CENTRO DE DOCUMENTACION

ADAPTABILIDAD Y ESTABILIDAD EN EL COMPORTAMIENTO DE PLANTAS DE FRIJOL COMUN [1]

CIAT
36342
COLECCION HISTORICA

Douglas R. Laing [2]

CONTENIDO

1. Introducción
2. Adaptabilidad
3. Estabilidad
4. Importancia relativa de la Adaptabilidad y Estabilidad.
5. Medición de la Adaptabilidad y Estabilidad.
6. Análisis del IBYAN
   6.1 Análisis de regresión.
   6.2 Análisis de dominancia estocástica.
   6.3 Análisis de varianza.
7. Adaptación a los sistemas de cultivo.
8. Selección por componentes fisiológicos de la Adaptabilidad y Estabilidad.
9. Referencias
10. Agradecimientos.

---

[1] Documento presentado en la Reunión de Discusión sobre Viveros Internacionales de Rendimiento y Adaptación del Fríjol. CIAT Enero, 1978.

[2] Fisiólogo, Programa de Sistemas de Producción de Fríjol. CIAT, apartado aéreo 67-13 Cali, Colombia.

PED. EXTERIOR

ADAPTABILIDAD Y ESTABILIDAD EN EL COMPORTAMIENTO DE PLANTAS DE FRIJOL COMUN

Douglas R. Laing

1. Introducción

El objetivo de este seminario es el de hacer una revisión de los aspectos de la evaluación internacional de cultivares de fríjol con referencia especial al Vivero Internacional de Rendimiento y Adaptación del Fríjol (IBYAN). En la primera sección se discutirán los conceptos de la adaptabilidad y estabilidad y se presentará algún análisis de los datos disponibles para el IBYAN de 1976. En la segunda sección se presentarán algunos aspectos de las investigaciones en fisiología realizados en el CIAT, con relación a varios componentes de la adaptación del Fríjol.

El IBYAN de 1977 ofreció la primera oportunidad para comparar el comportamiento relativo de una diversidad de genotipos bajo una amplia gama de latitudes y ambientes. Las 20 introducciones comunes representan un grupo de materiales importantes originarios o seleccionados en ocho países, tanto de la zona tropical como de la templada. Las introducciones incluyen genotipos utilizados por muchos fitomejoradores como progenitores. La información sobre la adaptabilidad y estabilidad relativa del material ofrece la oportunidad de evaluar estas líneas como materiales parentales o como nuevas variedades potenciales para su entrega a los agricultores.

2. Adaptabilidad

La adaptabilidad se refiere al comportamiento relativo de genotipos particulares al curtivarlos en diversas localidades. La expresión amplia adaptabilidad se aplica a los materiales que presentan un alto nivel de comportamiento relativo bajo una gran diversidad de ambientes.

Por otra parte, la adaptabilidad específica o local se refiere al material que presenta un alto nivel de comportamiento relativo bajo una gama relativamente estrecha de ambientes.

La adaptabilidad no sólo se refiere a la adaptación afectada por factores climáticos, edáficos y bióticos, sino también por factores agronómicos y del sistema de cultivo. Más adelante se discutirá la cuestión de la adaptación al sistema de cultivo.

Los factores del medio considerados como los de mayor influencia sobre la respuesta diferencial de los genotipos en diversas localidades, son los siguientes :

Balance hídrico del cultivo (interacción suelo-clima-cultivo)

Temperatura

Fotoperíodo

Incidencia de enfermedades

Incidencia de insectos

Factores adversos del suelo

Sistema de cultivo

Cuadro 1. Sistemas de cultivo de fríjol en América Latina.

Orden de Importancia*	Sistema
1	Cultivo de relevo con maíz en el primer semestre seguido por fríjol arbustivo sembrado durante la madurez del maíz; algunas veces se utilizan tipos indeterminados con alguna tendencia a trepar. Hábitos de crecimiento II y III.
2	Monocultivo con fríjol arbustivo, sin residuos de maíz en el campo durante el ciclo del fríjol. Hábitos de crecimiento I, II y III.
3	Asociación de maíz y fríjol arbustivo; siembra de las dos especies aproximadamente en la misma fecha, con amplias variaciones en la densidad del maíz. Hábitos de crecimiento I, II y III.
4	Asociación de maíz y fríjol trepador; siembra de las dos especies aproximadamente en la misma fecha. Hábito de crecimiento IV.
5	Cultivo de relevo de maíz y fríjol trepador; maíz seguido por el fríjol sembrado durante la madurez del maíz. Hábito de crecimiento IV.
6	Cultivo asociado y de relevo con otras especies tales como yuca, café, caña, plátano, etc. Hábitos de crecimiento I, II, III y IV.
7	Monocultivo de fríjol trepador con soportes artificiales. Hábito de crecimiento IV.

* Posible orden de importancia en producción. El orden es especialmente discutible en los dos primeros sistemas.

te cortas; es decir, distancias de proporciones experimentales.

4. Importancia Relativa de la Adaptabilidad y Estabilidad

La adaptabilidad del comportamiento probablemente es el factor de mayor importancia crítica para los fitomejoradores y de menor importancia crítica para los productores individuales de fríjol. La mayoría de los programas internacionales de mejoramiento genético, especialmente los adelantados por los centros internacionales, dan mucho énfasis a la amplia adaptabilidad. Las opiniones divergen con respecto a la necesidad de la amplia adaptabilidad en estos programas.

En América Latina el fríjol se cultiva bajo una gran diversidad de condiciones ambientales y un amplio espectro de sistemas de cultivo. En el Cuadro 1 se presenta un resúmen de los sistemas comúnes que incluyen al fríjol; los sistemas se presentan en orden de importancia, basado en observaciones de campo hechas en muchos países. En este hemisferio es muy escasa la información estadística sobre este cultivo, con respecto a los sistemas de cultivo.

Los sistemas de producción más importantes incluyen en su mayoría al fríjol arbustivo (hábitos de crecimiento I, II y III), lo cual muestra que en la mayoría de las áreas es muy limitada la tendencia a utilizar los tipos trepadores (II y III) en los sistemas asociados con maíz. Además, el sistema de policultivo más importante tiende a minimizar el grado de competencia directa que existe entre el fríjol y el maíz asociado;

es decir, se practica el sistema de relevo, en el cual el maíz se cultiva en la primera parte de la estación húmeda del subtrópico y el fríjol cuando el cultivo de maíz se encuentra en el período de madurez. El énfasis actual puesto por el programa del IBYAN sobre el monocultivo sin fríjol arbustivo no trepador como base para las comparaciones internacionales, se apoya en las siguientes conclusiones preliminares con respecto a la importancia relativa de los diversos sistemas de cultivo, por lo menos en la América Latina.

La importancia relativa del mejoramiento genético del fríjol por su amplia adaptación se basa secuencialmente en los siguientes puntos :

(a) El fríjol se cultiva en una gran diversidad de ambientes, latitudes y sistemas.

(b) Las preferencias por el color del fríjol varían de un país a otro y, en muchos casos, son bastantes específicas, con una variabilidad relativamente grande en las preferencias dentro de los países de una región a otra.

(c) Para los programas nacionales o centros internacionales es imposible mejorar nuevas variedades de fríjol para todas estas microsituaciones.

(d) La amplia adaptabilidad entre los progenitores incluídos en un programa de mejoramiento genético debe aumentar la probabilidad de éxito de los segregantes en cualquier localidad donde se evalúe el material.

Cuadro 2 : Resúmen de los métodos de análisis de los ensayos uniformes de rendimiento en diversas localidades.

Método Estadístico	Principio	Criterio	Referencia
Regresión I	Regresión (log-lineal) del rendimiento varietal vs. rendimiento promedio por localidad.	Pendiente de la regresión varietal (b) como indicativo de la estabilidad del comportamiento en diversos ambientes.	Finlay y Wilkinson (1963)
Regresión II	Regresión lineal del rendimiento varietal sobre el rendimiento promedio por localidad, calculando las desviaciones medias al cuadrado de la regresión.	Pendiente de la regresión varietal (b) y cuadrado de la desviación media de la regresión ($S^2_{y.x}$), como indicativo del comportamiento en todas las localidades.	Eberhart y Russell (1966)
Regresión III	Regresión lineal del rendimiento varietal sobre el rendimiento promedio de los materiales de mayor rendimiento en cada localidad; regresiones en todas y cada una de las localidades.	Coeficientes de regresión de la adaptabilidad (b'') y estabilidad (b') para determinar el comportamiento relativo de las variedades en todas y cada una de las localidades.	Evenson et al (1977)
Dominancia Estocástica	Probabilidad acumulativa del rendimiento obtenido en todas las localidades; se calculan tres ordenes de dominancia estocástica.	Las variedades estocásticamente eficientes o eficientes al riesgo se identifican según los niveles de dominancia.	Anderson (1974)
Análisis de Patrones	Análisis de patrones de variedades y ambientes, agrupándolos según su similitud en la respuesta.	Análisis de la respuesta de variedades individuales a grupos de ambientes, utilizando vectores de distancia desde los puntos de fusión.	Mungomery et al (1974)
Análisis de Varianza	Contribución varietal a la interacción variedad x localidad; exclusión sistemática de variedades del análisis combinado de varianza.	El orden de contribución varietal a la interacción de una medida del "grado de dependencia" de un material con relación al grupo.	Amézquita et al (1978)

(e) Siempre y cuando los rendimientos de ciertas variedades con una adaptación relativamente específica en una región particular sean superiores, lógicamente no es válido discutir necesidad de la amplia adaptabilidad.

(f) Será necesario mejorar por la adaptación específica a factores específicos del medio que limitan el rendimiento (tales como la acidez del suelo, drenaje pobre o enfermedades específicas), pero esto no disminuye la necesidad de la amplia adaptabilidad en los progenitores.

(g) Probablemente será necesario mejorar genéticamente para la adaptación de materiales a sistemas particulares de cultivo.

La estabilidad del comportamiento, tanto en el espacio como en el tiempo, es de importancia crítica para el productor de fríjol, quien generalmente evita los riesgos, por lo menos en América Latina. La estabilización del ingreso debe reducir los problemas asociados con la baja utilización de insumos por los agricultores, quienes no parecen esperar tener éxito con el fríjol. En muchas áreas el fríjol tiene la reputación de ser un cultivo altamente riesgoso. El mejoramiento de la estabilidad del comportamiento en una localidad es de importancia crítica para la estrategia global de aumentar la producción de este cultivo.

5. Medición de la Adaptabilidad y Estabilidad

El único medio posible para medir la adaptabilidad, en el contexto de la evaluación varietal, es mediante una serie uniforme de experimentos de rendimiento en diferentes localidades a nivel internacional o nacional. El desarrollo de programas internacionales, tales como el programa anterior del PCCMCA en América Central y la actual red de IBYAN, permite, en el sentido más amplio, comparar el comportamiento. En algunos países se ha iniciado el desarrollo de programas nacionales de ensayos de rendimiento.

Se dispone de métodos de análisis de resultados combinados de un juego uniforme de ensayos varietales en diversas localidades, y cada día son más utilizados para evaluar el comportamiento relativo de introducciones en los programas internacionales (Laing y Fischer, 1977; Stroike y Johnson, 1972). En el Cuadro 2 se presenta un resúmen de algunos de los métodos disponibles. En este documento no se presentará una discusión de las ventajas relativas de los diferentes métodos. Todos los métodos intentan analizar el grado de respuesta diferencial de las introducciones a diversos ambientes, o en otras palabras, la clásica interacción genotipo-medio ambiente. Cada método puede tener su ubicación apropiada según el objetivo de la investigación.

Camacho (1968) discute la aplicación de los términos estabilidad y adaptabilidad en los ensayos de fríjol en Colombia. Evenson et al

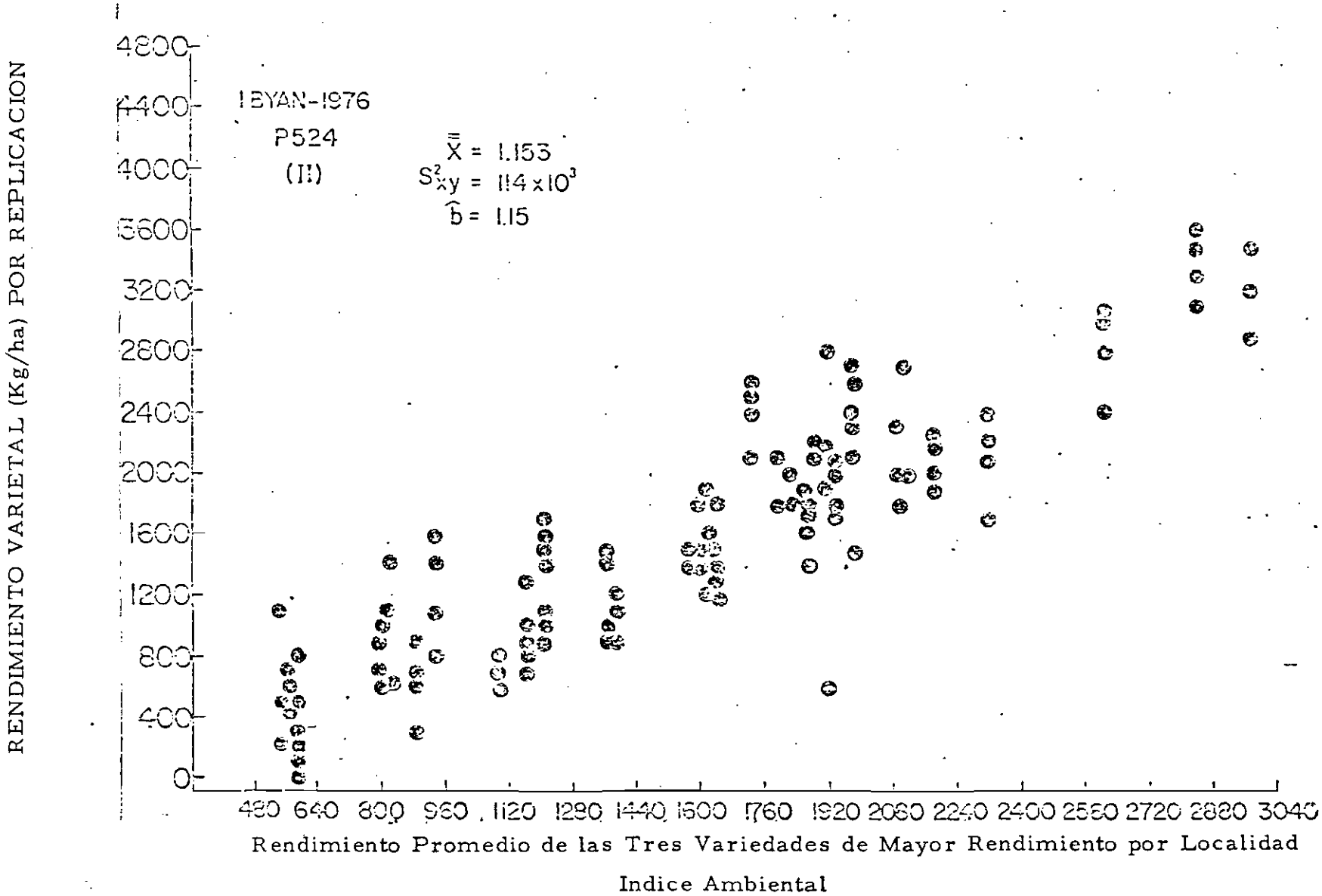

Figura 1. Gráfica del rendimiento por replicación de P524 versus el índice ambiental para 39 localidades del IBYAN de 1976.

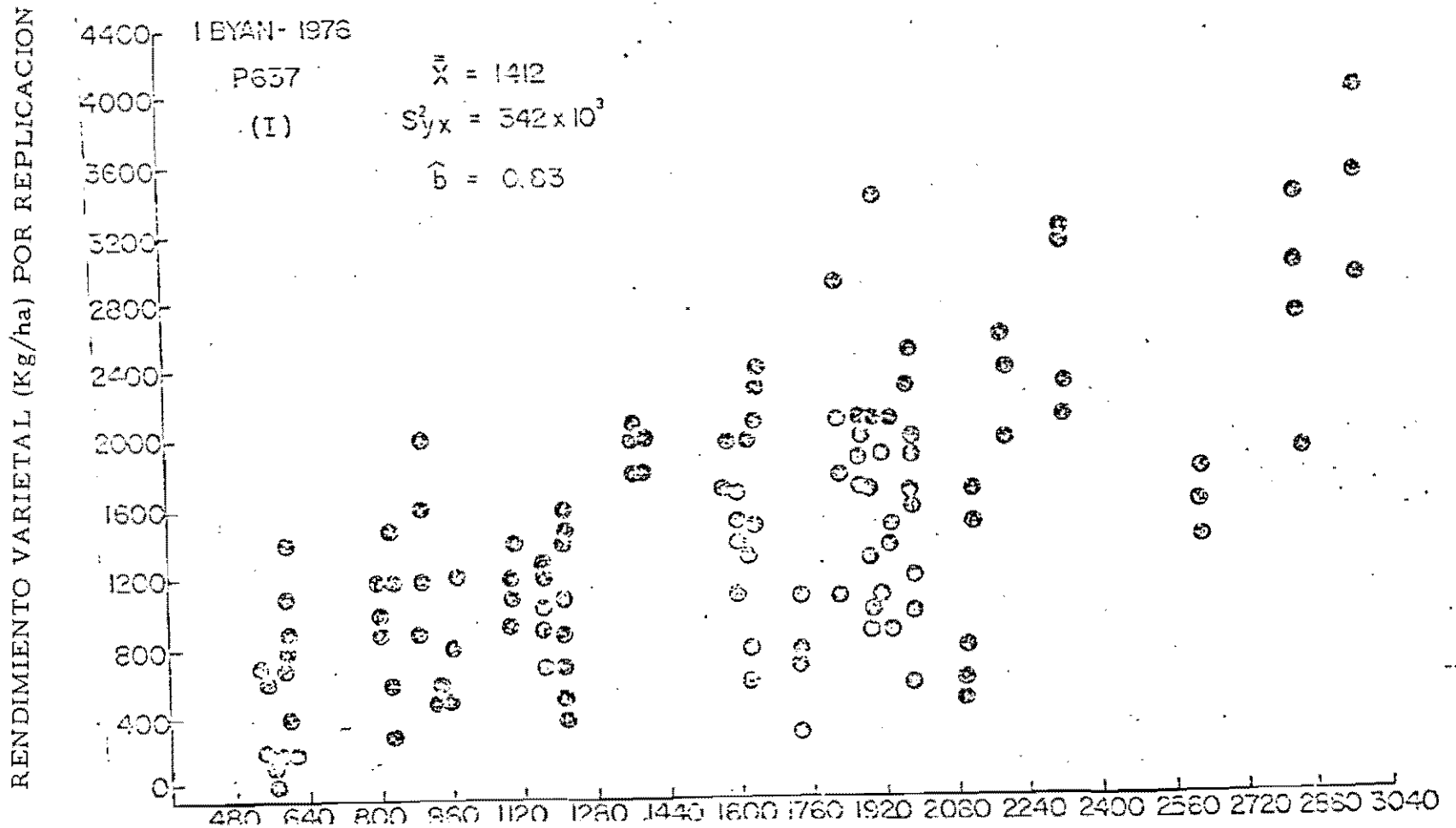

Figura 2. Gráfica del rendimiento por replicación de P637 versus el índice ambiental para 39 localidades del IBYAN de 1976.

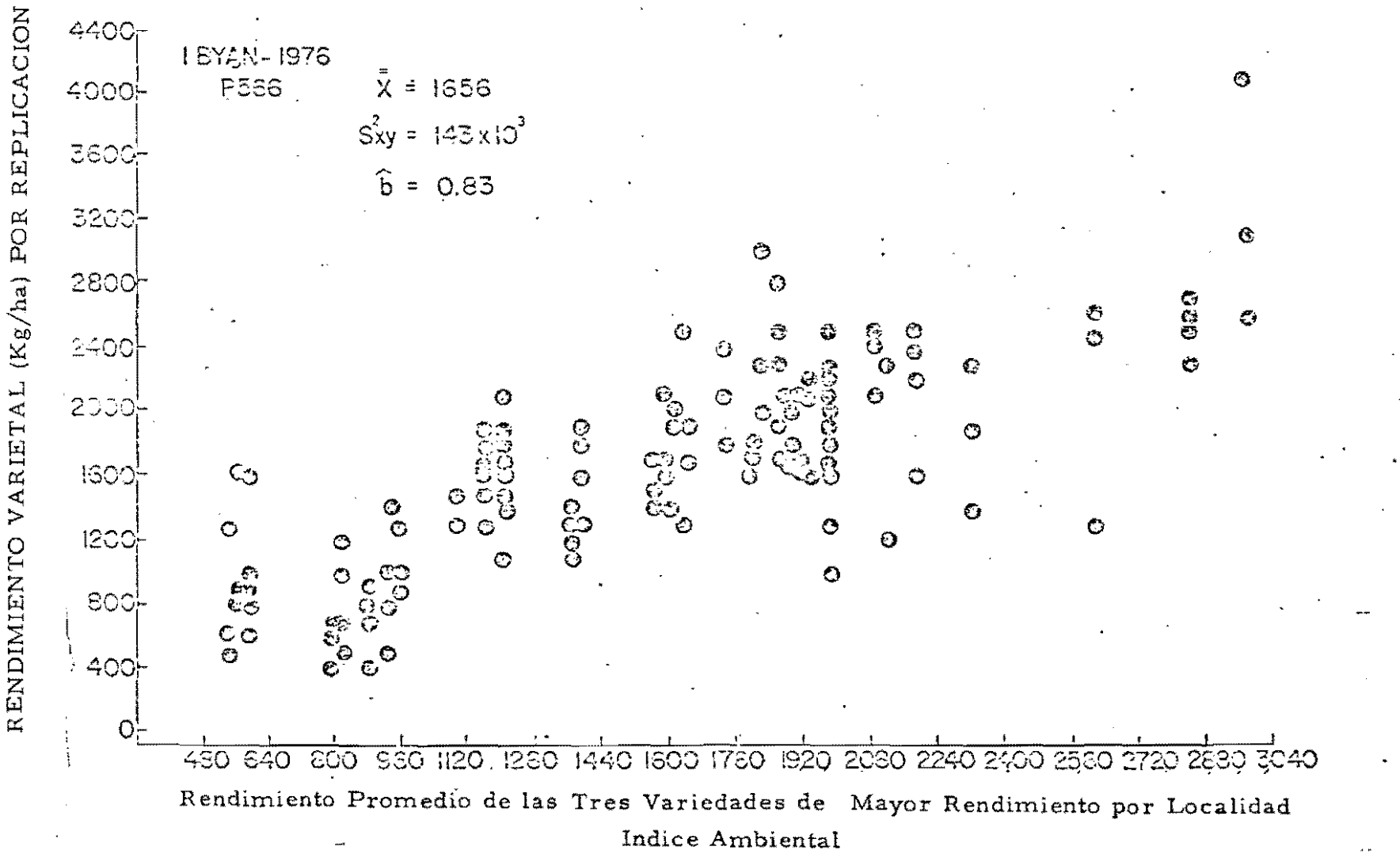

Figura 3. Gráfica del rendimiento varietal por replicación de P566 versus el índice ambiental para 39 localidades del IBYAN de 1976.

(1967) y Herdt (1977) discutieron más recientemente la importancia de distinguir entre la adaptabilidad y estabilidad del comportamiento e indicaron medios estadísticos para lograr este objetivo. Los métodos de regresión sugeridos son del mismo tipo originalmente propuestos por Finlay y Wilkinson (1963) y Eberhart y Russell (1966). El problema con la recomendación de Herdt (anteriormente citado) es la dificultad en obtener mediciones repetidas en el mismo grupo de materiales en la misma localidad, con el fin de que se pueda calcular un índice varietal de la estabilidad. Una vez establecidos, los programas de mejoramiento genético generalmente producen nuevos materiales cada año. Esto implica que la mayoría de las introducciones en los ensayos de rendimiento cambian anualmente. Aunque parece importante evaluar el material por su estabilidad temporal, en la práctica puede ser relativamente difícil lograr ésto. Los datos disponibles de ensayos con arroz (Herdt, anteriormente citado) en India, indican que existe una correlación entre el índice de estabilidad a través del tiempo (estabilidad temporal) y el índice de adaptabilidad en diferentes localidades. Sin embargo, con base en otros datos, estos autores concluyen que la adaptabilidad puede ser un parámetro independiente el cual describe un genotipo particular. La estabilidad espacial se puede estimar con base en la varianza varietal en localidades particulares entre las diferentes replicaciones.

Eberhart y Russell (1976) propusieron en su método de regresión, que la desviación media al cuadrado de la regresión del rendimiento

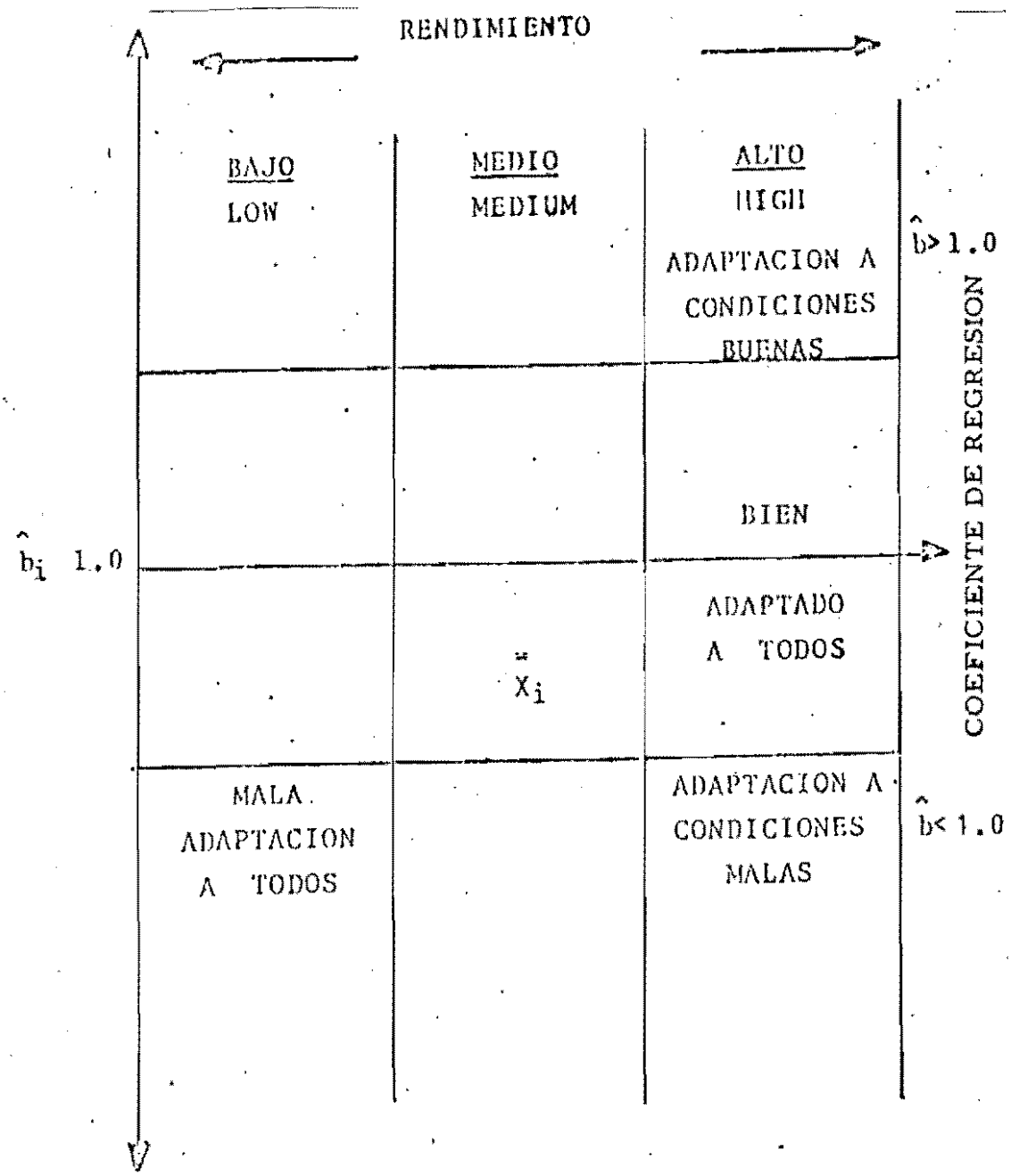

Figura 6. Diagrama esquemático de la clasificación de las introducciones, con base en la posición de relación de $\hat{b}_i$ y $\bar{X}_i$ del análisis de adaptación.

IBYAN 1976 : ANALISIS DE ADAPTACION (TrH; Te)

INDICE AMBIENTAL : PROMEDIO DE LAS TRES INTRODUCCIONES DE MAYOR RENDIMIENTO.

LOCALIDADES : 39 (MENOS 87, 10, 15, 23, 58)

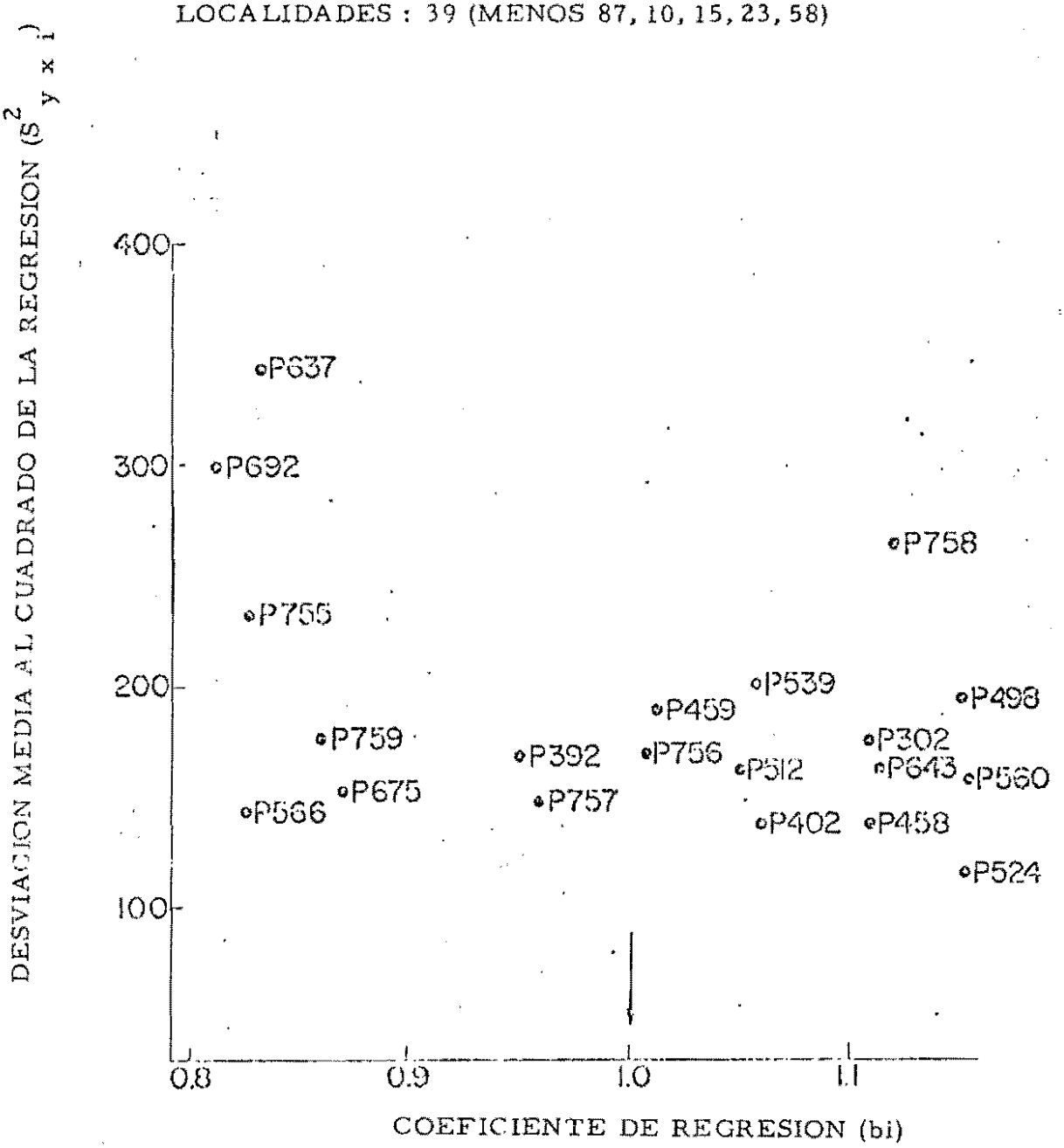

Figura 7. Desviaciones medias al cuadrado de la regresión para las 20 introducciones de IBYAN de 1976 versus el valor del coeficiente de regresión (pendiente) para cada variedad.

IBYAN 1976 : ANALISIS DE ADAPTACION (Tr H, M; Te)

INDICE AMBIENTAL : PROMEDIO DE LAS TRES INTRODUCCIONES DE MAYOR RENDIMIENTO.

LOCALIDADES: 39 (Menos 87, 10, 15, 23, 58)

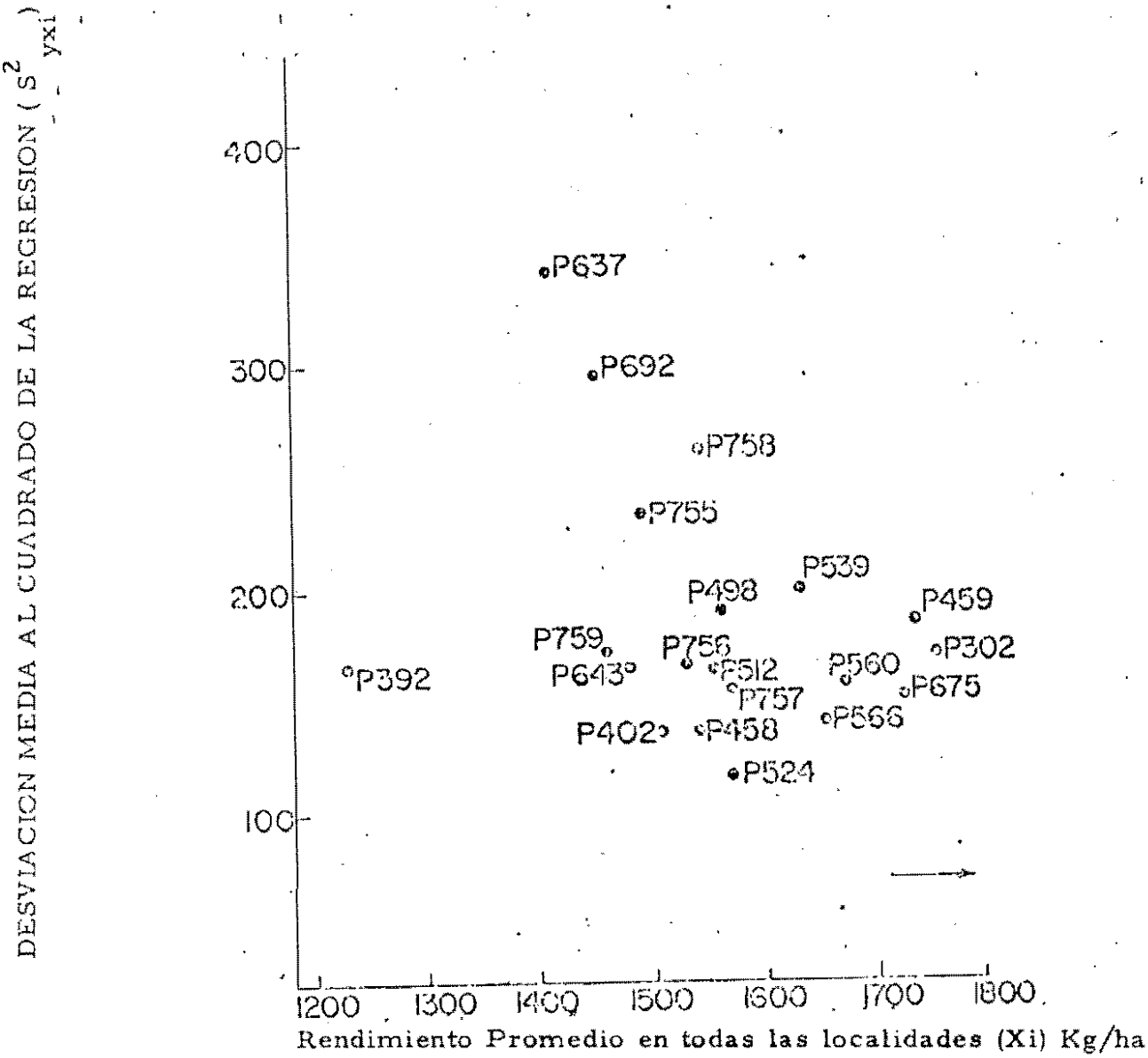

Figura 8. Desviaciones medias al cuadrado de la regresión para las 20 introducciones del IBYAN de 1976 versus el valor del coeficiente de regresión (pendiente).

varietal sobre el rendimiento promedio por localidad (índice ambiental) se puede utilizar como el índice de "estabilidad", siempre y cuando en las regresiones se utilicen los datos de las replicaciones en vez de los promedios varietales. En este caso, el "índice de estabilidad" es una medida de la estabilidad espacial, puesto que mide la desviación de las replicaciones individuales de las líneas de regresión.

A los datos del IBYAN de 1976 se les aplicaron tres métodos : regresión, dominancia estocástica y análisis combinado de la varianza.

6. Análisis del IBYAN de 1976

6.1 Análisis de Regresión

El método propuesto por Eberhart y Russell (anteriormente citados) se modificó con respecto al cálculo del índice ambiental.

El rendimiento promedio de las tres variedades que dieron los mayores rendimientos se utilizó como el índice ambiental del "rendimiento potencial" para el grupo de introducciones. Se obtuvo la regresión del rendimiento varietal por replicaciones contra este índice ambiental en las diferentes localidades. Para cada una de las 20 introducciones del IBYAN comunes en todas las localidades se calculó el rendimiento promedio en todas las localidades ($\bar{\bar{x}}_i$) , la pendiente de la regresión ($\hat{b}_i$) y la desviación media al cuadrado de la regresión ($S^2_{y.x}$). En el primer análisis se excluyeron cuatro localidades de tierras bajas tropicales con un rendimiento muy bajo. En las figuras 1 - 4 se presentan las gráficas del

rendimiento varietal vs. el índice ambiental para cuatro introducciones (P524, P637, P566 y P560).

La gráfica para P524 muestra una curva típica de respuesta varietal al mejorar las condiciones ambientales. En este caso la desviación de la regresión fue muy baja. Por otra parte, la introducción P637 presenta la mayor desviación de la regresión y un bajo coeficiente de regresión ($\hat{b}$). Estas dos últimas variedades presentan una diferencia importante que existe entre las variedades con respecto a esta medida de la "estabilidad espacial" ($S^2_{x.y}$). La introducción P524 presenta muy poca variabilidad entre las replicaciones en la mayoría de las localidades, contrario a lo que ocurre con la introducción P637.

Las gráficas para P566 y P560 muestran otra diferencia importante entre dos variedades aparentemente muy similares morfológica y fisiológicamente; es decir, ambas son de crecimiento indeterminado, erectas, arbustivas (II), de semilla negra, sensibles al fotoperíodo (3N) [1] y presentan una fenología muy similar en la mayoría de las localidades. P560 presenta una pendiente marcada ($\hat{b} = 1,14$), contrario a lo que ocurre con P566 ($\hat{b} = 0,83$), pero el rendimiento promedio entre las diversas localidades y la "estabilidad" son similares en ambas introducciones.

En la Figura 5 se puede hacer una comparación de la posición relativa de las 20 introducciones con respecto al x_i y b_i. La mayoría

---

(1) Escala del 1 al 5 utilizada por el CIAT para medir la sensibilidad al fotoperíodo, basada en los días hasta la floración en días de 18 h en comparación con días de 12 h; N = floración normal.

de las variedades determinadas (I) se encuentran en la esquina izquierda inferior de la gráfica. Tres introducciones negras del tipo II (P302, P675 y P459) se encuentran a la extrema derecha, pero ubicadas por encima o debajo de la línea ($\bar{b} = 1,00$) .

Las introducciones con un $\hat{b}_i > 1,0$ se consideran mejor adaptadas a las localidades de mayores rendimientos y menos adaptadas a las localidades de menores rendimientos, en comparación a otras introducciones. Las introducciones con un $\hat{b}_i < 1,0$ se encuentran mejor adaptadas a las localidades de menores rendimientos y menos adaptadas a las localidades de mayores rendimientos. Una variedad con un rendimiento promedio alto en las diferentes localidades y un $\hat{b}_i = 1,0$ se encuentra relativamente bien adaptada a todas las localidades. Los intervalos de confiabilidad calculados para los datos de los $\hat{b}$ (P = 95%) dieron un valor de $\beta \pm 0,105$. En consecuencia, en este análisis los $b \geq 1,105$ se consideran como $b > 1,0$, en tanto que los $\hat{b} \leq 0,895$ se consideran como $\hat{b} < 1,0$. P498 y P753 son selecciones del tipo III de la misma colección mejicana (Puebla 152) y se separaron con base en el color de la semilla. Las dos introducciones ocupan una posición muy similar en el diagrama. Porrillo I(P757) y Porrillo Sintético (P566) se encuentran en posiciones similares, lo cual indica que los tipos " Porrillo " se pueden adaptar mejor a las condiciones de bajos rendimientos, aunque P566 muestra un mayor rendimiento promedio que P757 en las diferentes localidades.

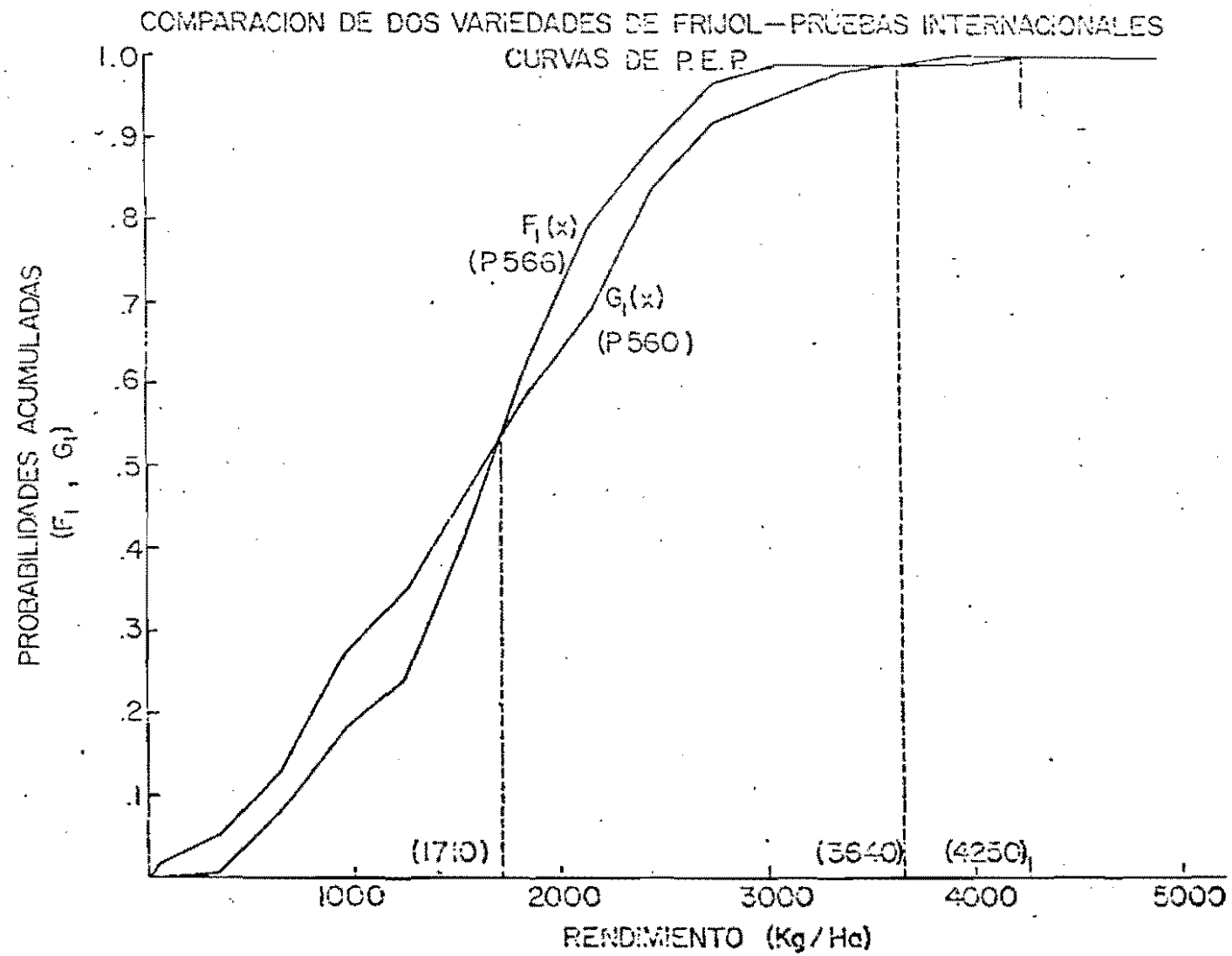

Figura 9. Funciones acumulativas de probabilidad para el rendimiento de dos introducciones en el IBYAN de 1976; 39 localidades fuera de las tierras bajas tropicales.

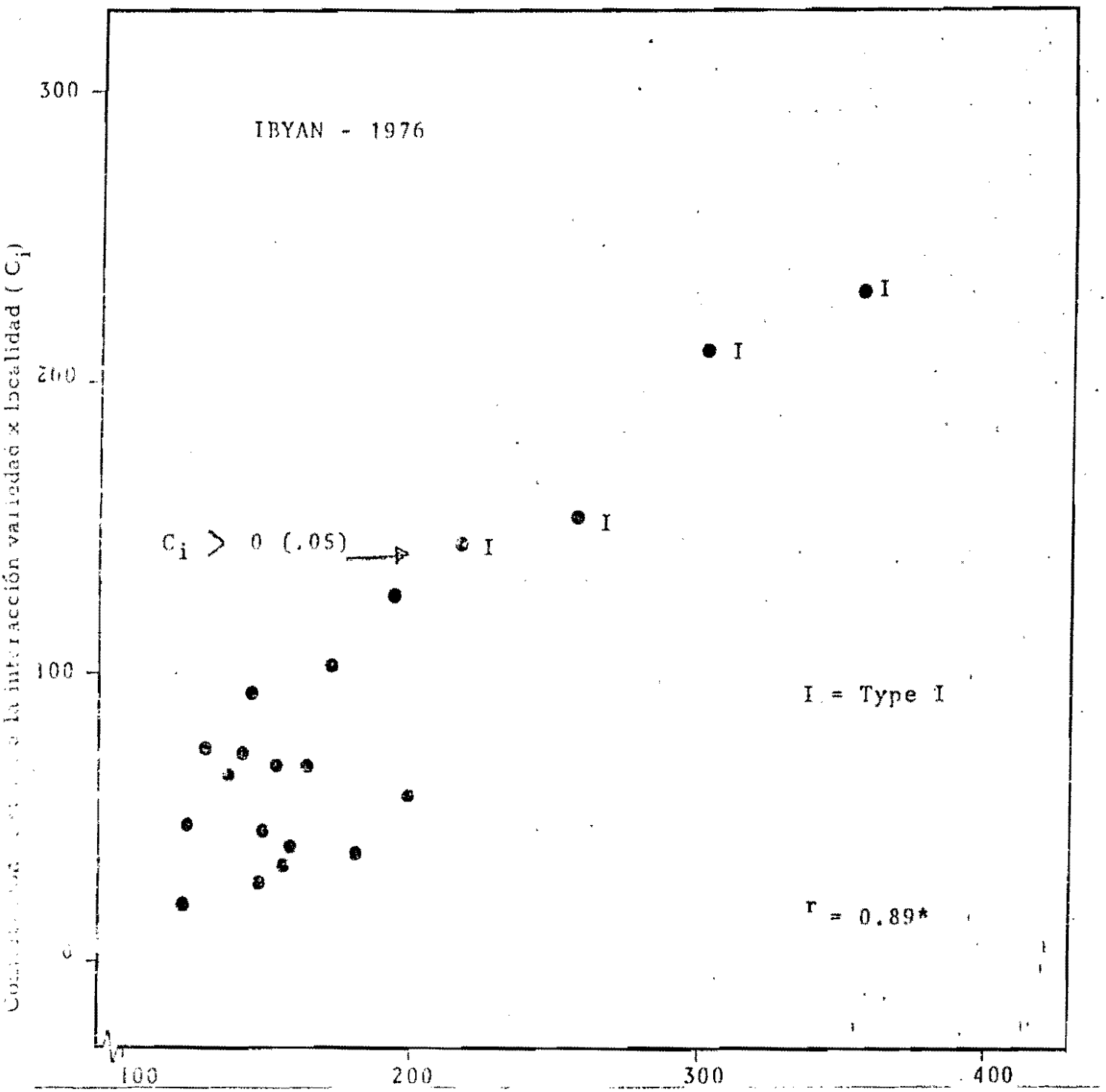

Figura 10 : Gráfica del C_i versus $S^2_{x\ y}$ para 31 localidades en el IBYAN de 1976.

Cuadro 3. Resúmen del análisis de regresión del IBYAN de 1976 en 39 localidades (sin incluir las tierras bajas tropicales) por replicaciones; el índice ambiental corresponde a la media de las tres variedades con mayor rendimiento en cada localidad.

P N°	$\hat{b}_i$	r^2_i	$S^2_{x.y}$	$\bar{X}_i$
566	0.826	0.65	143017	1656.1
459	1.016	0.68	187947	1731.1
498	1.153	0.73	193077	1559.2
539	1.058	0.68	200991	1628.2
458	1.109	0.78	137110	1541.4
756	1.008	0.70	169672	1527.9
643	1.116	0.73	165466	1485.3
392	0.950	0.67	168035	1258.5
637	0.827	0.44	342913	1412.5
692	0.811	0.46	297104	1451.1
758	1.120	0.65	262407	1543.6
402	1.060	0.76	136972	1510.6
302	1.111	0.74	170952	1748.0
560	1.158	0.76	159506	1671.0
757	0.964	0.71	148805	1566.0
675	0.869	0.66	151603	1716.7
759	0.858	0.61	172756	1461.9
755	0.825	0.53	234510	1487.9
512	1.044	0.71	165722	1554.2
524	1.153	0.82	114792	1570.7

$\hat{b}_i$: Pendiente de la regresión del rendimiento varietal versus índice ambiental.

r^2_i : Coeficiente de correlación.

$S^2_{x.y}$: Desviación media al cuadrado de la regresión.

$\bar{X}_i$: Rendimiento promedio varietal en todas las localidades.

Cuadro 4. Orden de dominancia estocástica de las introducciones en el IBYAN de 1976 : número de variedades que dominan a cada introducción y número de variedades dominadas por cada introducción en el primer, segundo y tercer grado de dominancia estocástica.

Introducción	Número de introducciones	
	No. dominantes	No. dominadas
P392	19	0
P637	17	1
P758	14	2
P643	14	2
P692	13	2
P755	13	4
P498	12	1
P458	7	7
P512	6	7
P756	5	7
P560	5	7
P539	4	10
P524	4	8
P402	3	7
P757	2	12
P759	1*	6
P302	1*	15
P675	0	13
P566	0	13
P459	0	16

* Las variedades P759 y P302 se encuentran dominadas por P459 en el segundo grado de dominancia.

La Figura 6 muestra una clasificación esquemática de las posiciones con respecto al rendimiento y a la adaptación relativa, lo cual resume las conclusiones sacadas de la Figura 5.

Los datos de la Figura 7 evidencian que los parámetros $\hat{b}_i$ y $S^2_{x.y}$ son independientes. Las variedades del tipo I (P637, P692, P755) presentan valores muy altos de $S^2_{x.y}$, en tanto que P524 presenta el menor valor. P392 (Sanilac) se adapta a muchas localidades, pero en la mayoría presenta bajos rendimientos. La posición de P392 en la gráfica se ajusta a esta descripción. Similarmente, $S^2_{x.y}$ y el rendimiento promedio (Figura 8) no muestran relación alguna que pudiera indicar alguna dependencia entre estos dos parámetros.

En resúmen, los datos indican que estos tres criterios de selección (amplia adaptabilidad ($\hat{b} = 1,0$), alto rendimiento promedio y alta estabilidad ($S^2_{x.y} > 0$)) se pueden aplicar a las introducciones, con el fin de seleccionar el mejor material. En estos datos los tres parámetros son relativamente independientes. En el Cuadro 3 se presenta un resúmen de los análisis de regresión. El análisis en el cual se utilizaron todas las 44 localidades (incluyendo las tierras bajas tropicales) dio resultados muy similares a los datos presentados anteriormente para las 39 localidades fuera de las tierras bajas tropicales. El análisis en el cual se utilizó el rendimiento promedio las localidades como índice ambiental, dio resultados similares, aunque los coeficientes de correlación fueron ligera-

mente mayores en el análisis reportado.

6.2 Análisis de Dominancia Estocástica

Anderson (1974) discute las bases teóricas para la utilización de la dominancia estocástica en la evaluación de los resultados de la experimentación agrícola. En este caso, el método se puede utilizar para evaluarlas introducciones que sean estocásticamente eficientes o eficientes al riesgo, con base en una serie de reglas de dominancia aplicadas a funciones acumulativas de probabilidad para cada introducción con respecto al rendimiento (por replicaciones). Se describen tres grados de dominancia. En la Figura 9 se presentan las funciones apropiadas de P566 y P560 para los datos del IBYAN para el primer orden de dominancia. En este caso, se puede observar un cambio de dominancia a un rendimiento de 1710 Kg/ha. P566 domina a P560 (función a la derecha) por debajo de 1710 Kg/ha, en tanto que P560 domina a P566 por encima de este nivel de rendimiento. Bajo estas circunstancias se calculan las áreas relativas entre las funciones con el fin de estimar el segundo grado de dominancia. Una variedad sólo domina a otra totalmente en el primer grado, cuando la función se encuentra a la derecha a través de todo el rango de rendimiento.

El punto de cruce en el caso estocástico (1710 Kg/ha) concuerda muy cercanamente con el método de regresión, en el cual las líneas de regresión para estas dos variedades se cruzan en un rendimiento 1640 kg/ha. Por lo tanto, estos resultados apoyan las conclusiones sacadas

en el análisis de regresión con respecto a las introducciones P560 y P566. Los datos en el Cuadro 4 muestran el orden de dominancia para las introducciones. La más eficiente al riesgo es P549 (Jampa), lo cual concuerda totalmente con el criterio indicado anteriormente para el caso de la regresión. P459 domina a P302 (segundo grado), aunque ésta última presenta un rendimiento promedio global ligeramente mayor. Esto era de esperarse puesto que P459 presenta una adaptabilidad más amplia ($\hat{b} = 1,0$) que P302 ($\hat{b} > 1,0$).

La concordancia entre los métodos es alentadora en el criterio para la selección en el análisis de regresión también predice cual es la introducción más eficiente al riesgo.

6.3 Análisis Combinado de Varianza

Plaisted (1960) describió un método mediante el cual se puede calcular el "grado de dependencia" de una introducción particular en una serie de ensayos varietales. El método incluye la estimación de la contribución varietal a la interacción variedad x localidad en un análisis combinado de varianza (ANOVA) de todas las localidades. Amézquita et al (1978) analizaron los datos de ensayos con yuca en el CIAT, y describieron el método utilizado en este caso. Cada variedad se omite secuencialmente del ANOVA combinado y se obtiene un estimativo del C_i. El C_i es la contribución individual de cada variedad a la interacción variedad x localidad. Al C_i para cada variedad se le aplica una prueba de significancia, utilizando la distribución F.

Los valores del C_i calculados para las 31 localidades donde se cultivaron las cuatro replicaciones se compararon con los valores del $S^2_{x.y}$ para las mismas 31 localidades analizadas mediante el método de regresión descrito anteriormente (Figura 9). Los dos métodos presentan un alto nivel de correlación lo cual indica que cualquiera de los dos se puede utilizar para estimar la "estabilidad" o "grado de dependencia". Nuevamente, las introducciones del tipo I presentan un alto nivel de inestabilidad, en tanto que el resto de los materiales se encuentran en una área del diagrama. El método del análisis de varianza tiene valor, puesto que es posible aplicar una prueba de significancia de la inestabilidad. La ventaja del método de regresión es el parámetro adicional (b), lo cual permite disponer de tres criterios para aplicarle a los datos en lugar de solamente dos; es decir, rendimiento promedio y C_i , en el caso del método ANOVA.

7. Adaptación a los Sistemas de Cultivo

Todos los experimentos del IBYAN de 1976 se realizaron bajo condiciones de monocultivo. Es un hecho reconocido que gran parte de la producción de fríjol proviene de regiones donde se utilizan sistemas de policultivo o cultivos múltiples. La dificultad de evaluar internacionalmente el material al utilizar más de un sistema de cultivo experimental, plantea un problema con respecto a la estrategia apropiada.

Las investigaciones realizadas en el CIAT (Francis et al 1978)

en las cuales se han cultivado una serie de genotipos en asociación directa con maíz y en monocultivo, generalmente han mostrado un grado de correlación razonable entre los rendimientos cuando los genotipos se cultivan en los dos sistemas. Los tipos de mayor rendimiento en un sistema generalmente son los de mayor rendimiento en el otro. Las inconsistencias encontradas en los resultados generalmente se relacionan con diferencias muy pequeñas en el rendimiento entre variedades de fríjol de todos los hábitos de crecimiento al cultivarlas en asociación. Esta última observación plantea más de un interrogante con respecto al futuro del mejoramiento genético para sistemas de asociación en los que se presenta competencia. Estos interrogantes se tendrán que discutir en algún seminario futuro.

El equipo del programa de fríjol del CIAT ha reconocido la importancia del mejoramiento de diferentes tipos de plantas con adaptación a las diferentes combinaciones de ambientes/sistemas de cultivo. Se han propuesto cuatro tipos básicos de plantas los cuales se han denominado ideotipos. A continuación se describen brevemente.

7.1 Ideotipo A

Descripción : Hábito de crecimiento II, indeterminado, floración y madurez temprana, tallo principal erecto, ramas erectas, limitada producción de nudos en el tallo principal después de la floración y hábito de crecimiento estable.

Sistemas : Sistemas de monocultivo, relevo o asociación que

requieren variedades arbustivas de madurez temprana, pero en los cuales las densidades de siembra se pueden mantener a niveles de por lo menos 200×10^3 plantas establecidas/ha; sistemas en los cuales un alto rendimiento por día es de importancia crítica.

7.2 Ideotipo B

Descripción : Hábito de crecimiento II, indeterminado, floración y madurez relativamente tardía, tallo principal erecto, resistente al volcamiento, producción de nudos en el tallo principal después de la floración consistente con la resistencia al volcamiento, ramas erectas, vainas fuera del contacto con el suelo en la madurez y hábito de crecimiento estable.

Sistemas : Sistemas de monocultivo, relevo o asociación que requieran una variedad de fríjol de madurez tardía, donde la precipitación sea adecuada para materiales de ciclo de cultivo más largo y donde las densidades se puedan mantener a niveles de por lo menos 200×10^3/ha ; sistemas donde se requiere un alto rendimiento por ciclo de cultivo y donde sea posible alguna mecanización de la producción.

7.3 Ideotipo C

Descripción : Hábito de crecimiento III, tipo indeterminado postrado con gran cantidad de ramas, floración temprana pero con un período de floración prolongado, tendencia a trepar bajo condiciones de sombrío, pero que en situaciones no competitivas permanezca básicamente de tipo arbustivo; variedades con un alto nivel de estabilidad u homeostasis.

Sistemas : Sistemas de monocultivo, relevo y asociación donde la densidad de siembra o la población final sea baja; densidades de población menores de 150 x 10^3/ha; sistemas en los cuales la precipitación frecuentemente sea limitante y variable, básicamente para los sistemas rústicos del agricultor pequeño en los cuales el fríjol trepador no se favorezca (los tipos de hábito de crecimiento III son aparentemente más fáciles de cosechar y pueden presentar mayor estabilidad que los materiales del tipo IV en muchos ambientes).

7.4 Ideotipo D

Descripción : Hábito de crecimiento IV, fríjol trepador con poca ramificación, un rango de tipos de madurez apropiado estaciones de crecimiento de duración variable, pero con énfasis particular en los tipos tardíos aptos para su asociación con maíz y en los tipos tempranos para su utilización en sistemas de relevo en la segunda mitad de las estaciones lluviosas del subtrópico.

Sistemas : Sistemas de monocultivo de fríjol trepador en soportes artificiales y de relevo con tallos de maíz maduros como soporte, o en asociación directa (con fechas similares de siembra para las dos especies asociadas); densidades de población de por lo menos 120 - 150 x 10^3/ ha, puesto que la compensación de las ramas de los tipos trepadores en bajas densidades no es tan eficiente como en los materiales de ramificación numerosa del tipo III.

Los ideotipos descritos no pretenden ser totalmente rígidos ; es muy obvio que se obtendrán materiales de los segregantes los cuales serán de tipo intermedio. Los cuatro tipos se proponen como directrices para adelantar la selección de progenitores y progenies, con el fin de cubrir la diversidad de circunstancias bajo las cuales se cultiva fríjol. Aparentemente no existe una razón válida para no incluir los tres ideotipos arbustivos en el mismo experimento del IBYAN si se hace el reconocimiento adecuado del valor de los diferentes tipos.

Un comentario importante con relación a los ideotipos es el referente a su grado de crecimiento determinado. En las proposiciones originales se describió una planta de crecimiento determinado (tipo I) como el tipo temprano para el Ideotipo A. Los resultados de las selecciones adelantadas y los datos recientes del IBYAN indican que muchos materiales del tipo I presentan un nivel muy bajo de estabilidad y adaptabilidad. Por este motivo, las recomendaciones se han modificado en que el tipo de planta para las variedades de madurez temprana deben ser del tipo II de madurez temprana y crecimiento indeterminado.

8. Selección por Componentes de la Adaptabilidad y Estabilidad

La selección de los materiales parentales más apropiados es probablemente la parte más crítica de cualquier programa de mejoramiento genético, independientemente del plan de mejoramiento adoptado. Los programas tales como el IBYAN y ensayos de rendimiento realizados por

los programas nacionales, proporcionan el medio más efectivo para seleccionar los progenitores apropiados. En apoyo a este trabajo, es posible seleccionar las colecciones del germoplasma por diversos componentes de la adaptabilidad, como un medio para identificar progenitores con caracteres específicos. La contribución más obvia a la estabilidad del rendimiento será a través de la selección por resistencia/tolerancia a enfermedades e insecto. Tanto en el CIAT como en otras partes, se están estudiando varios componentes fisiológicos de la adaptación, incluyendo los siguientes :

1. Respuesta de la sensibilidad al fotoperíodo.
2. Tolerancia al exceso de agua en el suelo.
3. Resistencia/tolerancia a la falta de agua.
4. Adaptabilidad a diferentes regímenes de temperatura.
5. Estabilidad del hábito de crecimiento.

8.1 Sensibilidad al Fotoperíodo

La totalidad de las selecciones promisorias del CIAT se han seleccionado por su respuesta al fotoperíodo. Aproximadamente el 40 por ciento de las 800 líneas son insensibles al fotoperíodo bajo las condiciones de temperatura en el CIAT (temperatura promedio de 23,8°C). La insensibilidad ocurre en todos los hábitos de crecimiento, con una tendencia a un mayor grado de sensibilidad en los hábitos de crecimiento III y IV.

En los datos del IBYAN de 1976 no se ha evaluado totalmente la importancia de la respuesta al fotoperíodo. Está claro que las tres introducciones de mayor rendimiento en las diferentes localidades (P459, P302 y P675) son insensibles al fotoperíodo. Los resultados del IBYAN de 1977 proporcionarán un juego de datos más apropiados para sus análisis, debido a los efectos confusos del hábito de crecimiento con la mala adaptación en el caso de los materiales determinados del tipo I, los cuales también son sensibles al fotoperíodo. En la universidad de Cornell (con la colaboración del Dr . Wallace y sus estudiantes) se están estudiando las interacciones entre la temperatura y el fotoperíodo.

8.2 Tolerancia al Exceso de Agua

Se están recopilando evidencias las cuales indican que el exceso de agua en el suelo durante algunas etapas del ciclo de crecimiento limitan el rendimiento del fríjol. En 1977 se realizaron selecciones de materiales por su tolerancia a este factor; se utilizaron campos inundados en los cuales el fríjol se cultivó en camas por encima del nivel del agua. Los resultados indican que existen diferencias genéticas relativamente grandes en lo que respecta a la tolerancia al exceso de agua en el suelo. Se han seleccionado más de 100 líneas promisorias y los materiales tales como Porrillo Sintético (P566) e ICA Pijao (P675) presentan un alto nivel de tolerancia, en tanto que las diversas líneas Jamapa en la colección sólo presentan una tolerancia moderada.

8.3 Resistencia/tolerancia a la Falta de Agua

Los resultados de trabajos de selección de materiales bajo condiciones de sequía, realizados conjuntamente en La Molina en Perú, han sido confusos, debido a un fenómeno aún sin explicar el cual se asocia con la mala adaptación de muchas introducciones al ambiente de estos llanos costaneros.

El primer trabajo de selección realizado en el CIAT utilizando la termometría de rayos infrarrojos como una medida de la temperatura de la cobertura foliar bajo condiciones de sequía, promete proporcionar un método rápido de selección por la presencia de condiciones de estrés en materiales bajo ensayo. Esto permitirá hacer una evaluación del grado de incidencia de la falta de agua sobre la reducción del rendimiento bajo dichas condiciones.

8.4 Adaptación a la Temperatura

Actualmente se adelantan experimentos con 40 líneas en cinco localidades de Colombia (altitudes desde 800 hasta 2650 m). Los resultados preliminares indican que se dispone de material con una adaptación relativamente amplia a diferentes condiciones de temperatura, por lo menos hasta una altitud de 1900 m (temperatura promedio de 19°C). Los ensayos de rendimiento anteriormente realizados en el CIAT en altitudes moderadas y altas también proporcionan una buena evidencia de que se dispone de una adaptación relativamente amplia a la temperatura. La situación con relación a las tierras bajas tropicales (temperatura $>$ 26°C) no

parece favorable al analizar los datos del IBYAN, aunque frecuentemente se confunde con una alta incidencia de enfermedades.

8.5 Estabilidad del Hábito de Crecimiento

Kretchmer et al (sin publicar) obtuvieron algunos resultados interesantes en la universidad de Cornell, en los cuales la reacción de fitocromo se encuentra implicado en la inestabilidad del hábito de crecimiento; es decir, trepador en algunos ambientes, pero arbustivo en otros. La aplicación de 15 minutos de luz roja (660nm) durante el período de oscuridad indujo al material inestable a trepar; es decir, un aumento marcado en la extensión del tallo. Se tiene planeado probar el método en el CIAT en selecciones de campo. Los genotipos que presentan un alto grado de crecimiento del tallo con el tratamiento de luz roja en comparación con la parcela testigo también pueden ser tipos inestables en otros ambientes.

Los datos obtenidos en las diversas selecciones de adaptación se [illegible] y se utilizarán como base para refinar la selección parental según las prioridades basadas en los factores que más limitan la adaptabilidad y estabilidad del comportamiento. Los datos también se pondrán a disposición de otros usuarios potenciales a través de publicaciones [illegible] preparadas por el CIAT.

10. Agradecimientos

El autor agradece la colaboración del siguiente personal del CIAT en la preparación de este documento : Gastón Mendoza y María Cristina Amézquita por su colaboración con los análisis de regresión y varianza; John Sanders y Camilo Alvarez por su colaboración con el análisis de dominancia estocástica. Un agradecimiento especial a mi colega Oswaldo Voysest por la gran calidad de su trabajo en el IBYAN y por sus sugerencias útiles con respecto al análisis del IBYAN en general.