	$\hat{Y} = -12,156 + 1,858 X_i^{0,5} - 0,04738 X_i$	45,62
	PER. AGRIC.	$223 \leq X_i \leq 465 \text{ mm.}$	

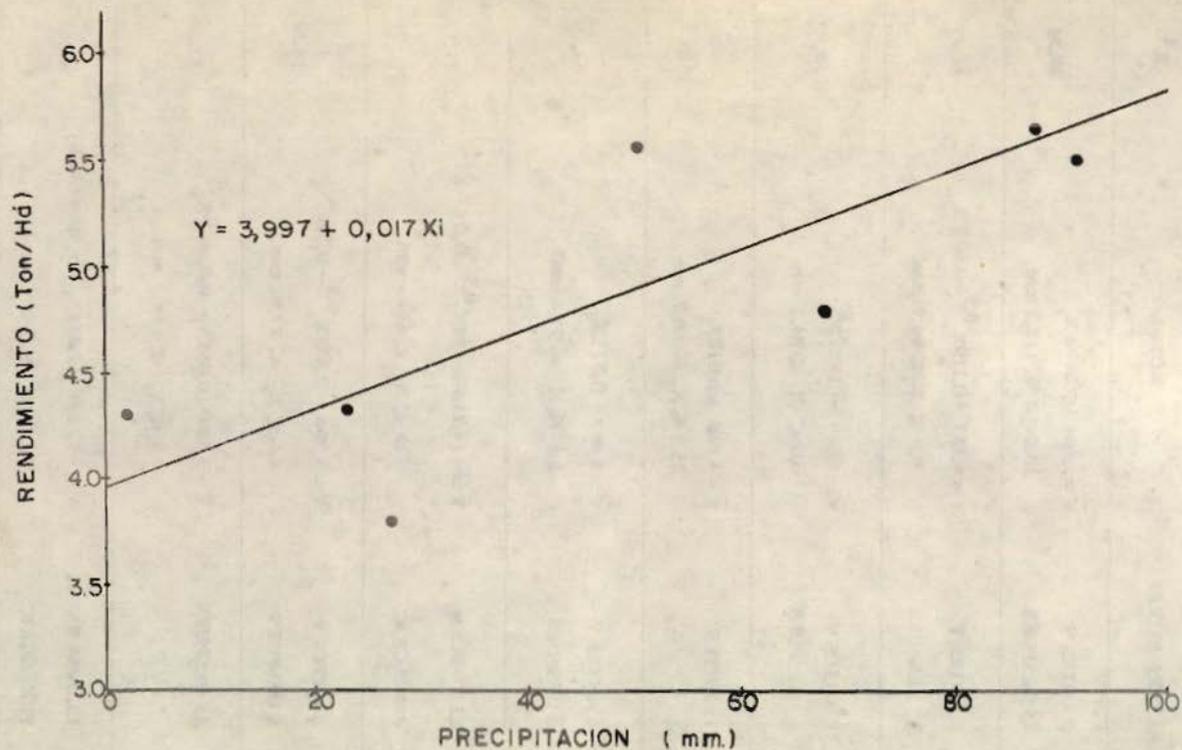


FIG:9._ Diagrama de dispersión y Modelo de mejor ajuste para la relación entre la relación entre Rendimiento y la Precipitación acumulada en el período 8 días antes y 8 días después de floración para Rocol H-203.

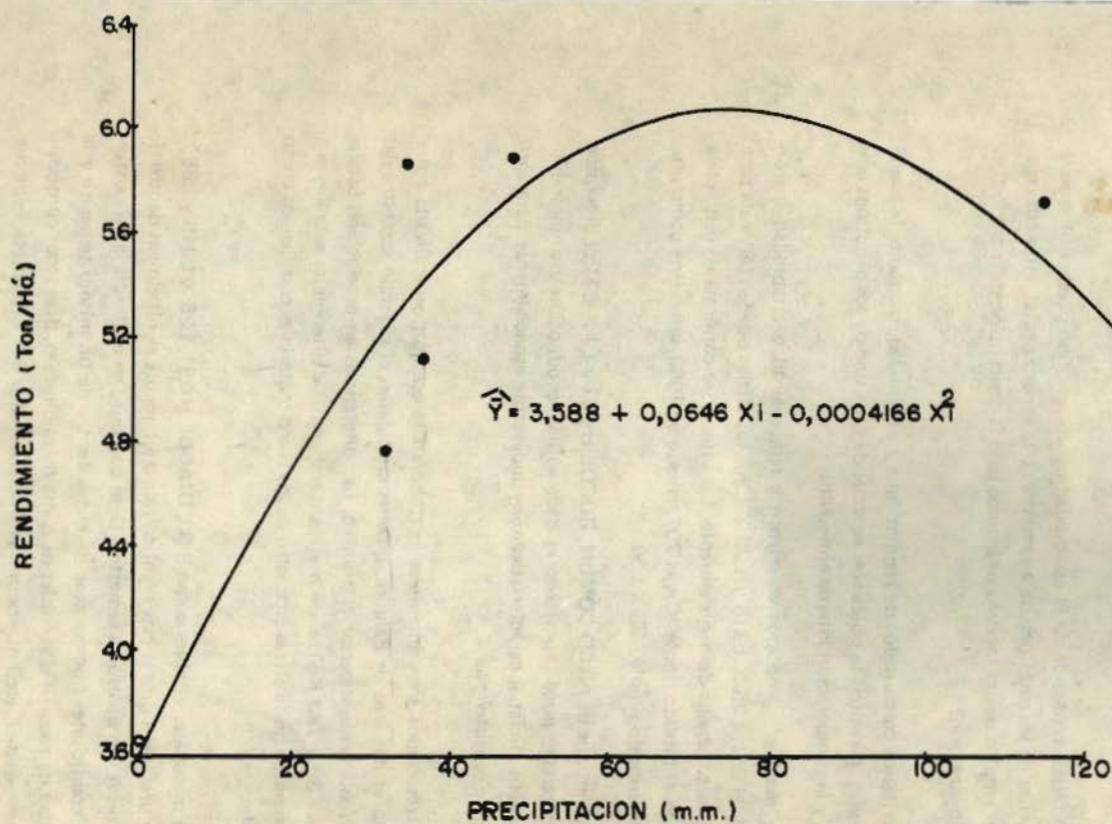


FIG: 10.- Diagrama de dispersión y Modelo de mejor ajuste para la relación entre Rendimiento y la Precipitación acumulada en el período 15 días después de floración para L1xL21.

IV. CONCLUSIONES

1. A pesar de que la información utilizada en el presente estudio no fué originada para los objetivos concretos de él, la metodología empleada es perfectamente válida y arroja resultados satisfactorios. Similares trabajos podrían realizarse con la información disponible en otros Programas de la Seccional de Palmira y en otras regionales del ICA.

2. Como índice o medida de la estabilidad de un genotipo puede utilizarse la componente de varianza debida a semestres o la varianza total, estimadas mediante el empleo de un modelo jerárquico bajo la concepción de modelo tipo II (efecto aleatorio).

3. Los criterios combinados de rendimiento y estabilidad, mediante la traslación de ejes, permiten la ubicación espacial de cada uno de los genotipos empleados y la comparación interna entre ellos.

4. Los "mejores" genotipos en cuanto a rendimiento y estabilidad fueron DIACOL H-251, L25 X L315 y L38 X L36, los cuales pueden servir de base para futuros trabajos de mejoramiento. Lo anterior se confirma en la práctica ya que en el híbrido doble ICA H-207, creado en 1963, interviene como progenitor el híbrido simple L38 X L36.

5. Los genotipos BLANCO COMUN, ROCOL H-203 y L1 X L21 se presentan como materiales poco prometedores dada su baja producción y su inestabilidad respecto al clima, característica muy indeseable especialmente para agricultores de subsistencia.

6. Los resultados experimentales corroboran la opinión generalizada entre agricultores del área de Palmira, quienes consideran el segundo semestre del año agrícola superior al primero. Las diferencias en producción oscilaron entre 36 y 783 Kg/Ha. de maíz; sin embargo, las diferencias solo llegan a ser altamente significativas en cuatro de los cinco materiales clasificados como inestables.

7. Para materiales estables como ETO, DIACOL H-251, L25 X L315 y L38 X L36 se presentan diferencias significativas o altamente significativas dentro de semestres A y/o dentro de semestres B, lo cual pone en evidencia la no existencia de condiciones homogéneas de clima dentro de un mismo semestre y la necesidad de recurrir a variables de clima (precipitación, días secos consecutivos, luminosidad, etc.) que permita caracterizar y definir un semestre con mejor criterio agronómico.

8. No parece existir un "período crítico" único para el maíz, siendo más bien específico para cada uno de los genotipos; sin embargo, el período 15 días antes de floración y 15 días después de floración incluyó a siete de los nueve materiales estudiados.

9. Con solo una variable de precipitación y mediante el empleo de modelos polinomiales sencillos se logró explicar entre el 27 o/o y el 83 o/o de las variaciones en las medias de producción semestral; sin embargo, la falta de ajuste también resultó significativa lo cual es un indicativo de que otras variables de clima deben ser incluidas en el modelo.

10. Para el material más inestable respecto al clima (L1 X L21), un modelo polinomial de segundo orden es una variable ajustado entre la producción media semestral y la lluvia acumulada en el período 15 días después de la floración, explicó aproximadamente el 83 o/o de la variación en las medias. La óptima producción correspondería al valor de 77,38 mm de precipitación, lo cual equivale a una lluvia de 5,16 mm/día. Para cinco diferentes materiales se obtuvo un promedio de 3,11 mm/día para lograr óptimas producciones de maíz.

V. RESUMEN

Utilizando la información de los Ensayos de Rendimiento en maíz efectuados por el Programa de Maíz y Sorgo del Instituto Colombiano Agropecuario, Regional No. 5 - Palmira, durante el período 1952 - 1959 (época en la cual no se disponía de equipo de riego); se plantea una metodología para cuantificar la estabilidad en 9 materiales; empleando un modelo jerárquico bajo la concepción de efectos aleatorios (Modelo Tipo II).

La estimación del componente de varianza debida a semestres σ_s^2 refleja el efecto que el clima y en general el "ambiente" tiene sobre un determinado material y se toma como índice o medida de la estabilidad.

La combinación de los criterios de Rendimiento y Estabilidad, permiten mediante la translación de ejes, la ubicación espacial de los materiales en cuadrantes con significado agronómico específico así: En el Cuadrante I los materiales ROCOL V-101 y ROCOL H-201, de alta producción pero inestables; en el Cuadrante II, los genotipos: BLANCO COMUN, ROCOL H-202 y L1 X L21 de baja producción e inestables en el III el material ETO de baja producción y estable, y en Cuadrante IV los materiales DIACOL H-251, L25 X L315 y L38 X L36, que reúnen características de alta producción y estables.

Al comparar las producciones de los semestres A y B por medio de análisis estadístico, se encontraron diferencias significativas en cuatro de los cinco materiales inestables; al comparar las producciones dentro de un mismo semestre se halla que hay diferencia significativa para la mayoría de los genotipos y por lo tanto no hay condiciones homogéneas dentro de los semestres. Por tales razones se debe recurrir a variables de clima (precipitación, temperatura, luminosidad, etc.) que permitan caracterizar un semestre con mejor criterio agronómico.

Se definió para cada material en cada semestre la fecha de floración y en torno a ésta se produjeron 17 arreglos diferentes, en cuanto a duración de "posibles" períodos críticos y se evaluó la lluvia caída en cada período. Empleando inicialmente un método gráfico en base a diagramas de dispersión, se seleccionaron visualmente las mejores relaciones funcionales entre rendimiento y precipitación; utilizando técnicas de regresión para las mejores relaciones, se encontró que no hay un "período crítico" único para el maíz, siendo éste específico para cada uno de los genotipos; sin embargo el período 15 días antes y 15 días después de floración, incluyó a 7 de los nueve materiales estudiados.

Con la variable precipitación en el período crítico y el empleo de modelos polinomiales sencillos, se logra explicar entre el 27o/o y el 83o/o de las variaciones en las medias de producción semestra, pero la falta de ajuste también resulta significativa, indicando la necesidad de incluir en el modelo otras variables de clima. Para cinco diferentes materiales se obtuvo un promedio de 3.11 mm/día para lograr óptimas producciones de maíz.

VI. SUMMARY

A methodology directed towards the quantification of varietal stability by using a mixed hierarchical model, (Model Type II) is presented here.

The information used for this model corresponds to different Maize yield Trials performed by the Maize Program at ICA (Instituto Colombiano Agropecuario) Palmira, Seccion Number 5, during 1952-1959, when irrigation was not available.

The estimation of variance components due to "semesters"*, $6\frac{2}{5}$ which reflects the "environmental conditions" effect, is taken as a measure of varietal stability.

The combination of yield and stability criteria allows the different varieties to be placed in a quadrant with a proper agronomic meaning. Therefore, genotypes ROCOL V-10† and ROCOL H-201, with high yield, but low stability are placed in quadrant I.

(*) There are two seasons within a year. Two crops are grown in the area, one per season.

Genotypes BLANCO COMUN, ROCOL H 203 and L1x21, with low yield and low stability are placed in quadrant II, genotype ETO which is stable, but low yielder is placed in quadrant III, and finally materials DIACOL H 251, L25XL315 and L38 x L36, with high yielding and highly stability are placed in quadrant IV.

Significant differences between semesters A and B were found only for non stable materials, wich shows a not very marked contrast between semesters. Differences between almost all genotypes were found within semesters. This result show that the word "semester" does not represent a set of homogeneous environment conditions. As a conclusion, we suggest the use of enviroment variables such as temperature, sun light, etc., in order to describe in more precise terms an "agronomic semester".

Between the 27 and 83o/o of the variations on the semestral production means are explained by precipitation during the critical period and by the use of simple polinomials models. However, the lack of fit was highly significant, showing the necessity of including some other climate variables in the model.

It was found in 5 different genotypes an average of 3.11 mm/day was necessary to obtain an optimal production level.

VII. BIBLIOGRAFIA

1. DRAPER, N.R. and SMITH H. Applied Regression Analysis. New York, John Wiley & Sons. 1966. 407 p.
2. FINLAY, and WILKINSON, G.N. The analysis of adaptation in plant breeding programme. Aust. Journ. Ag. Res. 14:742-754. 1963
3. PLAISTED, R.L. and PETERSON, L.C. A technique for evaluating the ability of selections to yield consistently in different locations and seasons. Amer. Potato Journ. 36:381-385. 1959