INTERACCION GENOTIPO-AMBIENTE DE CUARENTA CLONES DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) EN EL VALLE DEL CAUCA

TESIS

Presentada al Programa de Estudios para Graduados en Ciencias Agrarias, Universidad Nacional - Instituto Colombiano Agropecuario (ICA)

Por

HUMBERTO QUINTERO GOMEZ
[1]

Como requisito parcial para optar al grado de

MAGISTER SCIENTIAE

Bogotá, Colombia

1.981

TESIS APROBADA POR:

COMITE CONSEJERO

Dr. FRANCISCO OCAMPO R. M.S.

Dr. FERNANDO FORERO R. Ph.D.

Dr. RODOLFO BARRIGA O. Ph.D.

"El presidente de tesis y el consejo examinador de grado no serán responsables de las ideas emitidas por el candidato". (Artículo 217 de los Estatutos de la Universidad Nacional).

A mi Esposa e hijos

A mis familiares y amigos

AGRADECIMIENTOS

A los miembros del Comité Consejero:

Francisco Ocampo R., M.S. Coordinador Nacional Programa de Cacao del ICA Consejero principal de estudios.

Fernando Forero R., Ph.D. División de Estadística del ICA.

Rodolfo Barriga O., Ph.D. Programa de Fitopatología del ICA.

A los doctores Pedro Oñoro C., Ph.D, Orlando Martínez W., Ph.D, Julio Henao D., Ph.D, Jorge Franco G., M.S., por su colaboración en el análisis estadístico y en la interpretación de resultados.

Al Instituto Colombiano Agropecuario ICA, quien por medio del Programa de Cacao me brindo la oportunidad para realizar mis estudios de post-grado, haciendo posible la culminación de los mismos.

CONTENIDO

	Página
1. INTRODUCCION	1
2. REVISION DE LITERATURA	4
2.1. Estudios de Adaptación	4
2.1.1. Conceptos Generales	4
2.1.2. Estudios sobre interacción genotipo-ambiente	5
2.2. Métodos Estadísticos para determinar estabilidad fenotípica	17
3. MATERIALES Y METODOS	23
3.1. Localización del Experimento	23
3.2. Suelos	23
3.3. Clima	23
3.4. Material Experimental	23
3.4.1. Manejo del Experimento	26
3.4.2. Diseño	26
3.4.3. Variables Medidas	28
3.5. Análisis Estadísticos	28
3.6. Interpretación de los parámetros	34
4. RESULTADOS Y DISCUSION	36
4.1. Adaptación de Clones	36
4.1.1. Análisis Combinado de Varianza	36
4.1.2. Indices Ambientales y Coeficientes de Variación	36

	Página
4.1.3. Coeficientes de Regresión	39
4.1.3.1. Variable Número de Mazorcas	40
4.1.3.2. Variable Peso Seco	44
4.1.3.3. Variable Indice de Mazorca	47
4.2. Estabilidad de Clones	51
4.2.1. Líneas de Regresión	51
4.2.1.1. Variable Número de Mazorcas	51
4.2.1.2. Variable Peso Seco	54
4.2.1.3. Variable Indice de Mazorca	55
4.3. Discusión de Resultados	57
5. CONCLUSIONES	59
6. RESUMEN	62
7. SUMMARY	64
8. BIBLIOGRAFIA	66

LISTA DE TABLAS

Tabla		Página
1	Resultado del análisis de una muestra de suelo tomada entre 0 y 20 cm., de profundidad en el Centro Experimental Palmira.	24
2	Factores ambientales registrados durante 9 años en la Estación Metereológica del Centro Nacional de Investigación Palmira.	25
3	Lista de los 40 clones incluidos en este estudio.	27
4	Análisis combinado de varianza y cuadrados medios esperados de los clones en a años.	30
5	Análisis combinado de varianza y cuadrados medios de los caracteres número de mazorcas, peso seco e índice de mazorca para los 40 clones en los 9 años.	37
6	Indices ambientales y coeficientes de variación para las variables número de mazorcas, peso seco de granos e índice de mazorca durante un período de 9 años.	38
7	Valores promedios, coeficientes de regresión y desviaciones de la regresión para número de mazorcas por parcela, de 40 clones. Datos combinados de 9 años.	41
8	Valores promedios, coeficientes de regresión y desviaciones de la regresión para peso de cacao seco, en gramos por parcela, de 40 clones. Datos combinados de 9 años.	45
9	Valores promedios, coeficientes de regresión y desviaciones de regresión para índice de mazorca, de 40 clones. Datos combinados de 9 años.	49

. LISTA DE FIGURAS

Figura

1 Zonificación para los clones de acuerdo con su rendimiento promedio y coeficiente de regresión.

2 Ubicación de los clones según su rendimiento y coeficiente de regresión para la variable número de mazorcas.

3 Ubicación de los clones según su rendimiento y coeficiente de regresión para la variable peso seco.

4 Ubicación de los clones según su rendimiento y coeficiente de regresión para la variable índice de mazorca.

5 Líneas de regresión de los clones específicos para buenos ambientes en función de la variable número de mazorcas.

6 Líneas de regresión de los clones con adaptación pobre en función de la variable número de mazorcas.

7 Líneas de regresión de los clones específicos para malos ambientes en función de la variable número de mazorcas.

8 Líneas de regresión de los clones con adaptación promedia en función de la variable número de mazorcas.

9 Líneas de regresión de los clones con adaptación buena en función de la variable número de mazorcas.

10 Líneas de regresión de los clones específicos para buenos ambientes en función de la variable peso seco.

11 Líneas de regresión de los clones para adaptación pobre en función de la variable peso de cacao seco.

12 Líneas de regresión de los clones específicos para malos ambientes en función de la variable peso de cacao seco.

13 Líneas de regresión de los clones para adaptación promedia en función de la variable peso de cacao seco.

Figura

14 Líneas de regresión de los clones para adaptación buena en función de la variable peso de cacao seco.

15 Líneas de regresión de los clones específicos para buenos ambientes en función de la variable índice de mazorca.

16 Líneas de regresión de los clones para adaptación pobre en función de la variable índice de mazorca.

17 Líneas de regresión de los clones específicos para malos ambientes en función de la variable índice de mazorca.

18 Líneas de regresión de los clones para adaptación promedia en función de la variable índice de mazorca.

19 Líneas de regresión de los clones para adaptación buena en función de la variable índice de mazorca.

1. INTRODUCCION

La existencia de variaciones ambientales no le permite al investigador dar recomendaciones en material mejorado, en base a datos obtenidos en una sola localidad ó en un solo año. Desde el punto de vista del mejorador de plantas, los valores genotípicos deben medirse haciendo referencia a un conjunto particular de ambientes, generalmente los que ocurren a lo largo de un período de años y en varias localidades dentro de una zona geográfica comparativamente homogénea.

Por lo general, el mejorador de plantas hace pruebas de rendimiento con sus mejores líneas o variedades experimentales en diferentes localidades y épocas, observando variación en el comportamiento de una misma variedad en ambientes diferentes. Esta variación de rendimiento se debe en parte al efecto del error experimental y a la interacción genotipo por ambiente.

En cultivos perennes, la dinámica de un programa de mejoramiento genético hace que el investigador requiera de un período que incluye varios años para obtener resultados de sus ensayos experimentales. Según la bibliografía consultada en cacao, no se conocen estudios de interacción genotipo-ambiente. Por esta razón, se consideró importante obtener información al respecto con base en los registros de producción tomados durante 9 años, en un experimento sembrado en 1.961 en el Centro Nacional de Investigación, Palmira.

Los objetivos específicos del presente estudio fueron :

Estudiar la interacción genotipo por ambiente y la estabilidad fenotípica de 40 clones de cacao, en función de las variables: Número de mazorcas, Peso de cacao seco, é Indice de mazorcas.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1. Estudios de Adaptación.

2.1.1. Conceptos Generales.

Es bien conocido que el fenotipo refleja influencias ambientales y genéticas y, además, que los genotipos responden distintamente a las variaciones ambientales. Esta respuesta diferencial de los efectos hereditarios y ambientales en el desarrollo de los organismos, dan origen a un importante grupo de parámetros que constituyen interacciones de genotipo-ambiente.

Lerner (1.954) y Lewontin (1.957), usaron el término población homogénea para referirse a cruzamientos simples y líneas puras, dependiendo su estabilidad fenotípica enteramente de la flexibilidad individual; y población heterogénea, para cruzamientos dobles y triples, los cuales pueden ser fenotípicamente estables, como consecuencia de su flexibilidad poblacional e individual. En opiniones de los autores, los términos anteriores están relacionados con el concepto de homeostasis, el cual describe la aptitud de una población para mantener una frecuencia de genes óptima.

Allard (1.956), demostró que estimativos de estabilidad de ciertos parámetros genéticos bajo diferentes condiciones ambientales, pueden ser obtenidos de experimentos dialélicos replicados en tiempo y/o espacio.

Con base en la distinción entre genotipo y fenotipo hecha por Johansen y la comprobación de Nilsson-Ehle y East, de que los caracteres cuantitativos se heredan de acuerdo con las leyes genéticas de Mendel, Allard (1.960), representó la expresión de un fenotipo con una ecuación líneal de la siguiente manera:

$$A = u + a + e + ae$$

en donde:

A es la producción de la variedad,

u es el promedio de la población,

a es el efecto del genotipo,

e es el efecto del ambiente y

ae es la interacción genotipo-ambiente.

Comstock y Moll (1.963), discutieron cómo las interacciones entre genotipos, localidades y años pueden afectar los objetivos y metas de los programas de mejoramiento. Si el propósito es desarrollar variedades de altos rendimientos y amplia adaptación ambiental, el valor de la interacción genotipo por ambiente debe ser pequeño; en cambio, si se planea producir tipos mejorados de adaptabilidad específica, este valor será superior.

Según Allard y Brandshaw (1.964), las implicaciones de las interacciones variedad x año, son muy diferentes a la variedad x localidad, debido a que las fluctuaciones de un año a otro no se pueden predecir y el me

jorador se le dificulta dirigir un programa para obtener variedades ajustadas a circunstancias especiales que no se pueden prever.

Robinson y Cockerham (1.965), hacen la observación de que parámetros genéticos estimados deben ser independientes de los efectos ambientales y que esta condición se satisface si no existe interacción con ambientes; para eliminar esta dificultad, es posible probar los genotipos en varios ambientes, de tal forma que pueda separarse la varianza debida a las interacciones de genotipos y ambientes, de las varianzas genéticas.

Freeman y Perkins (1.971), hicieron objeciones estadísticas al uso del análisis de la regresión, especialmente en lo relativo a la medida del ambiente; esta medida, debe ser independiente de los valores genotípicos para un análisis válido de la regresión. Estos autores propusieron algunas medidas más adecuadas del ambiente, entre las cuales vale la pena destacar el uso de un genotipo control en cada ambiente, de suerte que la regresión se haga en base al promedio de estos controles y no en base al promedio de todos los genotipos.

2.1.2. Estudios sobre interacción genotipo-ambiente.

Son muchos los estudios que se han hecho para determinar los parámetros de interacción genotipo-ambiente, principalmente en cultivos transitorios, siendo pocos los realizados en cultivos perennes.

a) Maíz

Sprague y Federer (1.951), al evaluar diversos genotipos de maíz, encontraron que los valores estimados de las componentes de varianza correspondientes a las interacciones genotipo x localidad y genotipo x año, fueron mayores en el material genéticamente uniforme (cruces simples) que en el geneticamente diverso (cruces dobles ó cruzamientos línea por variedad).

Rojas y Sprague (1.952), trabajaron con líneas endocriadas de maíz previamente seleccionadas y encontraron que la interacción aptitud combinatoria específica por año ó localidad fué superior a la correspondiente aptitud combinatoria general.

Jones (1.958), registró coeficientes de variación menores para cruzamientos dobles (c.v. = 12.3%) que para cruzamientos simples (c.v.= 21.4%), por lo cual la diversificación es altamente usada en la producción de maíz y presume estabilidad y consistencia en su comportamiento.

En un estudio realizado en 5 localidades durante 5 años, Robinson y Moll (1.959), encontraron que la fluctuación de genotipos de maíz en diferentes ambientes no fue asociada a un ambiente en particular por localidad ó año. Un segundo orden de interacción de variedad x localidad x año fué alto e indicó que factores ambientales causaron fluctuación en el comportamiento para varias localidades y años.

Matzinger et al (1.959), trabajando en maíz, encontraron que efectos genéticos aditivos presentaron mayor interacción con el ambiente que los efectos no aditivos.

Shank y Adams (1.960), estudiaron varios caracteres en la planta y mazorca del maíz, y encontraron en varios ambientes que líneas endocriadas son menos estables que sus híbridos F_1. Los coeficientes de variación dentro de parcelas fueron más altos en líneas endocriadas que en los híbridos, para los caracteres, altura de la mazorca y de la planta, peso, longitud y maduración de la mazorca.

Rowe y Andrew (1.964), encontraron diferencias en estabilidad entre grupos genotípicos de maíz, tendiendo los heterocigotos a un comportamiento superior bajo condiciones favorables, pero desproporcionalmente reducido bajo condiciones desfavorables.

En cambio Arboleda et al (1.965), trabajaron con 11 variedades mejoradas de maíz y un testigo, en seis localidades de la Costa Atlántica de Colombia y concluyeron que cuando se diversifica profusamente el recurso genético de materiales mejorados, es posible obtener maíces para una gran diversidad de ambientes desde centros de producción situados en pisos térmicos diferentes.

Scott (1.967), encontró que la selección para estabilidad de rendimiento fue bastante efectiva en líneas de maíz y sugiere que está controlada genéticamente.

Creech et al (1.968), trabajaron con 14 híbridos de maíz dulce en 5 localidades, durante 3 años y determinaron interacciones genotipo-ambiente para 13 características de la planta y la mazorca, siendo los resultados no significativos.

Martinez et al (1.970), por medio del coeficiente de regresión, estudiaron la estabilidad del peso seco, peso de granos, número de granos y número de mazorcas por planta en las variedades de maíz, Cundinamarca 365 y Ecuador 466 y sus generaciones F_1, F_2 y F_4 y encontraron mayor estabilidad en la F_1 y en los caracteres peso seco y número de mazorcas por planta.

Diaz et al (1.974), usando el modelo propuesto por Eberhart y Russell (1.966), estudiaron la estabilidad fenotípica de seis maíces mejorados de clima frío, encontrando que el componente de la interacción y el coeficiente de regresión "bi", fueron los más adecuados para conocer el comportamiento de los seis genotipos en las localidades usadas.

b) Trigo

Salmon (1.951) y Horner y Frey (1.957), de acuerdo con resultados comparativos entre genotipos de trigo sembrados en varios años y localidad, determinaron que las interacciones genotipo x localidad y genotipo x estación, como índices de adaptabilidad, ofrecen poca información acerca de las reacciones de estabilidad de genotipos individuales, y que su inter

pretación se dificulta cuando se prueban muchos de ellos.

Joppa et al (1.971), trabajando en trigo, usaron la desviación sobre la regresión como una medida de la interacción variedad por ambiente, concluyendo que cada variedad tiene un propio valor de regresión, así como también la desviación de esta regresión.

McGuirre y McNeal (1.974), en un estudio en trigo realizado en 25 localidades, concluyeron que características de calidad en sus cultivares no responden similarmente cuando el ambiente es favorable.

Varela y Franco (1.974), trabajaron con 25 variedades de trigo en 12 localidades durante un semestre y encontraron resultados más notorios en las variedades promisorias aún no comercializadas, las cuales presentaron buena adaptabilidad y rendimiento óptimos en los ambientes estudiados.

c) Avena

El uso de diversidad genética más bien que variedades homogéneas fue sugerido por Jensen (1.952), como un medio de reducción en la interacción genotipo-ambiente, cuando diseñó el uso de variedades multilineales en avena para dar una mayor protección contra la roya.

Pacucci (1.969), usando avena con tratamiento mutagénico, estudió la estabilidad fenotípica de las siguientes características: peso de semilla, altura de la planta y rendimiento en grano y encontró que el coeficiente

de regresión en las líneas de poblaciones tratadas varió más que en las líneas no tratadas.

Qualset y Granger (1.970), usando las variedades de avena Blount y Forkedeer, estudiadas en forma individual y en mezclas del 25, 50 y 75% de cada variedad, en 4 localidades y durante 3 años, obtuvieron con las mezclas rendimientos en grano ligeramente superiores y altamente significativos.

d) Cebada

Finlay y Wilkinson (1.963), usaron el coeficiente de regresión para estudiar la adaptación de 277 variedades de cebada, durante varias estaciones en tres localidades del sur de Australia. Encontraron en la variedad Atlas, un coeficiente de regresión de 0.90 con rendimientos por encima del promedio general, lo cual lo haría estable a todos los ambientes estudiados; mientras que la variedad Bankuti korae, resultó específica para ambientes malos (b = 0.14) y rendimientos por encima del promedio de estos ambientes. Además los autores conceptuaron que las variedades precoces tienden a adaptarse a los ambientes de bajos rendimientos y las tardías a los ambientes de alto rendimiento.

Rasmussen y Lambert (1.965), encontraron que la componente variedad x año fue cuatro veces mayor que la componente variedad x localidad en ensayos en cebada, siendo aún mayor la componente variedad x localidad x año.

Rassmusson (1.968), no pudo obtener una conclusión definitiva respecto a las relaciones entre el nivel de diversidad genética y estabilidad en variedades de cebada, aunque las variedades con mayor diversidad fueron ligeramente más estables.

e) Sorgo

Ross (1.965), estudió el comportamiento de 5 híbridos y 2 compuestos de sorgo en una localidad durante 5 años. El rendimiento promedio de todos los compuestos para todo el período no fue diferente significativamente al promedio de todos los híbridos.

En Iowa Reich y Alkims (1.970), utilizaron 8 líneas parentales, 16 híbridos F_1 y 16 compuestos de sorgo en 9 localidades durante un período de dos años; los compuestos presentaron un rendimiento promedio alto en todos los ambientes, una baja desviación de la regresión y un promedio en el coeficiente de regresión cercano a 1.0, considerándose como la población más estable.

Patanothai y Atkins (1.974), realizaron ensayos de rendimiento en sorgo durante 3 años, en Iowa; los estimativos de los parámetros que describen estabilidad de comportamiento en los ambientes indicaron que los híbridos triples fueron ligeramente más estables que los híbridos simples fértiles.

f) Algodón

En algodón Kohel (1.969), observó el comportamiento de 9 líneas parentales y sus progenies F_1, durante 2 años. Halló que la varianza en líneas homocigotas fue menor para tres de los cinco caracteres que se dividieron en comparación con la de los híbridos F_1 resultantes del cruzamiento de las líneas.

Abou-El-Fittoh et al (1.969), trabajaron con cuatro variedades de algodón en 101 ambientes. Los resultados del análisis de varianza mostraron que los componentes de interacción genotipo-ambiente fueron significativos para rendimiento y de poca significancia para tamaño de cápsula, porcentaje de "linter" e índice de semilla.

Murray y Verhalen (1.970), trabajaron con once variedades de algodón en tres localidades de Oklahoma, durante tres años. Al analizar los cuadrados medios encontraron significancia en los caracteres longitud y grado de resistencia en la fibra, para la componente años y valores altamente significativos en el caracter rendimiento para la componente localidades.

En otro trabajo Verhalen y Murray (1.970), estudiaron 10 variedades de algodón en una localidad durante dos años; el análisis de los cuadrados medios para la interacción variedad por año, dió valores significativos para calidad de fibra y no significativos para longitud y resistencia de la fibra. Por tenerse solamente una localidad se consideró como un es

timativo confundido.

Miller et al (1.970), trabajaron con 15 variedades de algodón en 9 localidades de Carolina del Norte por un período de 3 años y encontraron valores significativos en la interacción variedad por año, para las características longitud y grado de resistencia de la fibra; la interacción variedad por localidad por año mostró valores significativos en rendimiento de linter y longitud y grado de resistencia de la fibra.

Quisemberry y Kohel (1.971), estudiaron los efectos del nivel de ploidía y heterocigocidad en la estabilidad fenotípica de ciertas líneas endocriadas de algodón y sus híbridos F_1; el nivel de ploidía no afectó significativamente la estabilidad fenotípica de los 8 caracteres estudiados. La heterocigocidad intergenomial asociada con anfiploidía no presentó ninguna mejora en la aptitud de las plantas de algodón para ajustarse a las fluctuaciones del ambiente.

g) Soya

Smith et al (1.967), investigaron la estabilidad fenotípica de diferentes genotipos de soya y encontraron que aquellos promedios de estabilidad superiores estuvieron menos influenciados por el ambiente, con tendencia a bajas desviaciones de la regresión para coeficientes de regresión menores de 1.0.

Byth y Weber (1.968), utilizaron dos poblaciones de soya y encontraron

que las líneas derivadas de la F_2 tenían mayor estabilidad fenotípica, a través de los ambientes que las líneas procedentes de F_5, con relación al grado de heterogeneidad genética dentro de las líneas a partir de la F_2. En cambio hubo uniformidad en líneas originadas de F_5, debido en gran parte a la alta interacción genotipo ambiente de los caracteres estudiados.

Buitrago et al (1.972), estudiaron la adaptabilidad de 16 líneas de soya, por medio de los parámetros coeficientes de regresión y rendimiento promedio, propuestos por Plaisted y Peterson (1.959), y hallaron buena estabilidad en los genotipos estudiados.

h) Frijol

Camacho (1.968), estudió la adaptabilidad de líneas homocigotas de frijol, empleando el método Plaisted y Peterson (1.959), y encontró buena estabilidad en la mayoría de las líneas estudiadas.

i) Tomate

Lewis (1.954), estudió el efecto del ambiente sobre el número de flores por inflorescencia en tomate, en las generaciones F_1, F_2, F_3 y en retrocruzamientos de una variedad con alto número de flores y otra de bajo número. Escogió ambientes favorables para alto y baja expresión del carácter y encontró que las poblaciones heterocigotas (generaciones F_1) eran más estables que las homocigotas en ambos ambientes.

Según Hayman (1.958), la separación de efectos de los genes involucra en la conducta del rendimiento en tomate, estabilidad en la acción de los genes año a año.

j) Tabaco

Jinks y Stevens (1.959), encontraron en Tabaco que efectos genéticos aditivos no tienen variación estacional, no ocurriendo lo mismo con los efectos epistáticos, los cuales si mostraron influencia estacional.

k) Cacao

La literatura que fue posible consultar no registra trabajos de interacción genotipo-ambiente en cacao. Hay estudios sobre la influencia de las condiciones ambientales en relación a varias características del cultivo, entre ellos el rendimiento. A continuación se citan algunos de estos estudios.

Jones y Maliphant (1.958), atribuyeron los altos rendimientos obtenidos en cacao, en experimentos hechos en Trinidad, al clima óptimo prevalente en ciertos años y al tamaño de la planta. Además, destacaron la influencia del buen manejo de los árboles, en las altas producciones.

Bartley (1.971), agrupó en períodos de 3 años (etapas de producción), los rendimientos individuales, tomados por árbol durante 9 años en dos ensayos de progenie. Al analizar los datos encontró que las correlaciones

para cada período fueron positivas y casi todos los coeficientes de correlación fueron significativos para los 11 cultivares estudiados. En estos trabajos las correlaciones entre el período de producción y períodos posteriores, decrecieron al aumentar la edad de las plantas debido a alteraciones en su comportamiento; con base en este resultado y baja hereditabilidad, concluyó que la selección fenotípica en los primeros años de producción no era satisfactoria como una medida del comportamiento posterior de las plantas.

Esquivel y Soria (1.967), estudiaron la variabilidad de algunos componentes del rendimiento en poblaciones híbridas interclonales de cacao y encontraron gran variabilidad entre individuos de una misma combinación híbrida, lo cual indica que uno o ambos cultivares padres son bastante heterocigotos para los factores genéticos que controlan producción; además que, el índice de mazorca de la mayoría de los árboles estaba más cercano al padre de las mazorcas más grandes y una proporción baja se agrupaba hacia el lado de mazorcas pequeñas y alta correlación entre el peso húmedo de las semillas y el número de mazorcas que demuestra que el número de mazorcas es una medida confiable de la capacidad de producción.

Ocampo (1.972), en estudio de la influencia genética de algunos cultivares de cacao en el rendimiento de sus cruzamientos, estimó su heredita bilidad con base en datos de 6 meses y de 3 años, encontrando valores de 89.8 y 17.3% respectivamente. El autor atribuye esta discrepancia a una mayor influencia ambiental en el período de 6 meses, no detectada en el

análisis de varianza, y consideró que la variación fue causada por la interacción genotipo-ambiente.

2.2. Métodos Estadísticos para determinar Estabilidad Fenotípica.

Se han sugerido varios modelos para estimar los efectos genéticos, no genéticos y la interacción genotipo-ambiente. Esto ha permitido identificar variedades adaptadas ampliamente a los ambientes de una región ó delimitar subregiones que favorecen su adaptación.

Se han usado principalmente dos procedimientos análiticos; un análisis de regresión, inicialmente propuesto por Yates y Cochran (1.938), y usado por Finlay y Wilkinson (1.963) y Eberhart y Russell (1.966), para detectar y medir la magnitud de las interacciones genotipo-ambiente en cebada y maíz, respectivamente. El otro procedimiento se basa en modelos para la estimación de los parámetros del ambiente y genotipo por ambiente, a través de medias y varianzas, el cual admite contribuciones de aditividad dominancia y acción génica epistática para las componentes genéticas y de interacción (Matter y Jones, 1958; Jones y Matter, 1958; Jinks y Stevens, 1959; Buccio Alanis, 1966 y Buccio Alanis y Hill, 1966). Este procedimiento análitico fue usado por Jinks y Perkins (1.968), en estudios de interacción genotipo-ambiente en Nicotiana rústica. Estos autores por medio de una regresión lineal sobre los valores ambientales estimaron la interacción genotipo ambiente exhibiendo algunas líneas interacción total ó parcial. Por otra parte, aplicaron un sistema simple binario de agrupa-

ción para la interpretación de la parte no líneal de la interacción genotipo-ambiente en N. rustica, dependiendo de si las correlaciones de las desviaciones fueran positivas ó negativas. Dichas agrupaciones redujeron la parte no líneal de la interacción genotipo-ambiente, pero no obstante hubo desviaciones significativas.

Plaisted y Peterson (1.959), ajustaron el tratamiento estadístico del método desarrollado por Horner y Frey (1.957), para determinar las combinaciones óptimas de variedades de avena en áreas de prueba en el estado de Iowa. El trabajo lo realizaron en papa e introdujeron dos sistemas para calcular la adaptabilidad:

a. Con un sistema, se estudia la componente de varianza genotipo-ambiente (σ^2 g.e) con base en tantos análisis combinados como variedades haya, omitiendo el efecto de una de ellas en cada análisis, de manera que con el análisis combinado que presente la mayor varianza (σ^2 g.e) se podrá saber cual variedad aporta la menor interacción al total, indicando la mayor estabilidad de la variedad omitida.

b. El otro sistema consiste en realizar todas las posibles combinaciones de pares de variedades, calculando para ellas la componente de interacción y con los promedios de éstas componentes, se define la estabilidad de cada variedad.

Wricke, citado por Pacucci (1.969), fue el primero en proponer que caracteres cuantitativos de los componentes de interacción, podrían ser

calculados individualmente para cada genotipo. Con este propósito introdujo un parámetro de mejoramiento referido a "ecovalencia" (suma de cuadrados de la interacción variedad-ambiente) de una variedad, la cual estima por medio de la siguiente formula:

$$Wi = \sum_{j} (Xij - Xi./q - X.j/p + X../pq)^2$$

Wi = Ecovalencia de la variedad i

Xij = Valor de la variedad i en el ambiente j

Xi./q = Valor medio de la variedad i sobre q ambientes

X.j/p = Valor medio del ambiente j sobre p variedades

X../pq = Valor medio sobre todos los ambientes y variedades.

Una pequeña contribución de un genotipo a la interacción es indicado por un alto valor de ecovalencia.

Finlay y Wilkinson (1.963), consideraron dos índices para el análisis de estabilidad en 277 variedades de la colección mundial de cebada. Utilizaron como medida del ambiente, el promedio de rendimiento de todas las variedades de cada localidad y en cada estación. Estos autores definen la estabilidad de la variedad en función de su rendimiento promedio, y del coeficiente de regresión del rendimiento sobre ambientes. Rendimientos promedios elevados y coeficientes de regresión de 1.0, indican que la variedad tiene adaptabilidad general; coeficientes de regresión su

periores a 1.0 identifican variedades sensibles a los cambios ambientales y específicas para ambientes de altos rendimientos; por el contrario, valores inferiores a 1.0 identifican variedades poco sensibles a los cambios ambientales y con mayor especificidad a ambientes de bajos rendimientos.

Posteriormente, Eberhart y Russell (1.966), propusieron un modelo que define los parámetros de estabilidad que pueden usarse para describir el comportamiento de una variedad en una serie de medios ambientes. Usaron como índice ambiental el promedio de rendimiento de las variedades en un medio particular, menos la media general. Los parámetros de estabilidad por ellos definidos fueron: a) un coeficiente de regresión estimado como la regresión del rendimiento promedio de cada variedad sobre los distintos índices ambientales y b) el cuadrado medio de las desviaciones de la regresión. Definen como variedad estable la que tenga valores de 1.0 y 0 respectivamente, para dichos parámetros y además para que sea deseable, su rendimiento promedio debe ser elevado. Aplicando el modelo a ensayos de rendimiento en maíz, dichos autores obtuvieron los siguientes resultados:

a. En un análisis de dos grupos de cruzamientos simples dialélicos no hubo evidencias de que los coeficientes de regresión difirieran debido a la acción génica no aditiva.

b. Las diferencias que presentaron los cruzamientos de tres líneas en

su respuesta a varios medios, se debieron a las diferentes respuestas de las líneas.

c. Las líneas autofecundadas difirieron en su respuesta promedio de varios ambientes.

d. Los cuadrados medios de las desviaciones de la regresión fueron cercanos a cero para muchos híbridos y extremadamente grandes para otros.

Buccio (1.966), desarrolló un modelo para la estimación de los parámetros medio ambiente y genotipo por medio ambiente. De la aplicación de dicho modelo a datos de altura final de dos líneas puras de Nicotiana rustica, encontró que el efecto ambiental y el efecto genotipo-ambiente estaban relacionados linealmente. Los resultados obtenidos indicaron que cuando el efecto ambiental fue positivo, los genotipos con mayor expresión del carácter en consideración fueron más fácilmente detectados; por el contrario, cuando el efecto ambiental fue negativo, hubo menor oportunidad de reconocer a los mejores genotipos.

Buccio y Hill (1.966), hicieron una extensión del modelo para aplicarlo a datos de altura líneal de genotipos heterocigotos de N. rustica y encontraron que la magnitud de la interacción genotipo-ambiente era directamente proporcional al efecto ambiental, y que la altura de planta mostró heterosis en los ambientes en que se estimaron los parámetros, siendo más marcado este factor en ambientes pobres que en ambientes favorables.

Eberhart y Russell (1.969), compararon la estabilidad de híbridos de cruzamientos simples y dobles en maíz y encontraron dos cruzamientos simples tan estables como cualquiera de los cruzamientos dobles. Sugirieron que, puesto que los cruzamientos simples difirieron en su aptitud de respuesta a condiciones ambientales más favorables, el cuadrado medio de las desviaciones parece ser el parámetro de estabilidad más importante y que es probable que todos los tipos de acción génica estén involucrados en dicha estabilidad.

3. MATERIALES Y METODOS

3.1. Localización del Experimento.

Los datos del presente estudio fueron obtenidos de un experimento de campo establecido por el Programa Nacional de Cacao, en el Centro Nacional de Investigación Palmira, del ICA, en 1961. El Centro Experimental está situado a 1000 m.s.n.m., sobre el Valle geográfico del río Cauca.

3.2. Suelos.

El suelo del lote donde se estableció el experimento está formado por 37% de arena, 32% de limo y 31% de arcilla, siendo su textura franco arcillosa de la serie Palmira. En la Tabla No.1, se presenta el análisis de una muestra de suelo tomada entre 0 y 20 cms de profundidad, en Agosto de 1.977.

3.3. Clima.

En la Tabla No.2, se presentan las condiciones climáticas registradas durante 9 años consecutivos en la Estación Metereológica del Centro Nacional de Investigación Palmira.

3.4. Material Experimental.

Se sembraron 49 clones: 39 Nacionales, 6 de Trinidad y 4 del Ecuador.

TABLA 1. Resultado del Análisis de una muestra de suelo tomada entre 0 y 20 cm de profundidad en el Centro Experimental Palmira

% * M.O.	pH	P (p.p.m.) (Bray II)	Miliequivalentes / 100 ml de suelos					% Na	Ca/ Mg	TEXTURA
			Ca	Mg	K	Na	C.I.C.			
3.3	7.0	88.8	12	5.2	0.39	0.21	17.8	0.3	1.1	Franco Arcillosa

* M.O. Materia Orgánica

C.I.C. Capacidad de Intercambio Catiónico

C.E. Conductividad Eléctrica

TABLA 2. Factores ambientales registrados durante 9 años en la Estación Metereológica del Centro Nacional de Investigación Palmira

Año	Temperatura Media ºC	Precipitación Pluvial mm/año	Brillo solar Horas/día
1964	23.38	910.0	5.7
1965	23.65	1016.6	5.5
1966	23.70	877.8	5.4
1967	23.50	942.1	6.1
1968	23.24	1083.0	5.7
1969	23.56	1010.2	5.3
1970	23.23	1079.0	5.0
1971	22.55	1493.9	5.0
1972	23.61	993.6	5.9
Promedio	23.38	1045.1	5.5

No obstante que se tomaron datos de todo el material, el presente estudio se hizo con los registros de 40 clones (Ver Tabla No.3), debido a que varias parcelas quedaron incompletas por incidencia de Ceratocystis fimbriata.

3.4.1. Manejo del Experimento.

El material experimental se estableció en Noviembre de 1.961, el sombrío está formado por árboles de guamo santafereño (Inga edulis) sembrado a 12 x 12 metros en cuadro. En el experimento se efectuaron prácticas de cultivo como: Control de malezas, deschuponadas, podas y cosecha cada 15 días.

3.4.2. Diseño.

El diseño experimental es un Lattice Simple 7 x 7 , con 4 replicaciones y 9 plantas por parcela, sembradas a 4 x 4 metros en cuadro. En algunas parcelas hay fallas por la muerte de árboles causada por Ceratocystis fimbriata. Teniendo en consideración que es más eficiente el diseño de bloques al azar que el de lattice y por no entrar en análisis todo el material sembrado, el análisis de varianza se hizo usando como patrón un diseño experimental de bloques al azar con diferente número de repeticiones.

TABLA 3. Lista de los 40 clones incluidos en este estudio.

Clon	Origen	Clon	Origen
SC1	Colombia	SC26	Colombia
SC2	Colombia	SC28	Colombia
SC3	Colombia	SC29	Colombia
SC4	Colombia	SC30	Colombia
SC5	Colombia	SC31	Colombia
SC6	Colombia	SC32	Colombia
SC7	Colombia	SC33	Colombia
SC8	Colombia	SC34	Colombia
SC9	Colombia	SC35	Colombia
SC10	Colombia	SC37	Colombia
SC11	Colombia	SC38	Colombia
SC12	Colombia	SC40	Colombia
SC14	Colombia	SC41	Colombia
SC15	Colombia	SC42	Colombia
SC16	Colombia	ICS78*	Trinidad
SC17	Colombia	ICS95	Trinidad
SC18	Colombia	ICS48	Trinidad
SC19	Colombia	ICS40	Trinidad
SC20	Colombia	EET338*	Ecuador
SC22	Colombia	EET48	Ecuador

* SC = Selección Colombia
ICS = Imperial College Selection
EET = Estación Experimental Tropical Pichilingue.

3.4.3. Variables Medidas.

En el Centro Nacional de Investigación Palmira, el cacao produce durante todo el año, pero presenta dos picos máximos de producción: el mayor ocurre en Diciembre y el otro en Mayo.

Para el estudio se usaron los datos de producción de 9 años, obtenidos de los archivos del Programa Nacional de cacao del ICA. Las variables medidas fueron:

a. Número de mazorcas por clon.

b. Peso humedo de las semillas de las mazorcas por clon. Para el análisis se usó el peso del cacao seco, ajustado en base en el 40% del peso del cacao húmedo.

c. Indice de mazorca de cada clon: obtenido de acuerdo con el número de frutos que se necesitan de cada clon para producir un kilogramo de cacao seco. Este índice es una medida usada para estimar producción.

Las cosechas se hicieron cada quince días y se tomó el peso en una balanza marca HANSEN modelo 1440.

3.5. Análisis Estadísticos.

Todos los datos se analizaron estadísticamente y se procesaron en el Centro de Computación del DANE.

Se hizo análisis de varianza por año para cada una de las variables registradas. Análisis combinado de la varianza de 9 años para cada una de las variables, siguiendo el método de Cochran y Cox (1.965) para una serie de experimentos. La parte más importante de este análisis es la interacción genotipo-ambiente, que va a indicar la influencia de los diferentes ambientes (años) en el comportamiento relativo de los clones. El modelo del análisis con los cuadrados medios esperados y grados de libertad se presenta en la Tabla No.4. En el modelo usado se consideraron los años al azar y los clones fijos.

El modelo estadístico utilizado es como sigue:

$$Y_{ijk} = \mu + (RA)_{ij} + A_j + C_k + AC_{jk} + E_{ijk}$$

donde:

Y_{ijk} = Rendimiento del clon k en la replicación i del año j.

μ = Promedio General.

RA_{ij} = Efecto de la replicación i en el año j.

A_j = Efecto del año j.

C_k = Efecto del clon k.

AC_{jk} = Efecto de la interacción año j con el clon k.

E_{ijk} = Error experimental de la parcela.

TABLA 4. Análisis combinado de varianza y cuadrados medios esperados de los clones en a años.

F. de V.	G.L.	C.Me.
Años	(a-1)	$\sigma^2_e + r\sigma^2_{ac} + rc\sigma^2_{j/a-1}$
Replicaciones	a (r-1)	$\sigma^2_e + ac\sigma^2_r$
Clones	(c-1)	$\sigma^2_e + e\sigma^2_{ac} + ra\sigma^2_{i/c-1}$
Clones x años	(c-1)(a-1)	$\sigma^2_e + r\sigma^2_{ac}$
Error	a(c-1)(r-1)	σ^2_e
Total	(acer-1)	

El análisis de estabilidad para los clones, se estudió según el modelo propuesto por Eberhart y Russell (1.966) :

$$Y_{ij} = \mu_i + B_i I_j + \delta_{ij} \qquad (I)$$

en la cual: $i = 1,2,\ldots,u$ y $j = 1,2,\ldots,n$

Y_{ij} = Media varietal del clon i en el año j.

μ_i = Media del clon i sobre todos los años.

B_i = Coeficiente de regresión que mide las respuestas del clon i en varios años.

δ_{ij} = Desviación de la regresión del clon i en el año j.

I_j = Indice ambiental, obtenido como la media de todos los clones en el año j menos la media general, teniendose entonces:

$$I_j = (\Sigma_i Y_{ij}/v) - (\Sigma\Sigma_{ij} Y_{ij}/nv)$$

$$\Sigma_i I_j = 0$$

El modelo (I) define los parámetros de estabilidad que pueden usarse para describir el comportamiento de un clon en una serie de años.

El primer parámetro de estabilidad (B_i) es un coeficiente de regresión que se estima en la siguiente forma:

$$bi = \sum_j Y_{ij} I_j / \sum_j I_j^2$$

El segundo parámetro de estabilidad $S^2 \underline{di}$ es una desviación sobre la regresión y se estima como sigue:

$$S^2 \underline{di} = [\Sigma \delta^2_{ij} / n-2] - S_e^2 / r$$

en donde, S_e^2 es la varianza del error combinado, r el número de replicaciones, n el número de observaciones y :

$$\sum_j \delta^2_{ij} = [\sum_j Y^2_{ij} - Y^2_i / n] - (\sum_j Y_{ij} I_j)^2 / \sum_j I_j^2)$$

Una vez estimados los parámetros de estabilidad se realizó la prueba de significancia de las diferencias entre medias clonales, por medio de la hipótesis nula :

$$Ho : \mu_1 = \mu_2 = \ldots = \mu_v$$

Para saber si hay diferencias estadísticas entre los promedios, se efectuó una prueba de F.

$$Fc = \frac{\text{Cuadrado medio de los clones}}{\text{Cuadrado medio de las desviaciones de la regresión}}$$

El cuadrado medio de los clones tomado del análisis combinado y cua

drado medio de las desviaciones de la regresión :

$$\sum_j \delta^2_{ij} / (n-2)$$

La hipótesis de que no hay diferencias genéticas entre clones para su regresión sobre el índice ambiental.

$$Ho: \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \ldots = \beta_v$$

Se probó mediante el valor de F:

$$F = \frac{\text{Cuadrado medio de la interacción clon-año}}{\text{Cuadrado medio de las desviaciones de la regresión}}$$

Las desviaciones de la regresión para cada clon :

$$Ho : S^2\underline{di} = 0 \quad y \quad H_1 : S^2\underline{di} \neq 0$$

Se obtiene con una prueba de F;

$$F = \frac{\text{Cuadrado medio de la desviación}}{\text{Cuadrado medio del error combinado}}$$

donde el cuadrado medio de la desviación de la regresión está dado por:

$$\sum_j \delta^2_{ij} / n-2$$

Las pruebas de hipótesis de que los coeficientes de regresión no difieren de la unidad se hicieron mediante la prueba de t, y las pruebas de significancia para las comparaciones de promedios clonales, se hicie-

ron mediante la prueba de grados múltiples de Duncan al nivel del 5%.

3.6. Interpretación de los Parámetros.

Para la interpretación de los resultados se usó la zonificación propuesta por Finlay y Wilkinson (1.963), en donde se localizan los clones estudiados de acuerdo con su coeficiente de regresión y promedio de producción (Figura 1), y además su ubicación en el diagrama propuesto por Eberhart y Russell (1.966), para desviaciones sobre regresión. La zonificación propuesta por Finlay y Wilkinson (1.963), es la siguiente:

Zona 1. El coeficiente de regresión estadísticamente mayor que 1, y el promedio de producción más o menos consistente, se tienen clones específicos para buenos ambientes, en los cuales su producción es más o menos baja, pero al mejorar el ambiente la producción se incrementa notoriamente ($bi>1$).

Zona 2. El coeficiente de regresión estadísticamente igual ó cercano a 1 y promedio de producción inconsistente, menor que el general; son clones no aconsejables; su línea de regresión está por debajo de la promedia a través de todos los años.

Zona 3. Coeficiente de regresión estadísticamente diferente de 1 y cercano a 0, con amplia variación en la producción; no presentando alteraciones muy significativas por el cambio de ambiente y si su promedio de producción es alto se tiene un clon específico

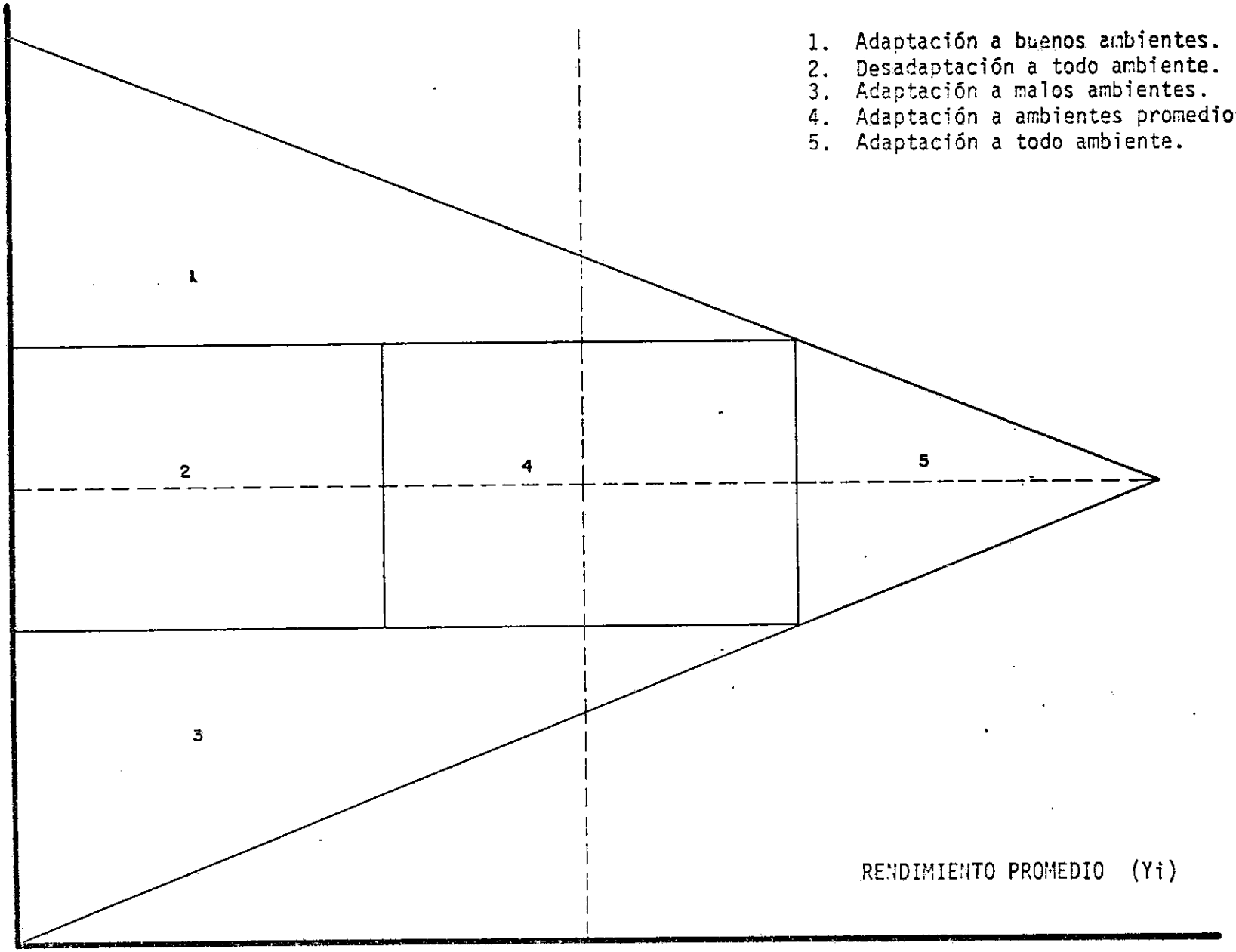

Figura 1. Clasificación para los clones de acuerdo con su rendimiento promedio y coeficiente de regresión.

para malos ambientes.

Zona 4. Coeficiente de regresión estadísticamente igual a 1 y el promedio de producción, igual al general. Son clones de adaptabilidad promedia, es decir, una variación en el ambiente los afecta de manera similar a la línea promedia.

Zona 5. El coeficiente de regresión estadísticamente igual a 1 y el promedio de producción significativamente mayor que el general, son los mejores clones con adaptación buena, superando el rendimiento general en todos los ambientes.

Según Eberhart y Russell (1.966), si la desviación de la regresión es igual a cero, será interpretada como medida de buena adaptabilidad, si es diferente de cero, es inestable y a la vez poco adaptable; esta desviación indica cuanto suman las desviaciones de los resultados de campo respecto al resultado esperado sobre la línea de regresión.

En este estudio se considera clon estable aquel cuyos parámetros de estabilidad son bi = 1.0 y $S^2\underline{di}$ = 0 y deseable, si además su producción es de rendimiento elevado.

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Adaptabilidad de Clones.

4.1.1. Análisis Combinado de Varianza.

En la Tabla No.5 se presentan los cuadrados medios del análisis combinado de varianza. Se observan diferencias significativas al 0.01 nivel de probabilidad entre replicaciones en años, años, clones y la interacción años por clon para cada uno de los caracteres analizados.

La diferencia significativa encontrada para años, indica que los valores promedios de los caracteres número de mazorcas, peso seco e índice de mazorca de los cuarenta clones, fueron por lo menos estadísticamente diferentes en uno de los nueve años, referente a los clones, indica el reflejo de la diversidad de su comportamiento promedio durante el período que duró la investigación.

El hecho de que la interacción años-clon, fue significativa, implica que el comportamiento promedio de los clones varió considerablemente en los nueve años; lo cual justifica la evaluación de la estabilidad fenotípica promedia de los cuarenta clones en dicho período.

4.1.2. Indices Ambientales y Coeficientes de Variación.

En la Tabla No. 6 se presentan los índices ambientales y coeficien-

TABLA 5. Análisis combinado de varianza y cuadrados medios de los caracteres número de mazorcas, peso seco é índice de mazorca para los 40 clones en los 9 años.

Fuentes de Variación	G.L.	Número de Mazorcas C.M.	Peso Seco C.M.	Indice C.M.
Replicación (año)	27	320726.55**	198190750**	470.92**
Años	8	7708803.21**	5679891116**	4908.95**
Clones	39	388287.03**	181274835**	916.27**
Años*Clon	312	47890.19**	23994010 **	93.08**
Error	1053	16138.02	10101495	75.07

** Significancia al nivel de probabilidad de error del 1%.

TABLA 6. Indices ambientales y coeficientes de variación para las variables número de mazorcas, peso seco de granos e índice de mazorca durante un período de 9 años.

Años	Número de Mazorcas		Peso Seco		Indice de Mazorca	
	I. ambiental	C.V.%	I. ambiental	C.V.%	I. ambiental	C.V.%
1964	-304.33	80.48	-8066.96	70.26	-1.05	27.01
1965	-316.39	95.19	-8333.66	86.29	-3.71	51.54
1966	- 78.80	44.03	-1931.94	44.49	0.15	13.14
1967	-176.41	45.06	-4616.34	47.16	0.88	19.49
1968	194.11	43.03	1528.14	41.91	12.66	19.53
1969	194.61	29.42	5574.66	29.42	-0.97	11.51
1970	167.95	23.48	3514.59	22.67	2.92	14.14
1971	190.08	25.67	7399.59	25.89	-5.91	11.53
1972	127.12	30.17	4815.91	28.13	-4.97	11.28

tes de variación de los caracteres número de mazorcas, peso de cacao seco e índice de mazorca de los cuarenta clones durante un período de 9 años. En cuanto a número de mazorcas y peso de cacao seco, los dos primeros años presentan coeficientes de variación demasiado altos, debido principalmente a que los clones apenas iniciaban su producción; en los años intermedios hay una situación más moderada y en los últimos años sus coeficientes variaron entre 20 a 30%.

La variable índice de mazorcas, presenta una situación análoga al número de mazorcas y peso de cacao seco, pero los coeficientes de variación para todos los años oscilan entre 11 y 27%, con excepción del año 1.965, donde su variación alcanzó un 51.54% debido a una poda fuerte que se hizo a los árboles.

4.1.3. Coeficientes de Regresión.

El modelo estadístico por Eberhart y Russell (1.966), permite el cálculo de los coeficientes de regresión, el rendimiento promedio y las desviaciones de la regresión, que son los tres parámetros de estabilidad. La estabilidad de un genotipo puede clasificarse en promedia y baja, según la magnitud del coeficiente de regresión. Un valor del coeficiente de regresión cercano a la unidad, indica una estabilidad promedia, un valor significativamente mayor ó menor a la unidad, implica estabilidad inferior al promedio; en relación al valor de las desviaciones de la regresión, un genotipo que presente un valor pequeño, será bastante estable.

Además una variedad con una buena estabilidad debe poseer un valor promedio mayor que el promedio general. La suma de los valores de los índices ambientales, será igual a cero, los positivos representan ambientes favorables y negativos, ambientes desfavorables, (Eberhart y Russell, 1966).

4.1.3.1. Variable Número de Mazorcas.

En la Tabla No.7, se presentan los rendimientos promedios y los parámetros de estabilidad en los 40 clones estudiados para la variable número de mazorcas.

Se observa que los clones ICS78, ICS95, ICS40, EET338, SC1, SC2, SC4, SC8, SC10, SC14, SC15, SC16, SC18, SC22, SC32, SC34, y SC40, presentan un coeficiente de regresión diferente estadísticamente de 1.0, lo cual indica que 42.5% de los clones fueron inestables para este caracter.

Referente a rendimiento promedio el 80% de los clones presentan diferencias significativas al nivel del 5% de probabilidad, con respecto al valor medio. Según estos parámetros y la zonificación hecha en la parte de interpretación de los parámetros, los clones se clasifican en la forma que se expresa a continuación y que se representa en la Figura 2.

Zona 1. En ella se clasifican los clones específicos para buenos ambientes como son: SC18, SC22, SC40, SC2, SC8, SC4, SC1, y SC16, porque presentan un coeficiente de regresión superior a 1.0 y un promedio de producción más ó menos consistente.

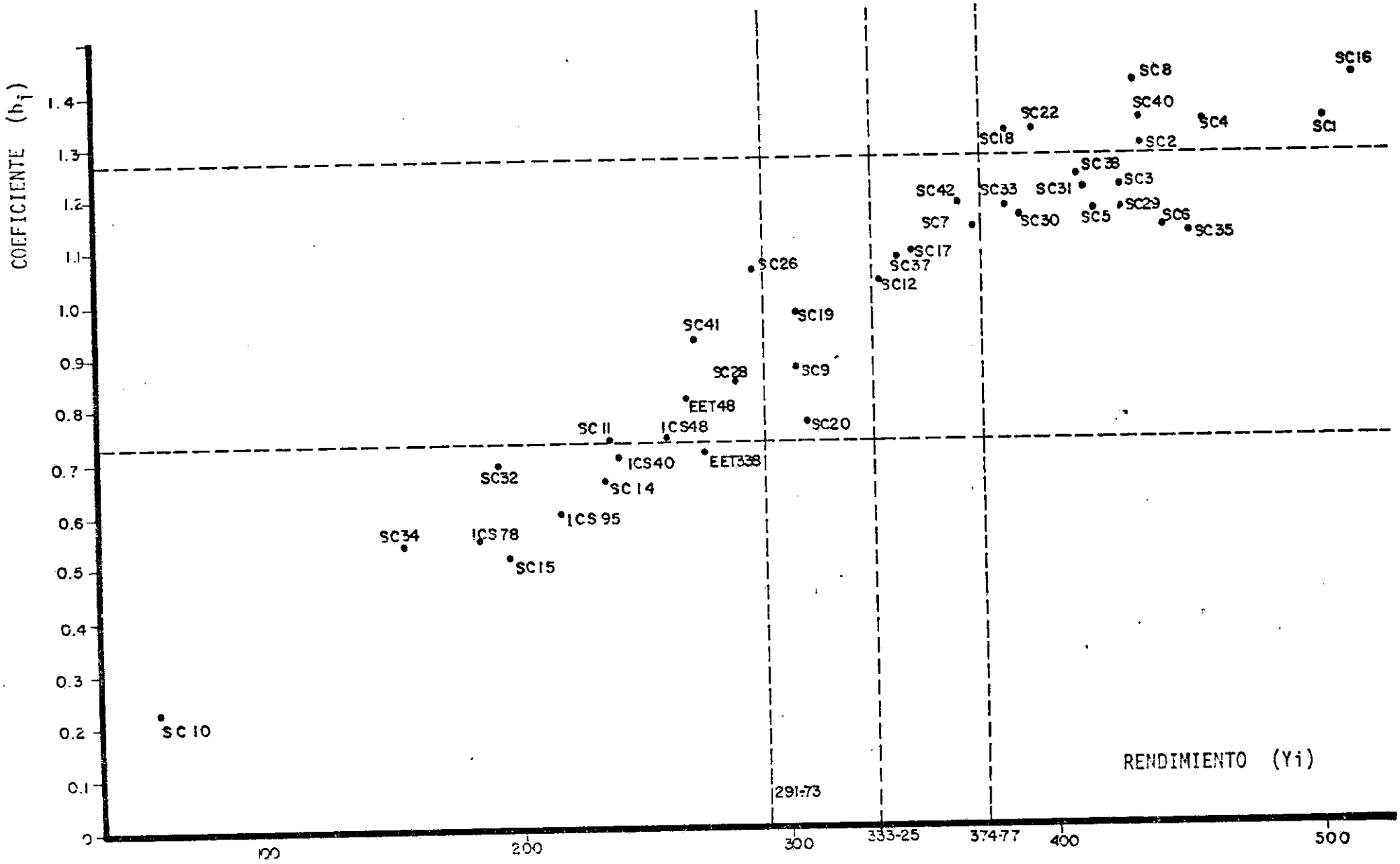

FIGURA 2. Ubicación de los clones según su rendimiento y coeficiente de regresión para la variable número de mazorcas.

TABLA 7. Valores promedios, coeficientes de regresión y desviaciones de la regresión para número de mazorcas por parcela, de 40 clones. Datos combinados de 9 años.

Clon	Rendimiento Promedio Mazorcas	Coeficiente de Regresión (b_i)	Desviación de la Regresión S^2di
ICS78	184.22*	0.55*	6.220.55
ICS95	214.66*	0.59*	3.730.92
ICS48	258.66*	0.73	-19.97
ICS40	236.77*	0.70*	-337.15
EET338	267.83*	0.72*	33.472.73**
EET48	262.44*	0.81	26.782.49**
SC1	504.77*	1.34*	-1.657.75
SC2	437.80*	1.29*	2.632.57
SC3	428.58*	1.25	-1.741.26
SC4	458.30*	1.34*	1.192.86
SC5	398.27*	1.16	1.900.82
SC6	442.27*	1.14	16.309.90
SC7	371.86	1.14	2.986.44
SC8	432.44*	1.42*	9.273.72
SC9	305.75	0.87	-678.02
SC10	61.83*	0.23*	-526.54
SC11	233.38*	0.74	-3.166.03
SC12	338.44	1.04	5.204.32

TABLA 7. (Continuación)

Clon	Rendimiento Promedio Mazorcas	Coeficiente de Regresión (b_i)	Desviación de la Regresión S^2di
SC14	231.38*	0.66*	-2.589.30
SC15	197.02*	0.53*	-1.358.86
SC16	514.11*	1.42*	50.85
SC17	344.91	1.09	-1.270.64
SC18	383.11*	1.32*	798.35
SC19	305.80	0.98	2.259.94
SC20	309.38	0.77	1.292.49
SC22	394.61*	1.32*	5.691.85
SC26	290.83*	1.05	10.858.30
SC28	281.36*	0.85	-698.27
SC29	418.66*	1.16	16.491.44
SC30	389.97	1.16	563.33
SC31	415.19*	1.20	5.591.33
SC32	191.08*	0.70*	13.437.10
SC33	385.94*	1.17	-2.978.67
SC34	155.61*	0.54*	-256.17
SC35	451.41*	1.13	9.552.81
SC37	342.77	1.08	-1.174.67
SC38	412.77*	1.20	9.571.48
SC40	433.86*	1.31*	7.238.89
SC41	265.30*	0.93	3.944.03
SC42	367.58	1.18	12.488.58

* Significancia al 5%

** Significancia al 1%

Zona 2. En ella se clasifican los clones de adaptación pobre, como son: SC26, SC41, SC28, EET48, ICS48 y SC11, porque su promedio de producción es inconsistente y menor que el general.

Zona 3. En ella se clasifican los clones específicos para malos ambientes como son: SC32, ICS40, EET338, SC14, ICS95, SC15, ICS78, SC34 y SC10, porque presentan un bi diferente a uno y muy cercano a cero y con amplia variación en la producción.

Zona 4. En ella se clasifican los clones de adaptación promedia, como son: SC20, SC9, SC19, SC12, SC37, SC17, SC7 y SC42, porque su promedio de producción es igual al general.

Zona 5. En ella se clasifican los clones de adaptación buena, como son: SC33, SC30, SC5, SC29, SC31, SC3, SC38, SC6 y SC35, porque presentan un promedio de producción significativamente superior al general.

En la Tabla No.7, se presentan los valores del parámetro de la desviación de la regresión. Se puede observar que los cultivares EET338 y EET48 son estadísticamente diferentes a cero, por lo cual se ubican en las zonas de mala adaptación y específica para malos ambientes, respectivamente. Su desviación de la regresión indica que presentan inestabilidad a través de los años y por ello se pueden considerar como los clones de menor adaptabilidad a los cambios de ambiente.

4.1.3.2. Variable Peso Seco.

En la Tabla No.8 se observan los rendimientos promedios y los parámetros de estabilidad para los 40 cultivares probados, con relación a la variable peso seco.

Los clones SC1, SC8, SC10, SC15, SC18, y SC34, presentan coeficientes de regresión diferentes estadísticamente de 1.0; por consiguiente, el 15% de los clones fueron inestables para este caracter. En el rendimiento promedio el 70% de los clones presentan diferencias significativas al nivel del 5% de probabilidad con respecto al valor medio. De acuerdo con estos dos parámetros y la zonificación hecha en la parte de interpretación de los parámetros, los clones se clasifican en la forma que se expresa a continuación y que se representa en la Figura 3.

Zona 1. En ella se clasifican los clones específicos para buenos ambientes, como son: SC18, SC8, y SC1, porque presentan un bi superior a 1.0 y un promedio de producción más o menos consistente.

Zona 2. En ella se clasifican los clones con adaptación pobre, como son: SC11, SC32, SC41, EET338, ICS95, ICS78, SC14 y SC28, porque su promedio de producción es inconsistente y menor que el general.

Zona 3. En ella se clasifican los clones específicos para malos ambientes como son: SC10, SC34 y SC15, porque presentan un bi diferente a 1.0 y muy cercano a cero y con amplia variación en la producción.

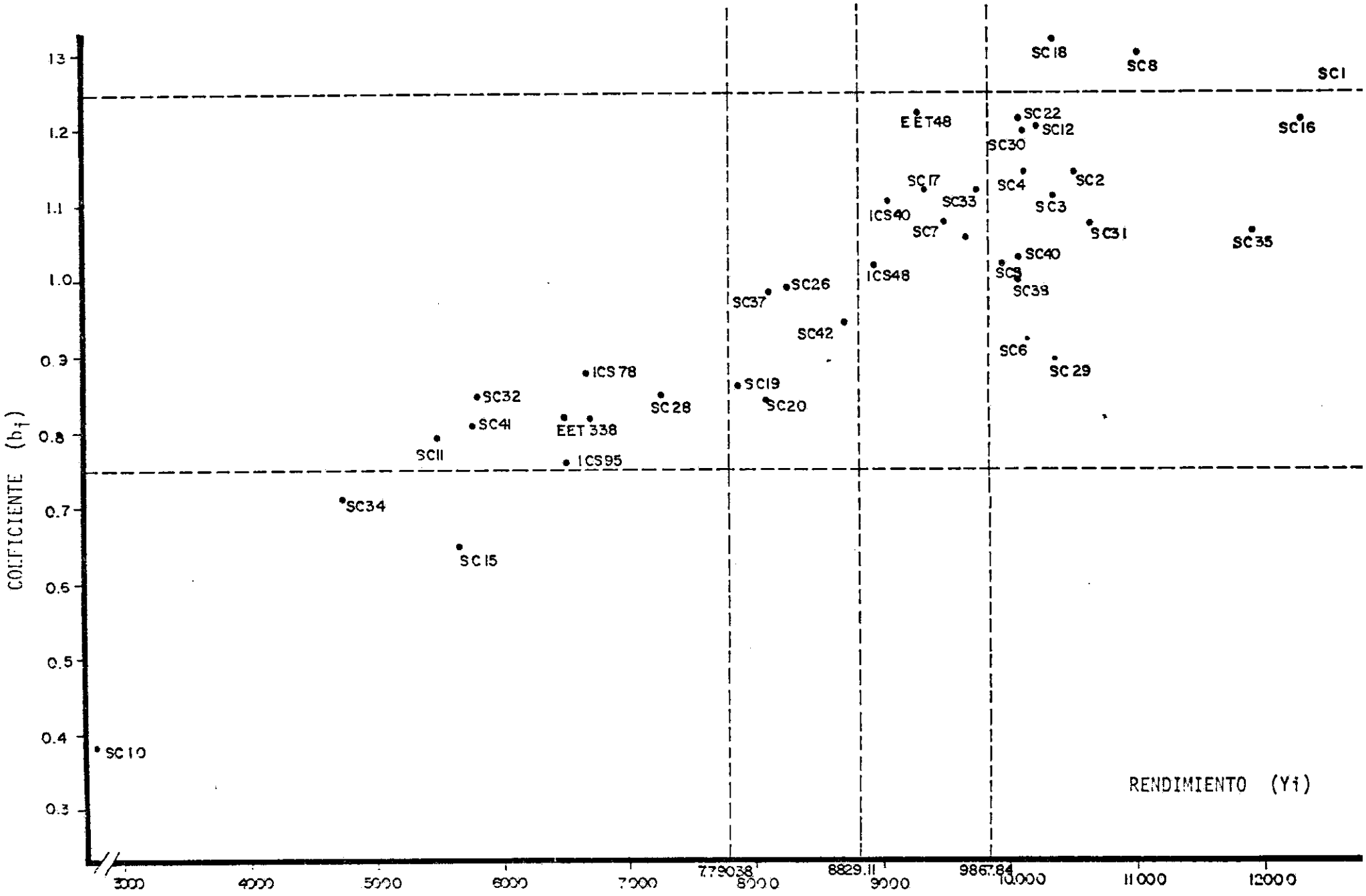

FIGURA 3. Ubicación de los clones según su rendimiento y coeficiente de regresión para la variable peso seco.

TABLA 8. Valores promedios, coeficientes de regresión y desviaciones de la regresión para peso de cacao seco, en gramos por parcela, de 40 clones. Datos combinados de 9 años.

Clon	Rendimiento promedio gramos/parcela	Coeficiente de Regresión (b_i)	Desviaciones de Regresión S^2di
ICS78	6.638.44*	0.87	6.832.876.49
ICS95	6.519.55*	0.76	1.793.990.28
ICS48	8.947.44	1.03	421.456.37
ICS40	9.028.77	1.11	3.263.922.78
EET338	6.566.33*	0.82	13.890.831.36**
EET48	9.362.88	1.22	18.461.295.93**
SC1	12.994.11*	1.27*	174.418.78
SC2	10.484.88*	1.14	-206.327.81
SC3	10.358.77*	1.11	-840.459.30
SC4	10.146.33*	1.14	-713.088.45
SC5	9.966.55*	1.02	768.217.41
SC6	10.186.22*	0.95	3.725.120.26
SC7	9.472.11	1.07	-1.456.647.59
SC8	11.003.44*	1.30*	15.914.832.41**
SC9	9.658.22	1.06	-60.059.16
SC10	2.514.44*	0.38*	-162.436.16
SC11	6.524.11*	0.78	-1.576.432.02
SC12	10.200.44*	1.20	4.140.616.69
SC14	6.764.11*	0.82	357.980.12
SC15	5.675.22*	0.65*	-1.038.121.16
SC16	12.336.77	1.21	950.475.12
SC17	9.347.77	1.12	622.709.41
SC18	10.388.55*	1.32*	589.457.69

TABLA 8. (Continuación)

Clon	Rendimiento promedio gramos/parcela	Coeficiente de Regresión (b_i)	Desviaciones de Regresión S^2di
SC19	7.842.11	0.86	1.117.115.26
SC20	8.104.88	0.84	184.598.55
SC22	10.021.66*	1.21	1.799.735.12
SC26	8.104.44	0.98	7.368.023.55
SC28	7.248.33*	0.85	1.275.530.69
SC29	10.348.55*	0.93	6.101.000.55
SC30	10.169.44*	1.20	-990.593.59
SC31	10.618.77*	1.07	1.758.651.84
SC32	6.802.44*	0.84	7.344.119.69
SC33	9.774.77*	1.12	-2.326.687.45
SC34	4.775.44*	0.71*	2.034.945.84
SC35	11.914.11*	1.06	5.915.755.12
SC37	8.151.11	0.97	-987.974.23
SC38	10.058.44*	1.00	3.903.748.98
SC40	10.074.22*	1.03	3.364.014.41
SC41	6.780.11*	0.81	382.675.55
SC42	8.774.44	0.94	4.189.893.12

* Significancia al 5%

** Significancia al 1%

Zona 4. En ella se clasifican los clones de adaptación promedia como son: SC19, SC20, SC37, SC26, SC42, EET48, ICS40, SC17, SC7, SC33, SC9, y ICS48, porque su promedio de producción es igual al general.

Zona 5. En ella se clasifican los clones de adaptación buena, como son: SC29, SC6, SC38, SC5, SC40, SC31, SC2, SC3, SC4, SC35, SC16, SC30, SC12, y SC22, porque presentan un promedio de producción significativamente superior al general.

En la Tabla No.8, también se presentan los valores para la desviación de la regresión, los clones EET338, EET48 y SC8, son estadísticamente diferentes a cero; su desviación de la regresión indica que presentan inestabilidad a través de los años, considerandose como los clones de menor adaptabilidad a los cambios de ambiente.

4.1.3.3. Variable Indice de Mazorca.

En la Tabla No.9 se presentan los rendimientos promedios y los parámetros de estabilidad de los 40 clones estudiados en función del caracter índice de mazorca.

Se observa que los clones EET48, SC4, SC7, SC17, SC32, SC41 y SC42, presentan un coeficiente de regresión (b_i) diferente estadísticamente de 1.0, por lo cual, un 17.5 de los clones fueron inestables para este caracter. Para rendimiento promedio un 52.5% del material en estudio presenta diferencias significativas al nivel del 5% de probabilidad con respecto

al valor medio. De acuerdo con estos dos parámetros y la zonificación hecha en la parte de interpretación de los parámetros los clones se clasi_ fican en la forma que se expresa a continuación y que se representa en la Figura 4.

Zona 1. En ella se clasifican los clones específicos para buenos ambientes como son: SC4 y SC7, los cuales presentan un valor de bi superior al 1.0 y un promedio de producción más o menos consistente.

Zona 2. En ella se clasifican los clones con adaptación pobre, como son: ICS78, SC11, SC34, ICS40, ICS48, SC9, SC10, SC12 y ICS95, porque su promedio de producción es inconsistente y menor que el general.

Zona 3. En ella se clasifican los clones específicos para los malos ambientes, como son: EET48, SC42, SC17, SC32 y SC41, porque presentan un bi diferente a 1.0 y muy cercano a cero y con amplia variación en la producción.

Zona 4. En ella se clasifican los clones de adaptación promedia, como son: SC33, SC1, SC38, SC29, SC31, SC30, SC28, SC3, SC5, SC14, SC26, SC15, SC22, SC19, SC18, SC8, y SC35, porque su promedio de producción es igual al general.

Zona 5. En ella se clasifican los clones de adaptación buena: SC6,

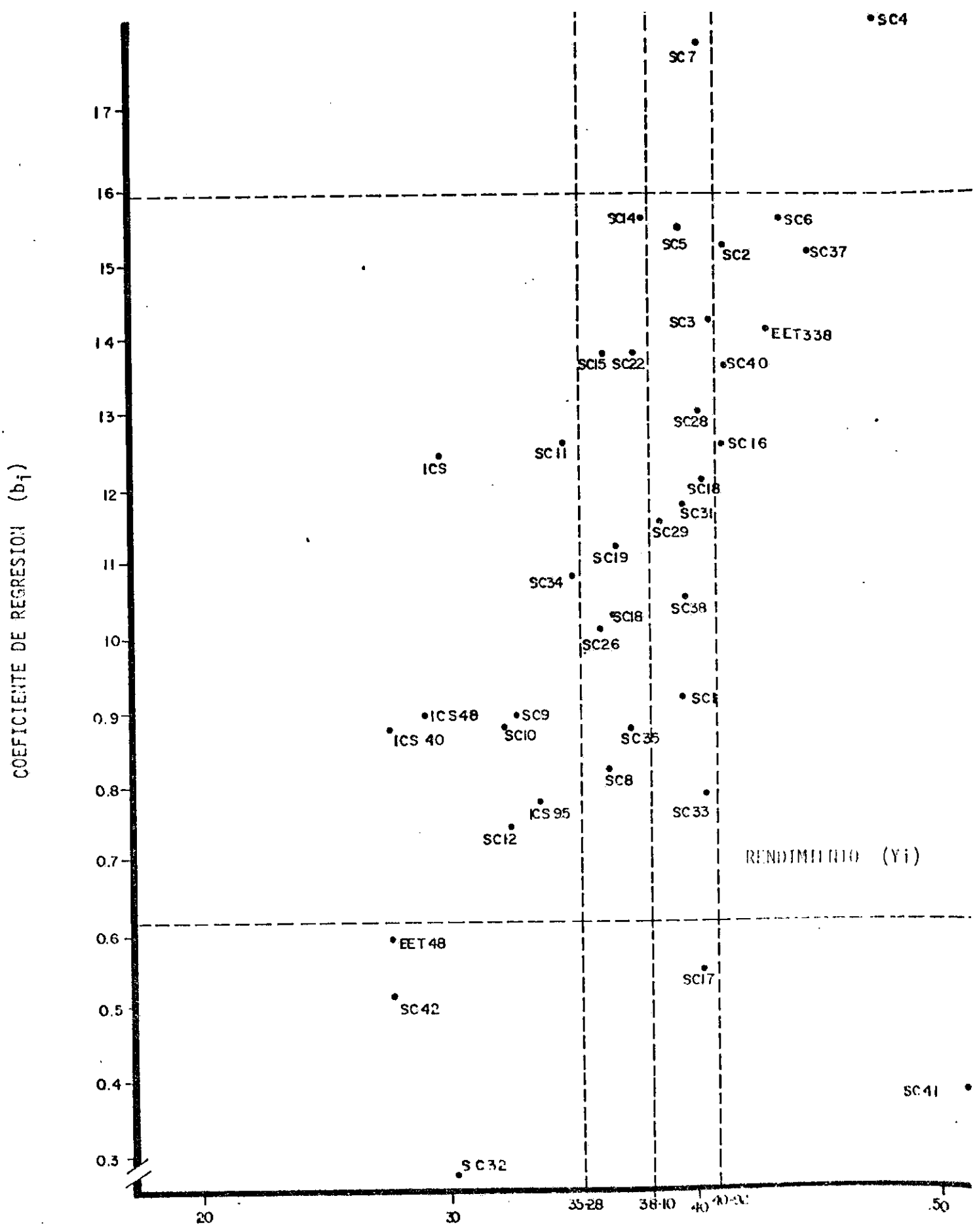

FIGURA 4. Ubicación de los clones según su rendimiento y coeficiente de regresión para la variable índice de mazorca.

TABLA 9. Valores promedios, coeficientes de regresión y desviaciones de regresión para índice de mazorca, de 40 clones. Datos combinados de 9 años.

Clon	Número promedio mazorcas/kilo de cacao seco	Coeficiente de Regresión (b_i)	Desviaciones de la Regresión S^2di
ICS78	29.78*	1.13	-5.13
ICS95	33.81*	0.67	-14.94
ICS48	29.06*	0.79	-14.36
ICS40	27.81*	0.76	-16.45
EET333	43.00*	1.31	-7.93
EET48	28.74*	0.49*	-12.01
SC1	39.37	0.82	-13.82
SC2	41.02*	1.41	-5.11
SC3	40.79	1.31	-6.11
SC4	47.19*	1.72*	-6.96
SC5	39.43	1.46	-13.28
SC6	43.51*	1.45	-15.89
SC7	40.06	1.69*	-13.92
SC8	36.48	0.75	-8.58
SC9	32.93*	0.79	-16.61
SC10	32.65*	0.78	5.38
SC11	34.82*	1.15	0.44
SC12	32.66*	0.63	-6.11
SC14	38.10	1.45	4.54
SC15	36.49	1.26	-11.15
SC16	40.98*	1.14	0.27
SC17	40.09	0.45*	71.73

TABLA 9. (Continuación)

Clon	Número promedio mazorcas/kilo de cacao seco	Coeficiente de Regresión (b_i)	Desviaciones de la Regresión S^2di
SC18	36.71	0.92	-9.82
SC19	37.95	1.02	-12.73
SC20	41.21*	0.98	-2.44
SC22	37.87	1.26	-5.34
SC26	36.34	0.91	53.97
SC28	40.07	1.20	-2.53
SC29	38.61	1.09	-12.41
SC30	40.29	1.11	-7.54
SC31	39.31	1.07	-15.07
SC32	31.85*	0.08*	-6.21
SC34	35.22*	0.97	15.40
SC35	37.54	0.80	-14.15
SC33	40.33	0.68	-4.42
SC37	44.81*	1.41	2.59
SC38	39.81	0.94	-16.06
SC40	41.20*	1.29	-8.30
SC41	51.38*	0.28*	120.20
SC42	44.74*	0.41*	128.16

* Significancia al 5%

** Significancia al 1%

SC37, SC2, EET338, SC40, SC16 y SC20, porque presentan un promedio de producción significativamente superior al general.

En la Tabla No.9 también se presentan valores para la desviación de la regresión y donde no se observa valor significativo para los clones. Este resultado indica que todos los clones presentaron buena adaptabilidad en relación con la variable índice de mazorca.

4.2. Estabilidad de Clones.

4.2.1. Líneas de Regresión.

Considerando las líneas de regresión de acuerdo con la zona en donde están ubicados los clones, se obtuvieron los siguientes resultados:

4.2.1.1. Variable Número de Mazorcas.

Zona 1. En ella se clasifican los clones específicos para buenos ambientes (Figura 5). Dichos clones poseen un bi estadísticamente diferente de 1.0, lo cual indica que son inestables. Generalmente sus líneas inician por debajo de la línea promedia durante los primeros años y luego la cortan, lo cual indica que en los años posteriores mejoró el rendimiento del clon. De los clones específicos a buenos ambientes, el SC16 y SC1, presentaron las mejores condiciones.

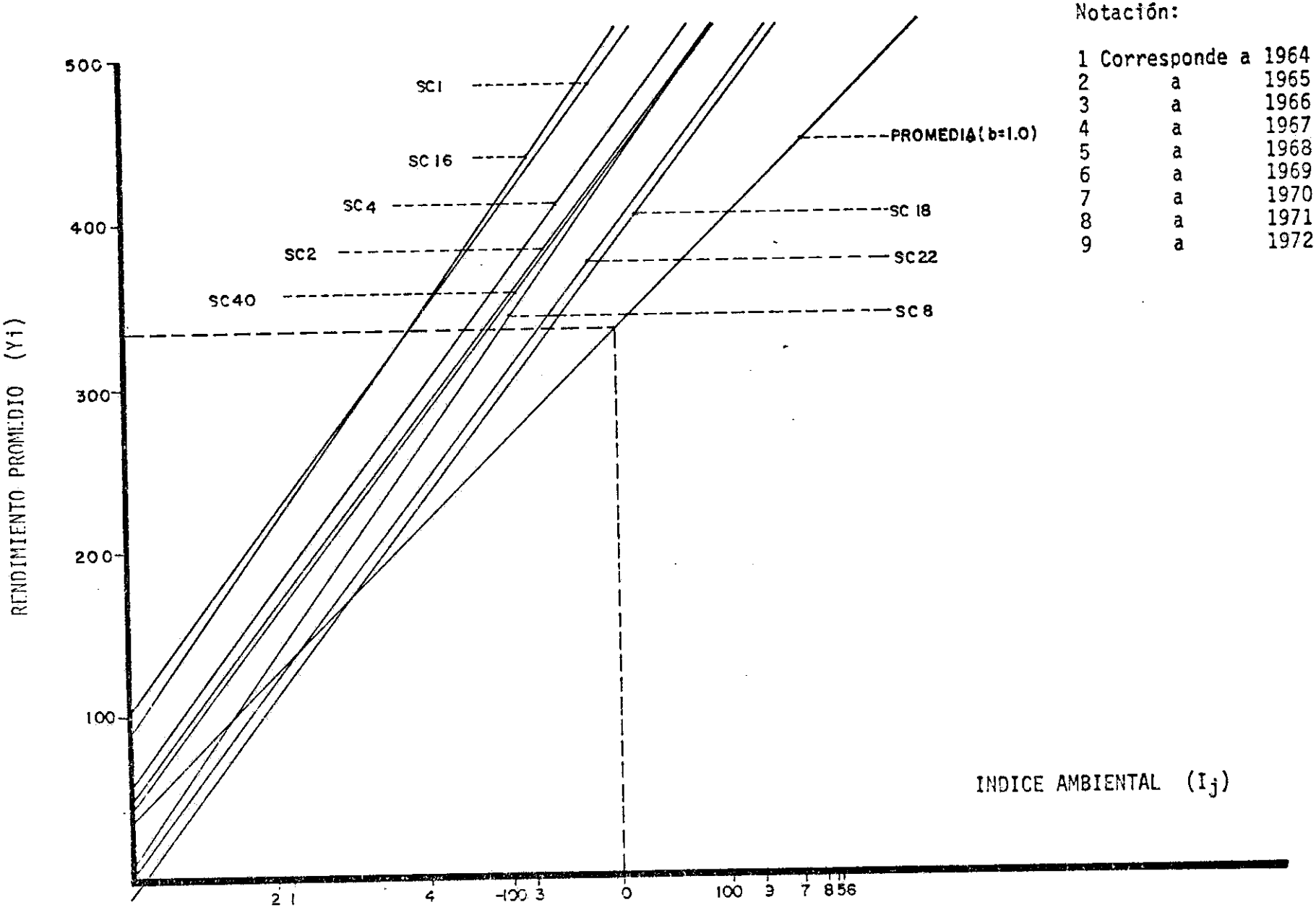

FIGURA 5. Líneas de regresión de los clones específicos para buenos ambientes en función de la variable número de mazorcas.

Zona 2. En ella se clasifican los clones con adaptación pobre (Figura 6). Sus líneas de regresión están por debajo de la línea promedia, debido a su poca producción de mazorcas durante el tiempo que duró el estudio. Los clones presentan un bi cerca a 1.0 (estadísticamente igual) y $S^2\underline{di} = 0$, lo cual indica que tienen estabilidad promedia, con excepción del EET48 que presenta una desviación de la regresión diferente a cero. Por su baja producción no son clones deseables y no se recomiendan para cultivos comerciales.

Zona 3. En ella se clasifican los clones aptos para malos ambientes (Figura 7), los cuales son poco afectados por los cambios del ambiente. Presentan un coeficiente de regresión inferior a 1.0 y en algunos casos, cercanos a cero; el clon SC10 presenta un bi= 0.23 y baja producción de mazorcas. Los clones presentan un $S^2\underline{di} = 0$, con excepción de EET338 que es inestable para este parámetro, siendo estadísticamente diferente a cero. Estos resultados indican que dichos clones tienen poca estabilidad.

Zona 4. En ella se clasifican los clones con adaptabilidad promedia (Figura 8), los cuales son afectados por el ambiente en forma similar al promedio. Los mejores clones de este grupo son el SC42, SC7, SC17, SC37 y SC12 que presentan un rendimiento en mazorcas un poco superior al promedio; los clones SC19, SC9 y SC20 presentan un rendimiento un poco inferior a la línea promedia.

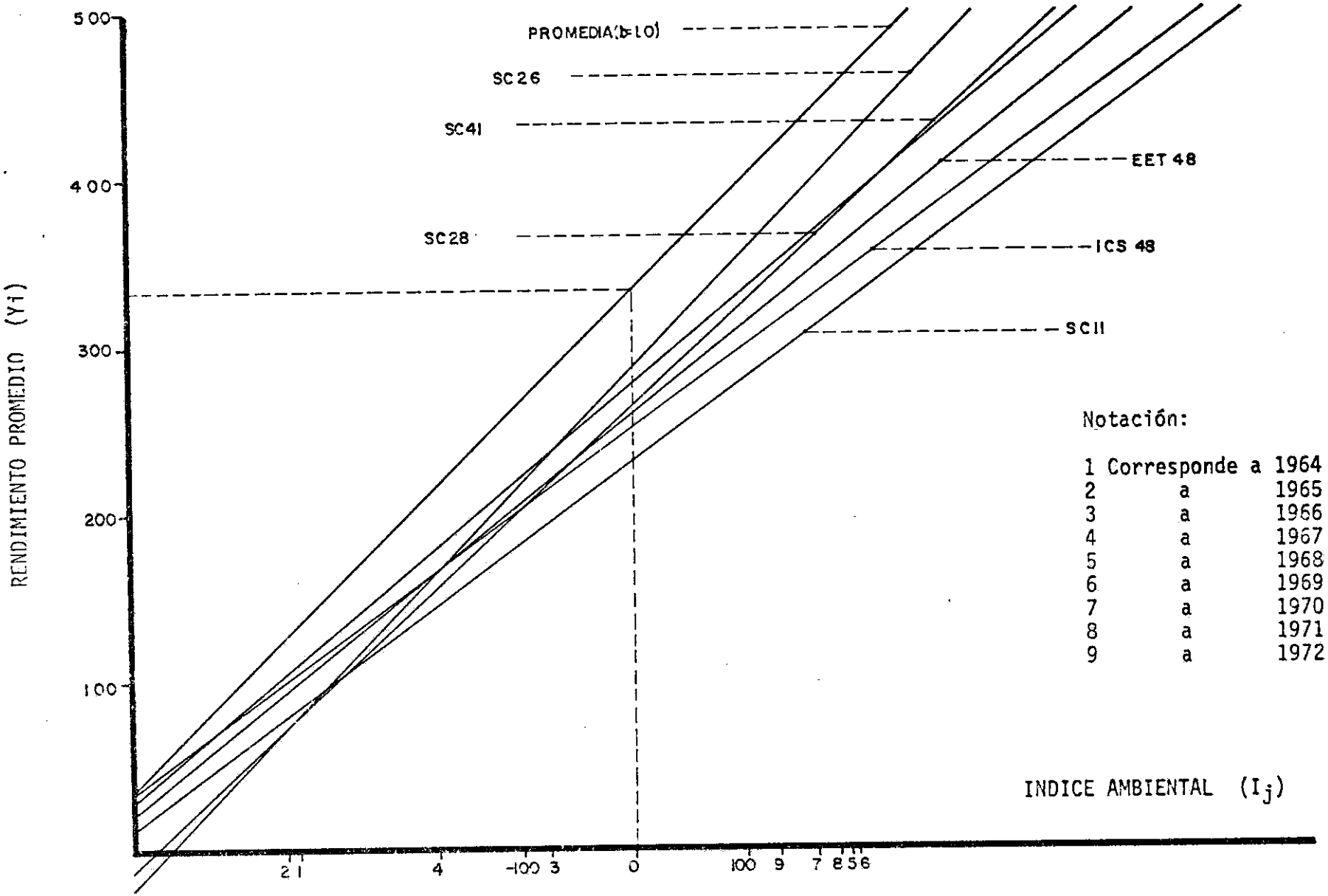

FIGURA 6. Líneas de regresión de los clones con adaptación pobre en función de la variable número de mazorcas.

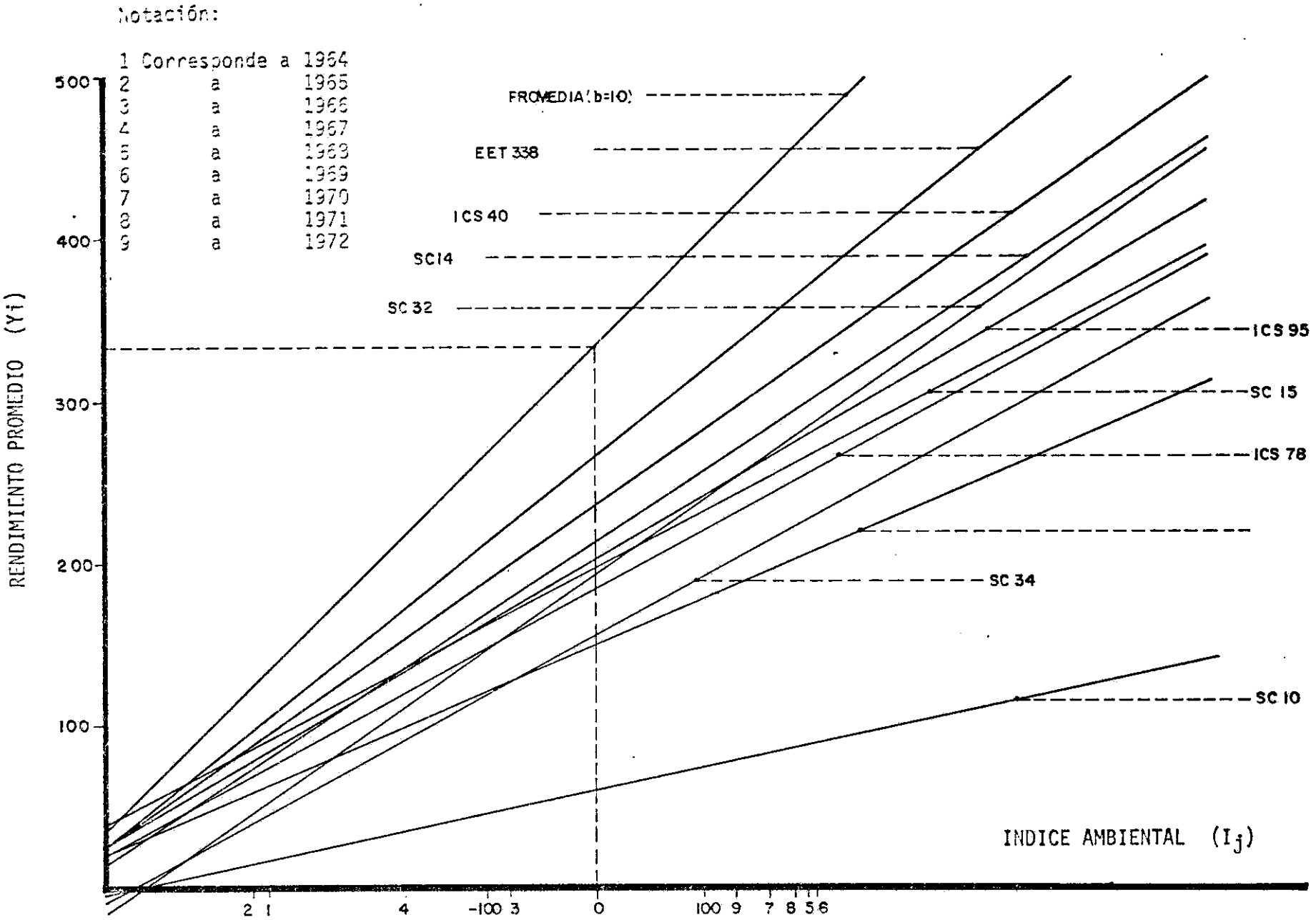

FIGURA 7. Líneas de regresión de los clones específicos para malos ambientes en función de la variable número de mazorcas.

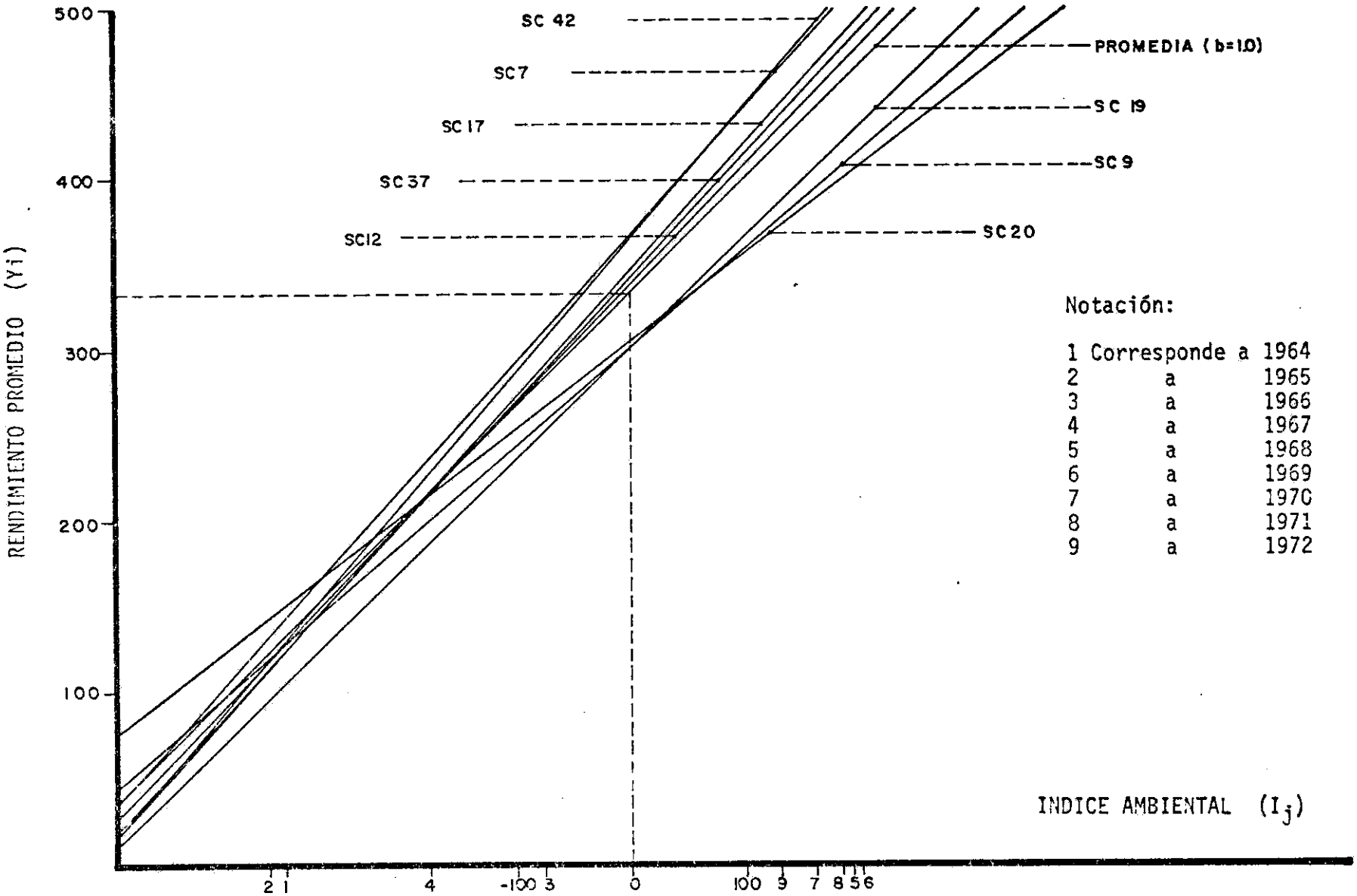

FIGURA 8. Líneas de regresión de los clones con adaptación promedia en función de la variable número de mazorcas.

Los clones clasificados en esta zona presentan un coeficiente de regresión estadísticamente igual a 1.0 y $S^2\underline{di} = 0$, lo cual indica una estabilidad promedia.

Zona 5. En ella se clasifican los clones con adaptación buena (Figura 9). El clon SC35 es el que presenta un mayor rendimiento, luego le siguen SC6, SC3, SC29, SC31, SC38, SC5, SC30 y SC33, los cuales se recomiendan para cualquier ambiente debido a su buena producción. Tienen un coeficiente de regresión estadísticamente igual a 1.0 y $S^2\underline{di} = 0$, que indica estabilidad promedia. Además, por poseer altos rendimientos se consideran como clones deseables y deben ser considerados en programas de mejoramiento del cultivo de cacao.

Analizando las diferentes zonas, se encontró que clones como el SC16, SC4, SC2 y SC40, específicos para buenos ambientes, presentan su línea de regresión por encima de la promedia, lo cual corresponde a la zona de adaptación buena. Esta zona es característica para clones de estabilidad promedia y además, deseables; por consiguiente, los clones mencionados se pueden considerar aptos para ambas zonas.

Los clones correspondientes a la zona para malos ambientes, tienen líneas de regresión por debajo de la promedia. Caso similar se presenta en los clones de adaptación pobre.

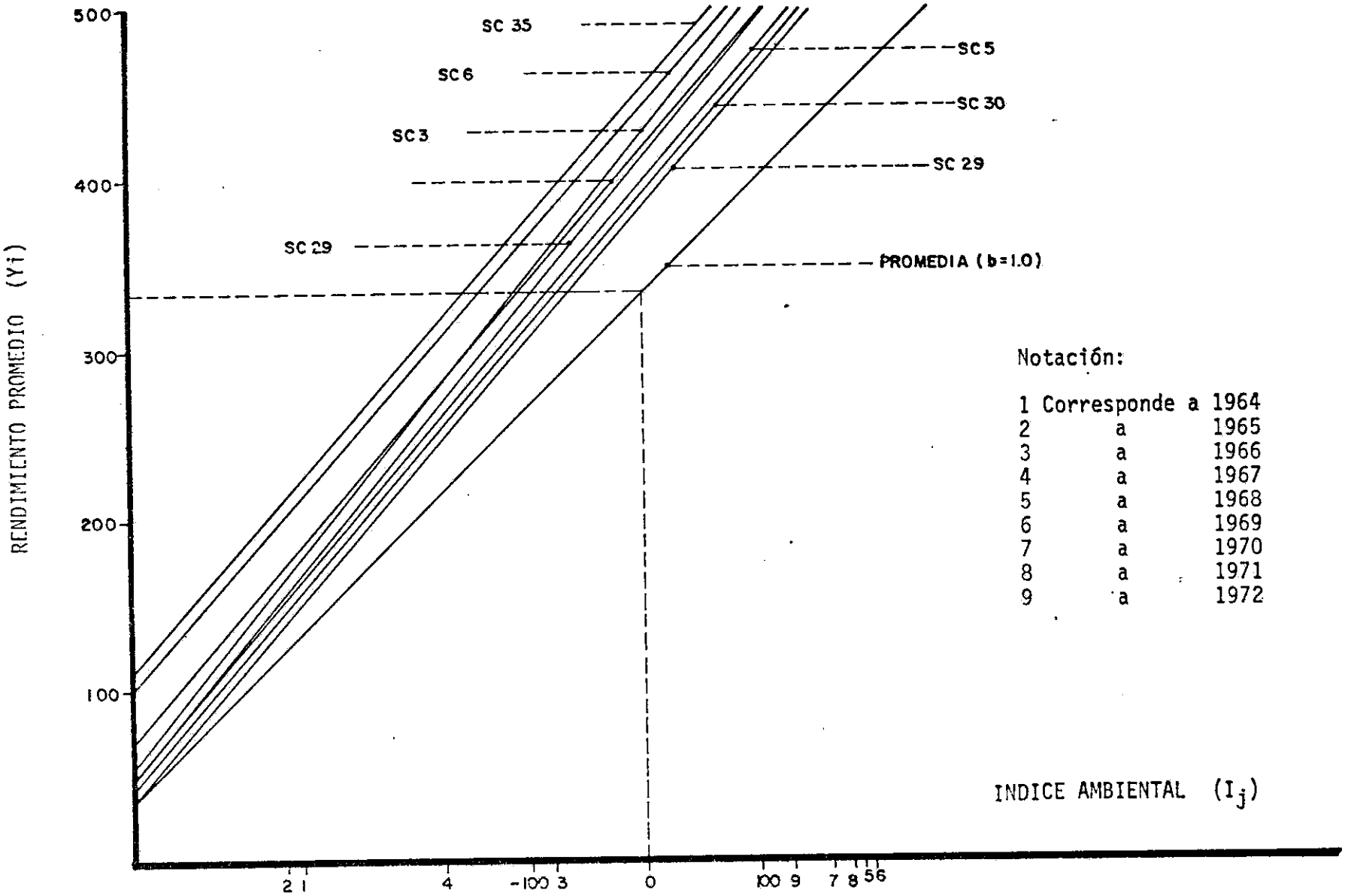

FIGURA 9. Líneas de regresión de los clones con adaptación buena en función de la variable número de mazorcas.

4.2.1.2. Variable Peso Seco.

Zona 1. En ella se clasifican los clones específicos para buenos ambientes (Figura 10). Generalmente los clones presentan sus líneas de regresión por debajo de la línea promedia durante los primeros años y luego, la cortan indicando que en los años posteriores mejoró el rendimiento del clon. Sus coeficientes de regresión son estadísticamente diferentes de 1.0, lo cual indica que son inestables. El clon SC8, además, presenta una desviación de la regresión diferente a cero.

Zona 2. En ella se clasifican los clones con adaptación pobre (Figura 11). Presentan líneas de regresión por debajo de la promedia, debido a su poca producción durante el tiempo que duró el estudio, los clones tienen un bi cercano a 1.0 (estadísticamente igual) y $S^2\underline{di} = 0$, lo cual indica que poseen estabilidad promedia con excepción del EET338, cuya desviación de la regresión es diferente de cero y se considera como inestable. Estos clones no son recomendables para cultivos comerciales.

Zona 3. En ella se clasifican los clones aptos para malos ambientes (Figura 12). No obstante que los clones presentan un $S^2\underline{di} = 0$ (estadísticamente igual a cero), se consideran poco estables por tener un coeficiente de regresión menor a 1.0. El clon SC10 presenta un bi = 0.38 y tuvo el rendimiento más bajo.

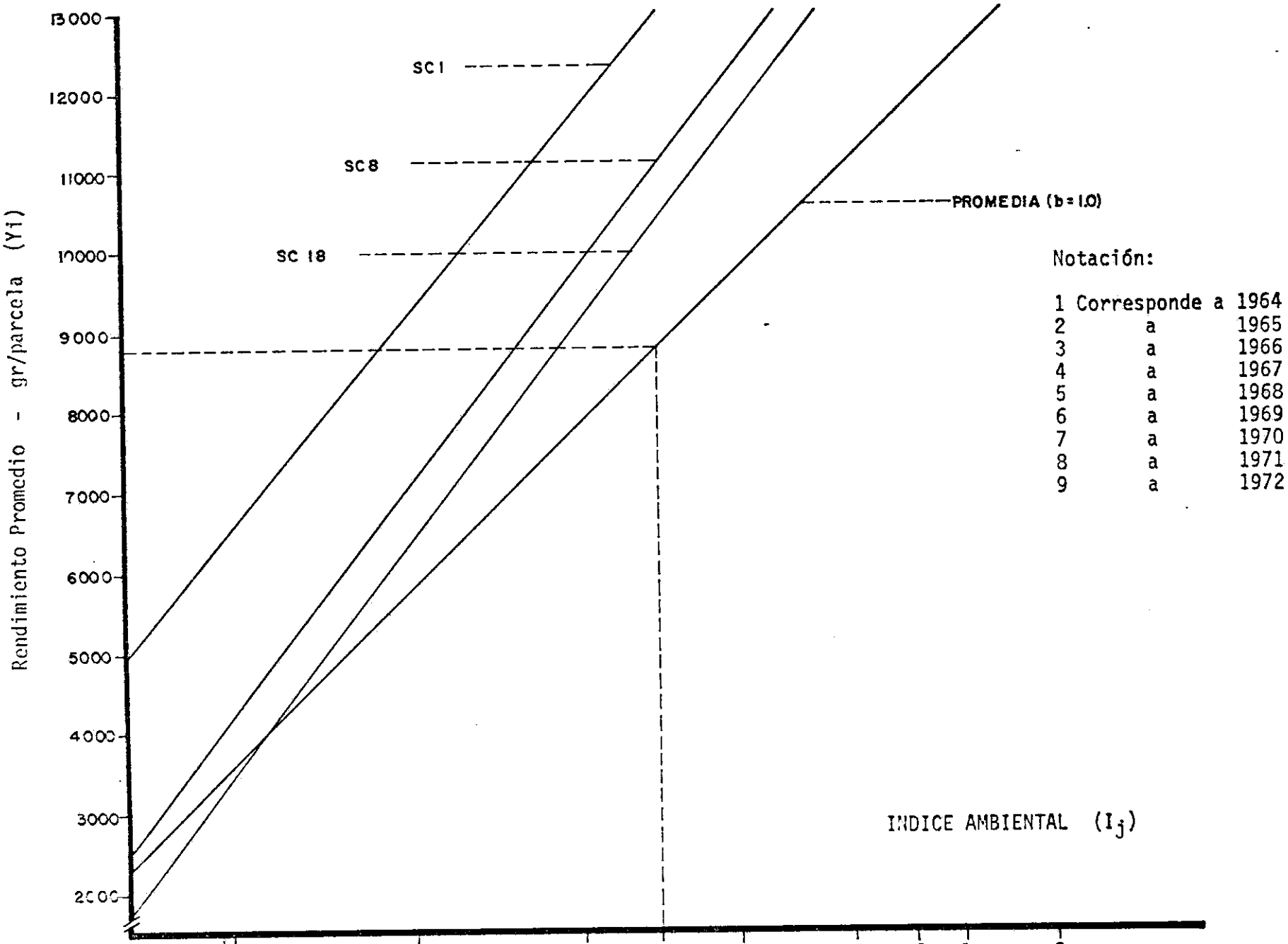

FIGURA 10. Líneas de regresión de los clones específicos para buenos ambientes en función de la variable peso seco.

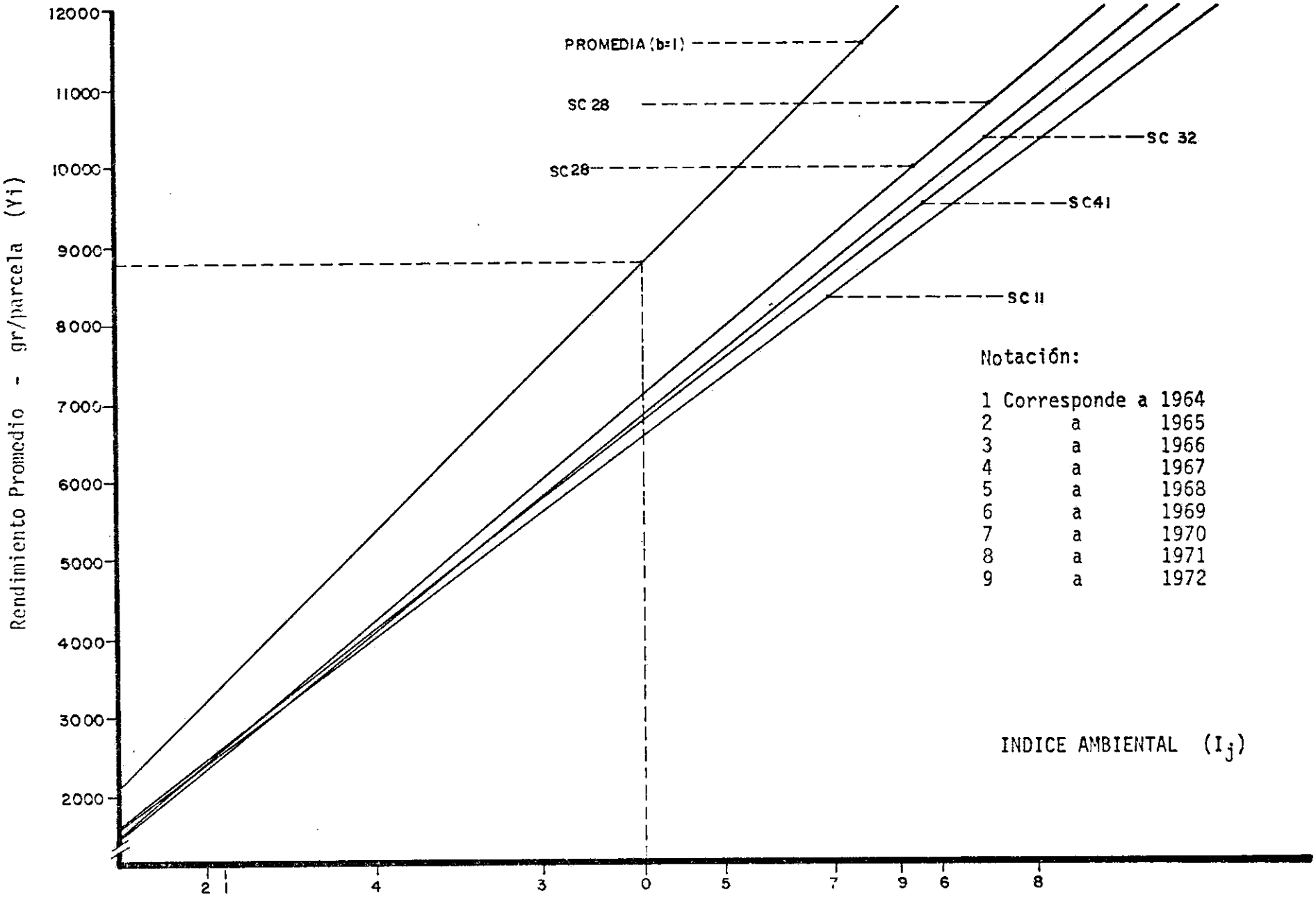

FIGURA 11. Líneas de regresión de los clones para adaptación pobre en función de la variable peso de cacao seco.

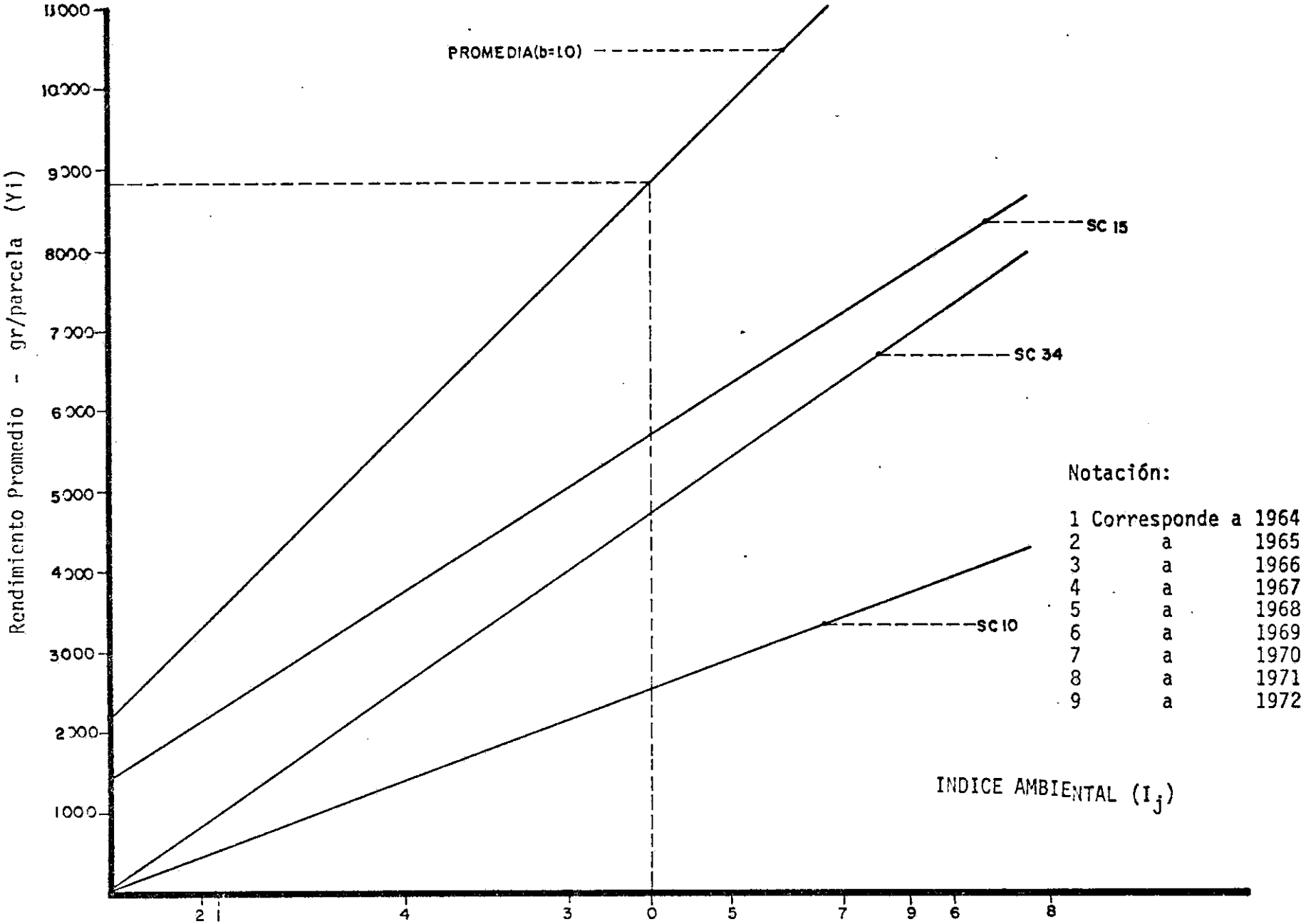

FIGURA 12. Líneas de regresión de los clones específicos para malos ambientes en función de la variable peso de cacao seco.

Zona 4. En ella se clasifican los clones con adaptabilidad promedia (Figura 13). Los ambientes los afectan en forma similar a la línea promedia. Los mejores clones de este grupo son SC33, EET48, SC7 e ICS40, los cuales presentan un rendimiento superior al promedio. Todos los clones tienen un coeficiente de regresión igual a 1.0 y un $S^2\underline{di} = 0$, lo cual indica estabilidad promedia.

Zona 5. En ella se clasifican los clones con adaptación buena (Figura 14). Los clones SC16 y SC35 presentan el mayor rendimiento. Sus coeficientes de regresión son estadísticamente iguales a 1.0 y la desviación de la regresión igual a cero, lo cual indica que poseen estabilidad promedia. Por otra parte, por sus altos rendimientos se consideran como clones deseables y deben ser considerados en programas de mejoramiento del cultivo del cacao.

Se puede observar que los clones SC1 y SC8, específicos para buenos ambientes, presentan sus líneas de regresión por encima del promedio, condición que los ubica en la zona de adaptación buena, por lo cual se les puede considerar para ambas zonas.

Los clones correspondientes a la zona para malos ambientes presentan sus líneas de regresión en forma similar a los de adaptación pobre.

4.2.1.3. Variable Indice de Mazorca.

Zona 1. En ella se clasifican los clones específicos para buenos ambien

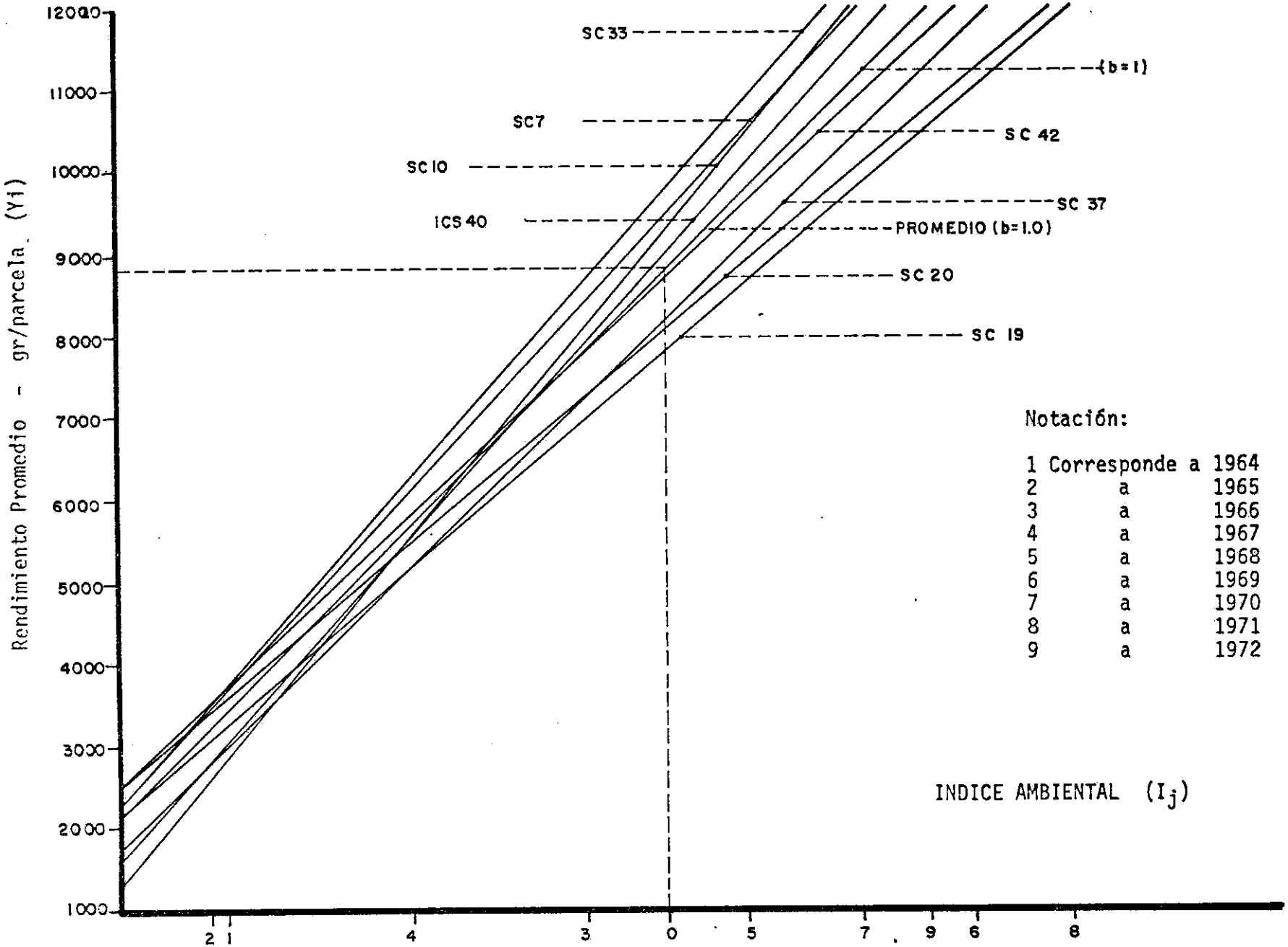

FIGURA 13. Líneas de regresión de los clones para adaptación promedia en función de la variable peso de cacao seco.

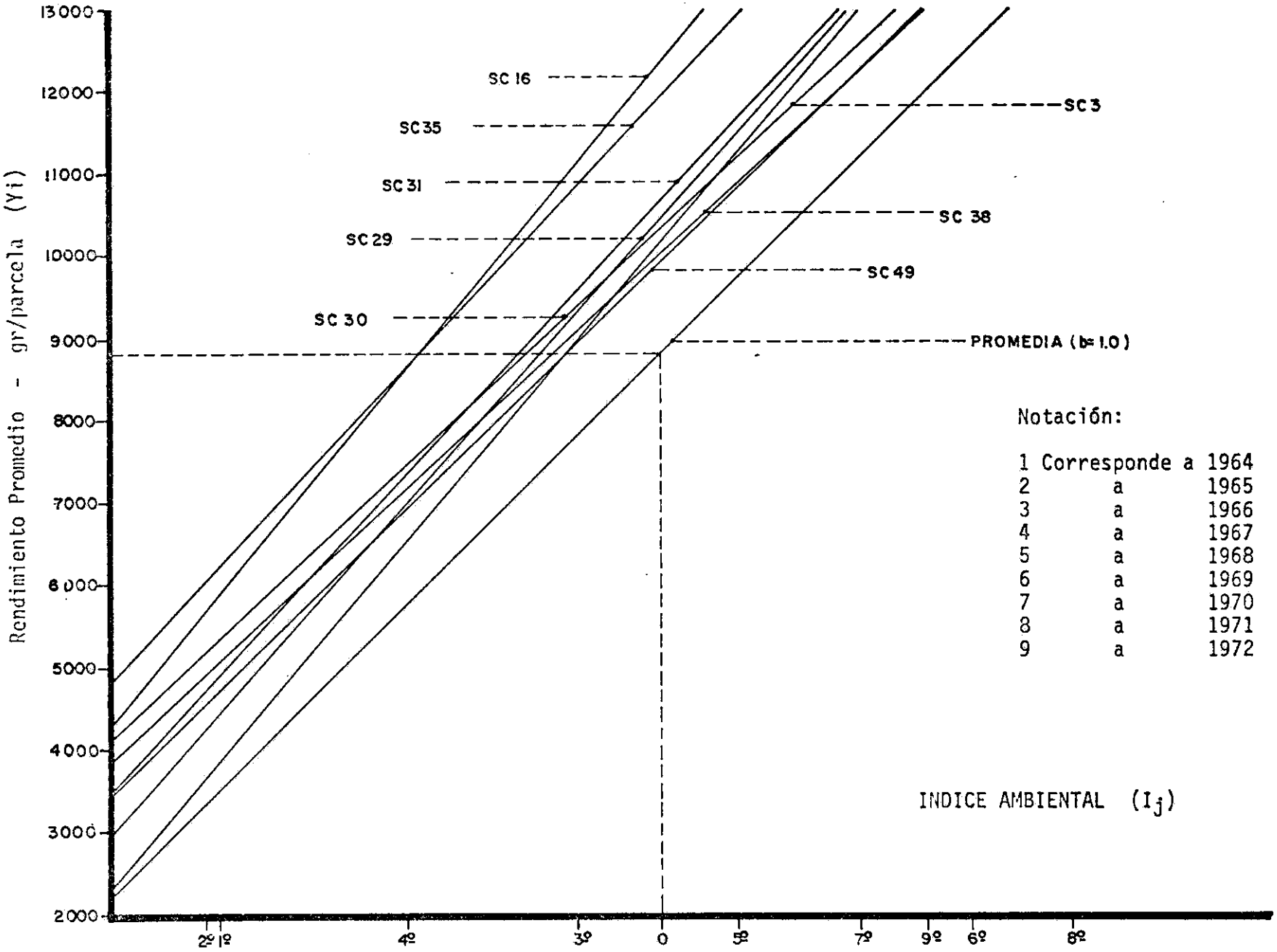

FIGURA 14. Líneas de regresión de los clones para adaptación buena en función de la variable peso de cacao seco.

tes (Figura 15), los cuales presentan líneas de regresión por debajo de la promedia durante los primeros años y luego la cortan indicando que en los años posteriores mejoraron el rendimiento. Los clones presentan un coeficiente de regresión diferente a 1.0, por lo cual se consideran como inestables.

Zona 2. En ella se clasifican los clones con adaptación pobre (Figura 16), los cuales presentan líneas de regresión por debajo de la promedia, debido a su poca producción durante el tiempo que duró el estudio. Tienen un bi cercano a 1.0 (estadísticamente igual) y $S^2di = 0$, lo que indica que tienen estabilidad promedia. Estos clones por su baja producción, no deben recomendarse.

Zona 3. En ella se clasifican los clones aptos para malos ambientes (Figura 17). No obstante que los clones presentan un S^2di (estadísticamente igual a cero), se consideran poco estables por tener un coeficiente de regresión menor a 1.0. Es de anotar que el clon SC32 presenta el coeficiente de regresión más bajo: bi=0.08.

Zona 4. En ella se clasifican los clones con adaptabilidad promedia (Figura 18), siendo afectados por el ambiente en forma similar a la línea promedia. Su coeficiente de regresión es igual a 1.0 y $S^2di = 0$, lo cual indica que tienen estabilidad promedia.

Zona 5. En ella se clasifican los clones con adaptación buena (Figura

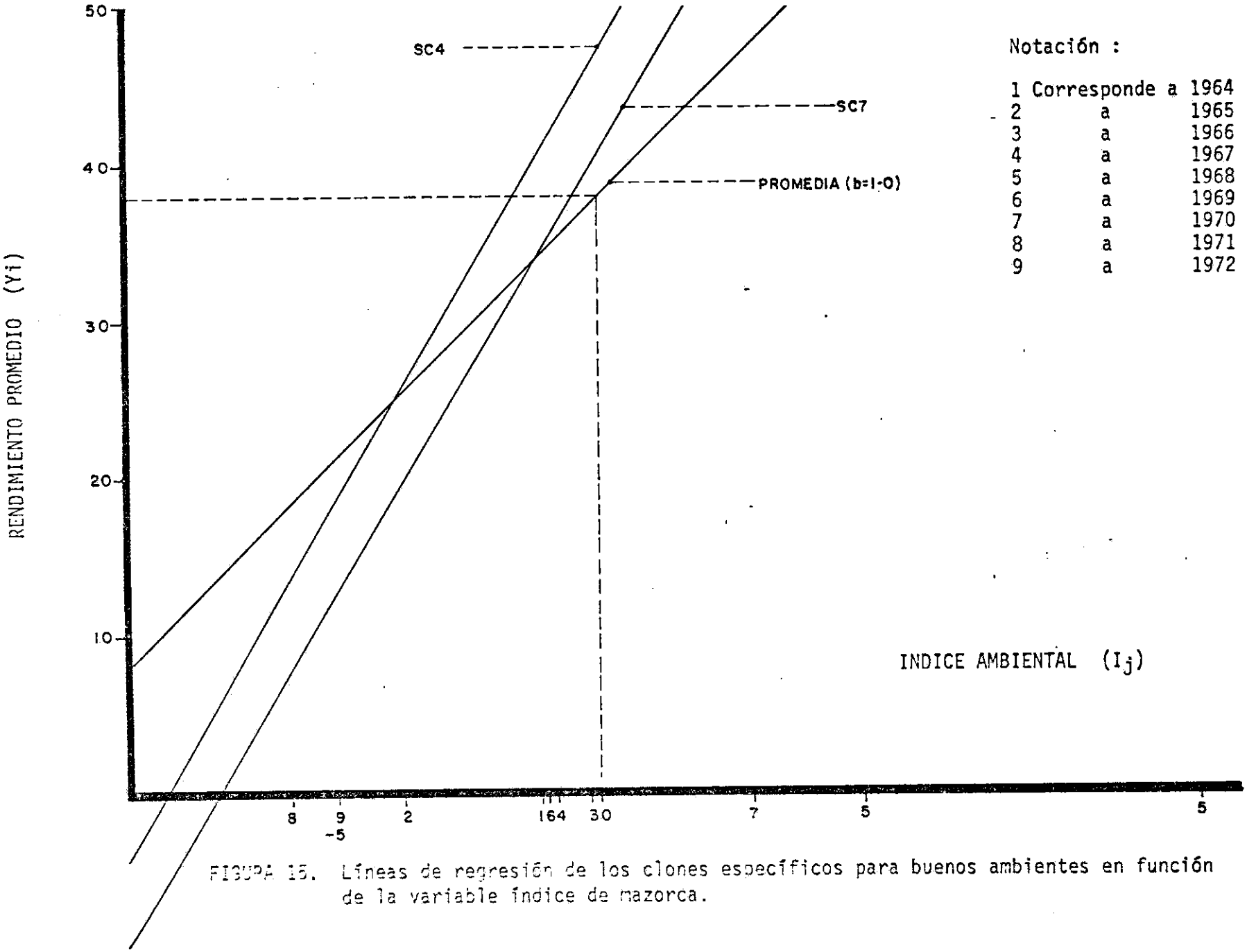

FIGURA 15. Líneas de regresión de los clones específicos para buenos ambientes en función de la variable índice de mazorca.

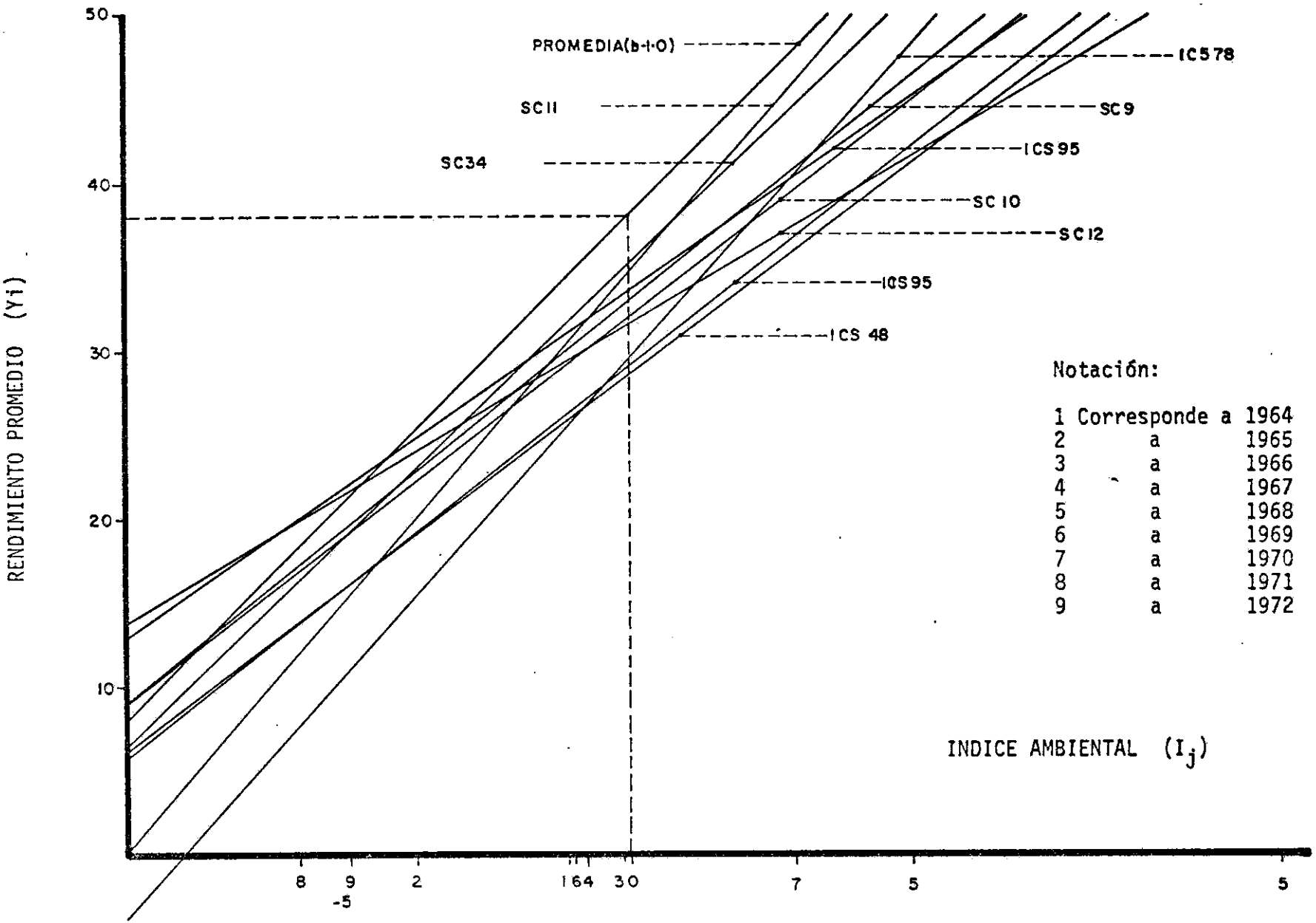

FIGURA 16. Líneas de regresión de los clones para adaptación pobre en función de la variable índice de mazorca.

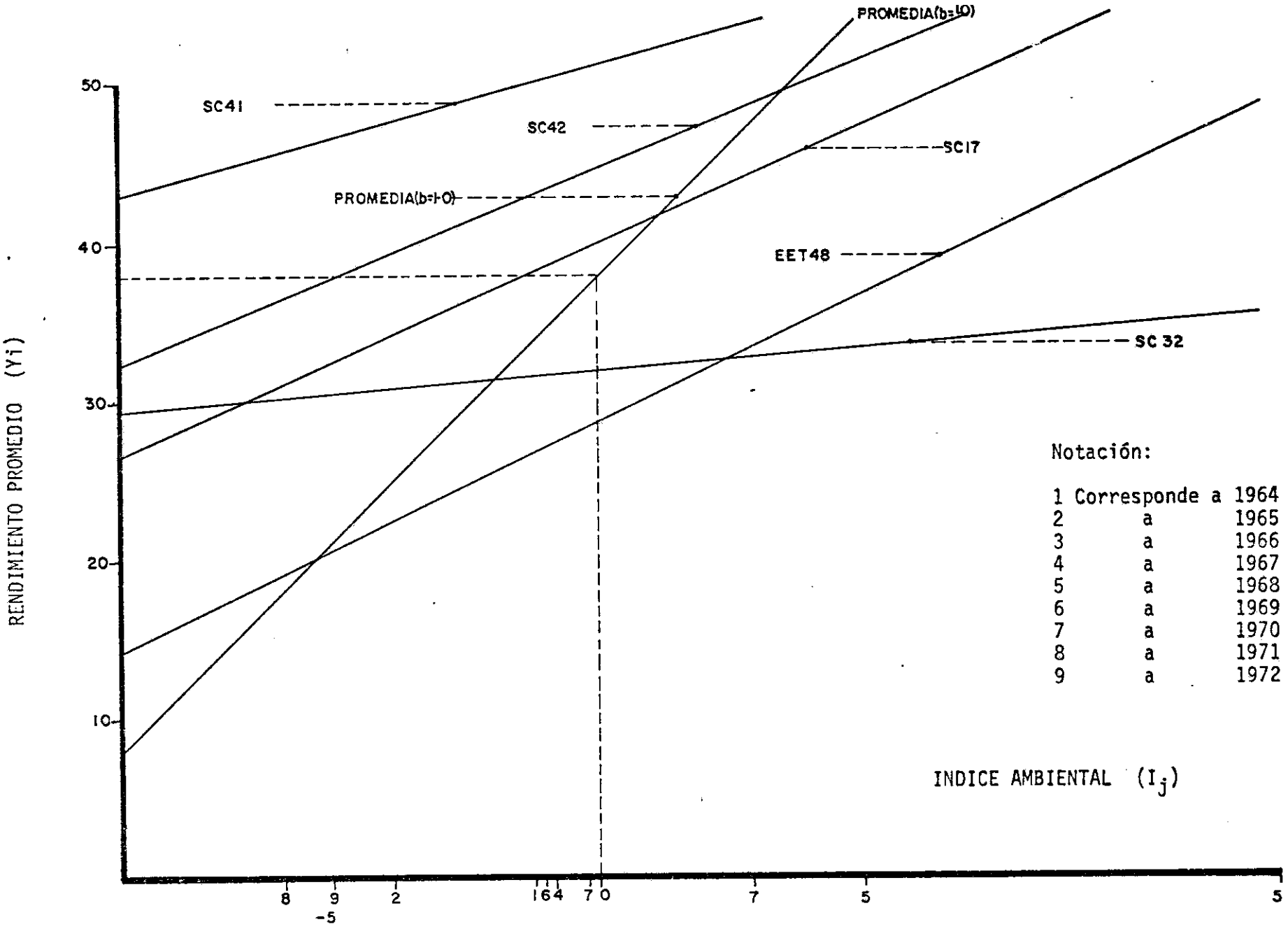

FIGURA 17. Líneas de regresión de los clones específicos para malos ambientes en función de la variable índice de mazorca.

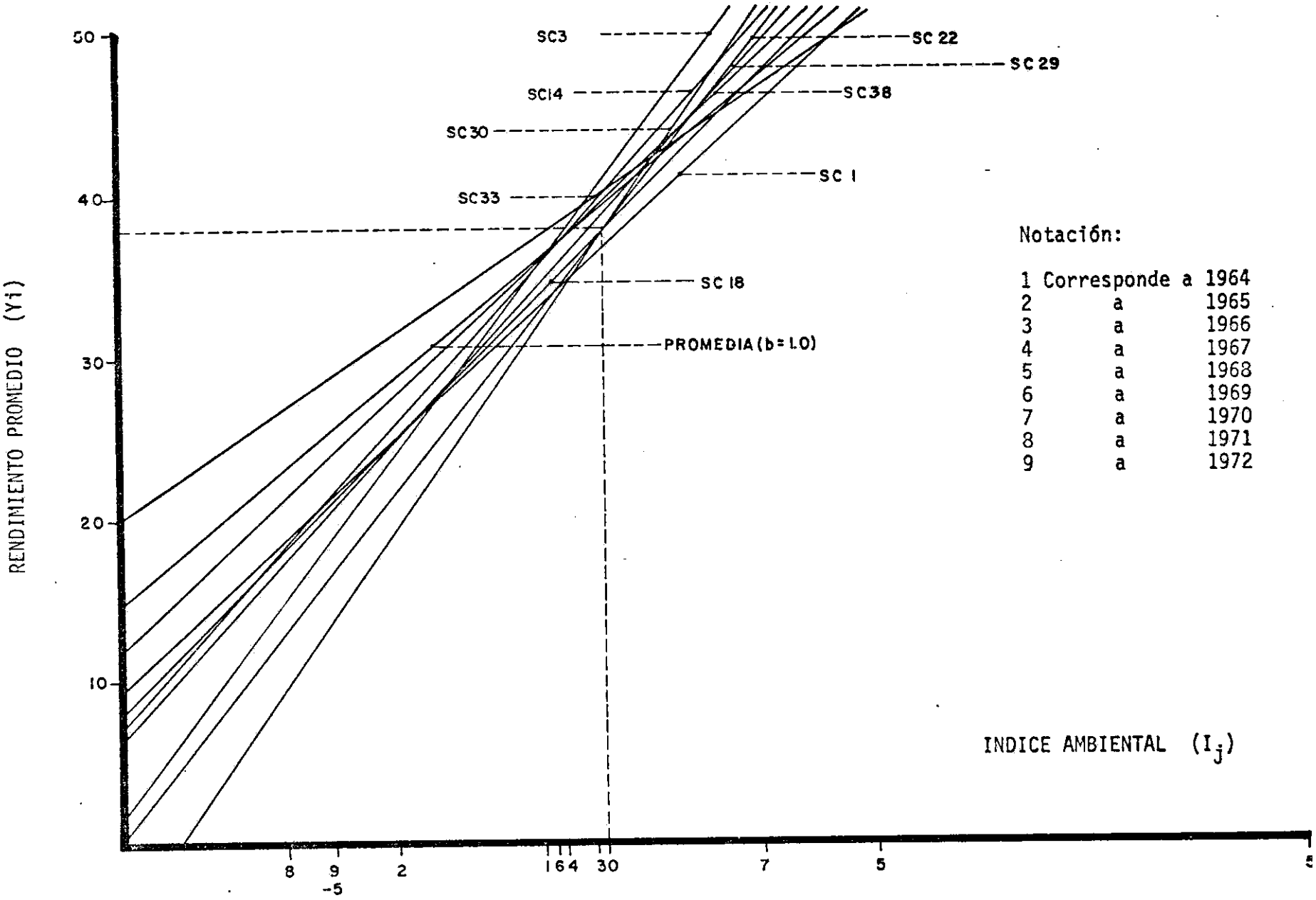

FIGURA 13. Líneas de regresión de los clones para adaptación promedia en función de la variable índice de mazorca.

19). Los clones SC6 y SC37 presentan un mayor rendimiento para índice de mazorca. Los coeficientes de regresión son iguales a 1.0 y la desviación de la regresión igual a cero, por lo cual poseen estabilidad promedia. Además, por sus altos rendimientos se consideran como clones deseables y deben ser considerados en programas de mejoramiento del cultivo de cacao.

Los clones SC37, SC6, SC2, EET338, SC40 y SC20, ubicados en la zona de adaptación buena, presentan inicialmente la línea de regresión por debajo de la promedia y luego la cortan; caso similar se presenta en la zona específica para buenos ambientes, por lo cual, estos clones se pueden catalogar dentro de las dos zonas.

4.3. Discusión de Resultados.

La estimación de los parámetros de estabilidad, aplicando el modelo de Eberhart y Russell (1.966), ha resultado efectiva en la discriminación de clones por su respuesta a distintos años, identificándose clones que reunen los atributos de deseables. Indudablemente que un rendimiento medio elevado y desviaciones de la regresión iguales a cero, son siempre deseables en un clon; sin embargo, por lo que respecta a los valores que puede adquirir el coeficiente de regresión, debiera ser el mejorador quien en función de las características de la zona, decidiera qué es lo más aconsejable. Si un clon se va a recomendar de manera general para un lugar donde estará sujeto a fluctuaciones del ambiente, el valor del

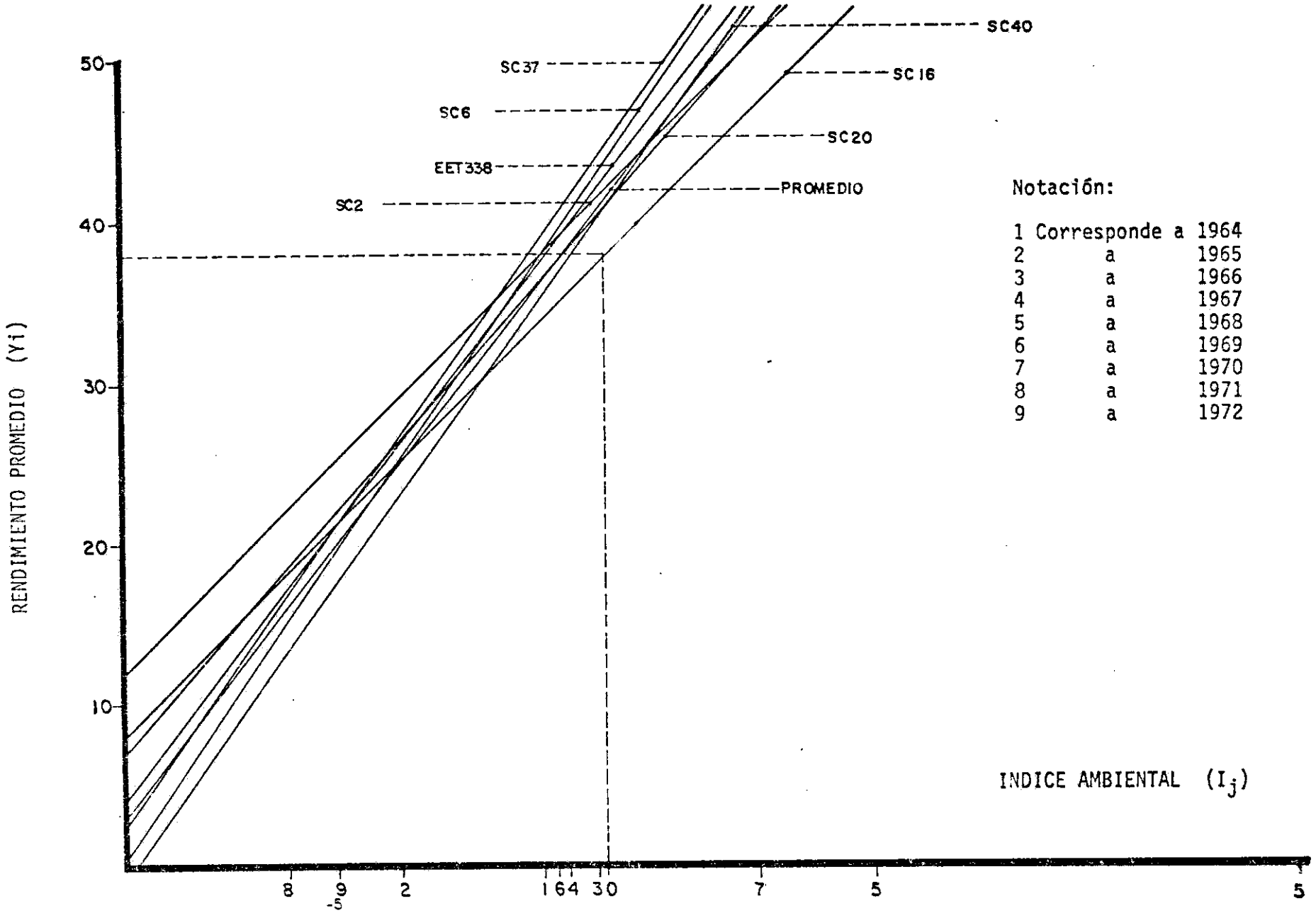

FIGURA 19. Líneas de regresión de los clones para adaptación buena en función de la variable índice de mazorca.

coeficiente de regresión debe ser 1.0; pero, si el lugar presenta condiciones favorables y/ó desfavorables, más o menos constantes de un año a otro y además es factible el control de algunas variaciones a nivel de invernadero, tales como, brillo solar, temperatura y precipitación, entonces podrán ser adecuados valores mayores ó menores que 1.0. Es indudable que en ambas condiciones deberá preferirse que $S^2\underline{di}$ tenga valores de cero ó cercanos a cero.

El rendimiento en cacao es estimado más correctamente por el peso seco de sus almendras; el peso total de los frutos, el tamaño de los frutos y las semillas y el número de almendras son los principales componentes de la producción (Ocampo 1972). En cuanto a este estudio la variable índice de mazorca no es un indicativo en productividad; ya que clones que presentaron un buen índice de mazorca no fueron los mejores en rendimiento.

5. CONCLUSIONES

1. Para la interacción genotipo-ambiente, medida en función de las variables número de mazorcas, peso seco, e índice de mazorcas, se puede concluir que: los años 1968, 1969, 1970 y 1971 presentaron los mejores factores ambientales para la manifestación de las 3 variables consideradas. Los años 1964, 1965 y 1967 presentaron índices ambientales negativos para la manifestación de las variables número de mazorcas y peso seco y los años 1965,1971 y 1972 para la variable índice de mazorcas.

2. Los clones ICS78, ICS95, ICS40, EET338, SC1, SC2, SC4, SC8, SC10, SC14, SC15, SC16, SC18, SC22, SC32, SC34, y SC40 presentaron un coeficiente de regresión diferente a 1.0 para la variable número de mazorcas considerandose inestables en la manifestación de este caracter. Por igual razón se consideran inestables para la variable peso seco los clones SC1, SC8, SC10, SC15, SC18, y SC34 y para la variable índice de mazorca los clones EET48, SC4, SC7, SC17, SC32, SC41, y SC42. Los clones no mencionados en cada una de las tres variables presentaron un coeficiente de regresión estadísticamente igual a 1.0 considerandose estables en las manifestaciones del respectivo caracter.

3. El 80% de los clones presentó diferencias significativas al nivel

del 5% de probabilidad para la variable número de mazorcas; el 70% para la variable peso seco y el 52,5% para la variable índice de mazorcas; lo cual indica que los clones usados tuvieron rendimientos estadísticamente diferentes.

4. En función de la variable número de mazorcas, los clones SC33, SC30, SC5, SC38, SC31, SC29, SC31, SC6 y SC35 resultaron específicos a buena adaptación con un bi = 1 y S^2di = 0 y además tuvieron rendimientos superiores al promedio por lo cual, se consideran promisorios para la variable medida. Por idénticas razones se consideran promisorios para la variable peso seco los clones SC29, SC6, SC38, SC5, SC40, SC31, SC3, SC4, SC35, SC16, SC30, SC12 y SC22 y para la variable índice de mazorca los clones SC40, EET338, SC2, SC6, SC37, SC16, y SC20.

5. En función de la variable número de mazorcas los clones SC12, SC37, SC17, SC42, SC7, SC20, SC9 y SC19 presentaron estabilidad y adaptabilidad promedias con bi = 1 y S^2di = 0 y rendimiento promedio; en igual forma se comportaron en función de la variable peso seco, los clones SC19, SC20, SC37, SC26, SC42, EET48, ICS40, SC17, SC7, SC33, SC9, e ICS48 y en función de la variable índice de mazorcas los clones SC8, SC35, SC26, SC18, SC19, SC15, SC22, SC14, SC1, SC38, SC29, SC31, SC30, SC28, SC3, y SC5.

6. En función de la variable número de mazorcas los clones ICS48, SC11,

EET48, SC28, SC41, y SC26, presentaron estabilidad promedia con bi = 1 y S^2di = 0 pero, resultaron específicos a adaptación pobre y tuvieron producción baja, por lo cual no son recomendables para cultivos comerciales en relación al caracter medido. Por idéntica razón y para la variable peso seco no son recomendables los clones ICS95, EET338, SC14, SC28, ICS78, SC11, SC41 y SC32, al igual que los clones SC12, ICS95, SC10, SC9, ICS40, ICS48, SC11, ICS78 con relación a la variable índice de mazorcas.

7. En función de la variable número de mazorcas los clones SC18, SC22, SC8, SC40, SC2, SC4, SC1 y SC16 fueron específicos para buenos ambientes, presentaron un bi superior a 1.0 y su producción fue consistente. Igual comportamiento tuvieron los clones SC18, SC8, y SC1, con relación a la variable peso seco los clones SC4 y SC7 con relación a la variable índice de mazorca.

8. En función de la variable número de mazorcas los clones SC32, ICS40, EET338, SC14, ICS95, SC15, ICS78, SC34 y SC10 fueron específicos para malos ambientes; presentaron un bi inferior a 1.0, por lo cual se consideran inestables para la manifestación de la variable medida. Igual comportamiento tuvieron los clones SC10, SC34,y SC15 con relación a la variable peso seco y los clones EET48, SC42, SC32, SC41, y SC17 con relación a la variable índice de mazorcas.

6. RESUMEN

El presente estudio se hizo con el fin de analizar la interacción genotipo por ambiente y conocer el grado de estabilidad genotípica de 40 clones de cacao.

Se usaron los datos de 9 años consecutivos de producción de un experimento de campo establecido en 1961 en el Centro Nacional de Investigación Palmira, por el Programa de Cacao del ICA. El diseño experimental es un bloque al azar con cuatro repeticiones.

Se usaron los datos de las variables número de mazorcas de cacao, peso de cacao seco e índice de mazorca, para determinar la adaptabilidad y estabilidad fenotípica de los clones, la cual se hizo por medio del método propuesto por Eberhart y Russell (1966).

Los resultados obtenidos fueron:

1. Se encontraron diferencias significativas en la interacción genotipo por ambiente, siendo 1968, 1969, 1970 y 1971 los años que presentaron los mejores ambientes para la manifestación de las variables estudiadas.

2. La mayoría de los clones presentaron una estabilidad promedia y además difirieron significativamente en el rendimiento, con relación a cada una de las variables usadas en el estudio.

3. Los clones SC1, SC8, SC16, SC35, SC38, SC3, SC30 y SC29 presentaron una adaptación buena y estabilidad promedia y altos rendimientos. De los clones estudiados son los más promisorios, por lo cual, se recomiendan para la siembra de cultivos comerciales de cacao en cualquier ambiente.

4. Los clones SC33, SC9, SC7, EICS40 presentaron una adaptación, estabilidad y rendimiento promedios, se recomiendan para la siembra de cultivos comerciales de cacao en ambientes promedios.

7. SUMMARY

This research was made with the purpose to analyse the genotype environment interaction, and to know the degree of phenotypic stability of 40 clons of cocoa.

The data were used of 9 consecutives years of production of one experimental field established at 1961, it was made at the National Research Center of the Institute of Colombian Agriculture (ICA), by the Cocoa Program of the ICA located in Palmira. The experimental design is a random blocks design with four repetitions.

The variables used in this experiment were number of ears of cocoa, weight of ears, and index of ear, to determine the phenotypic adaptability and stability of the clons, the model proposed by Eberhart and Russell (1966) was used.

The results obtained were:

1. Significative differences were founded in the genotype environment interaction. The best environments for the considered variables were the years 1968, 1969, 1970 and 1971.

2. The greater of clons displayed an average stability. Furthemore, they difered significativilly in the yield in relation to each of the used variables in the study.

3. The clons SC1, SC8, SC16, SC35, SC38, SC3, SC30 pud SC29 displayed a good adaptation and a good average stability, and high yields. These clons are the most promisories and hence recommended for sowing of commercial crops of cocoa at any environment.

4. The clons SC33, SC9, SC7 and ICS40 displayed an average adaptation, on average stability and average yields. Theses clons are recommended for sowing of commercial crops of cocoa at average environments.

8. BIBLIOGRAFIA

1. ABOU-El-FITTOH, H.A.; RAWLINGS, J.O.; MILLER, P.A. Classificatcn of environment interactions with an application to cotton. Crop. Science. (Estados Unidos) v.9, no.2, p.135-140. 1969.

2. ALLARD, R.W. The analysis of genetic - environmental interactions by means of diallel crosses. Genetics (Estados Unidos) v.41, no.2, p.305-318. 1956.

3. _____. Roles of genotype and environment in continous variation. En: Principles of plant breeding. New York, John Willey, 1960. p.89-98.

4. _____; BRADSHAW, A.D. Implications of genotype environment interactions in applied plant breeding. Crop. Science (Estados Unidos) v.4, no.5, p.503-508. 1964.

5. ARBOLEDA, F.G.; MEDINA, G.; CASSALETT, C. Comportamiento de maíces mejorados en la Costa Atlántica. Revista ICA (Colombia) v.4, no.1, p.11-25. 1965.

6. BARTLEY, B.C. Correlations of the yield annual in cocoa and his importance in selection. Tropical Agriculture (Trinidad) v.48, no.1, p.79-84. 1971.

7. BUCIO-ALANIS, L. Environmental and genotype environmental components of variability. I. Inbred lines. Heredity,(Inglaterra) v.21, no.3, p.387-397. 1966.

8. _____; HILL, H. Environmental and genotype environmental components of variability. II. Heterocigotes. Heredity (Inglaterra) v.21, no.3, p.399-405. 1966.

9. BUITRAGO, L.A.; OROZCO, S.H.; CAMACHO, L.H. Estudios sobre estabilidad del rendimiento en 16 líneas homocigotas de soya (Glycine max (L) Merr. En: Reunión Latinoamericana de Fitotecnia, 8a., 22-28 Nov., Bogotá, Colombia, 1972. Resúmenes. Bogotá, ALAF, 1972. p.168.

10. BYTH, D.E.; WEBER, C.R. Effects of genetic heterogeneity within two soybean populations. I. Variability within environment and stability across environments. Crop. Science (Estados Unidos) v.8, no.1, p.44-47. 1968.

11. CAMACHO, L.H. Estabilidad de líneas homocigotas de frijol. (Phaseolus vulgaris L.) y su implicación en la selección por rendimiento. Revista ICA (Colombia) v.3, no.3, p.165-168. 1968.

12. COCHRAN, W.; COX, G. Diseños Experimentales. México, Trillas, 1965. p.391-413.

13. COMSTOCK, R.E.; MOLL, R.H. Genotipe environment interaction. En: Symposium on Statistical Genetics and plant Breeding, North Carolina State College, 1961. Statistical Genetics and Plant Breeding. Washington, National Academy of Sciences, 1963. p.164-198. (National Research Council, 982).

14. CREECH, R.G.; SNYDER, R.J.; WANN, E.V.; LACHMAN, W.H. Genotype environmental interactions for sweet corn hibrids produced by the conventional and cytoplasmic genetic male sterile methods. Crop. Science (Estados Unidos) v.8, no.3, p.380-383. 1968.

15. DIAZ, C.; ARIAS, E.; TORREGROZA, M. Respuesta ambiental de seis variedades de maíz de clima frío. En: Torregroza C., M.; Diaz A.,C.; Arias F., E. Tres artículos científicos sobre métodos de mejoramiento genético y estabilidad fenotípica en maíz. Bogotá, ICA, 1974. p.21.

16. EBERHART, S.A. Yield and stability for a 10 line diallel of single-cross and double-cross maize hibrids. Crop. Science (Estados Unidos) v.9, no.3, p.357-361. 1969.

17. _____; RUSSELL, W.A. Stability parameters for comparing varieties. Crop. Science (Estados Unidos) v.6, no.1, p.36-40. 1966.

BIBLIOTECA AGROPECUARIA
DE COLOMBIA

18. ESQUIVELO, O.; SORIA, V.J. Algunos datos sobre la variabilidad de algunos componentes del rendimiento en poblaciones de híbridos interclonales de cacao. Cacao (Costa Rica) v.12, no.4, p.1-8. 1967.

19. FINLAY, K.W.; WILKINSON, G.N. The analysis of adaptation in a plant breeding programme. Australian Journal Agricultural Research. v.14, no.6, p.742-754. 1963.

20. FREEMAN, G.H.; PERKINS, J.M. Environmental and genotype environmental components of variability. VIII. Relation between genotypes grown in different environments and measure of these environments. Heredity (Inglaterra) v.27, no.1, p.15-23. 1971.

21. HAYMAN, B.I. The separation of espistatic from additive and dominance variation in generation means. Heredity (Inglaterra) v.12, no.3, p.371-390. 1958.

22. HORNER, T.W.; FREY, K.L. Methods for determining natural areas for oat varietal recomendations. Agronomy Journal (Estados Unidos) v.49, no.6, p.313-315. 1957

23. JENSEN, N.F. Intra-varietal diversification in oat breeding. Agronomy Journal (Estados Unidos) v.44, no.1, p.30-34. 1952.

24. JINKS, J.L.; PERKINS, J.M. Environmental and genotype environmental components of variability. III. Multiple lines and crosses. Heredity (Inglaterra) v.23, no.3, p.339-356. 1968.

25. _____; STEVENS, J.M. The components of variation among family means in diallel crosses. Genetics (Estados Unidos) v.44, no.2, p.297-308. 1959.

26. JONES, D.F. Heterosis and homeostasis in evolution and applied genetics. American Naturalist (Estados Unidos) v.92, no.867, p.321-328. 1958.

27. JONES, R.M.; MATHER, K. Interaction of genotype and environment in continuos variation. II. Analysis. Biometrics (Estados Unidos) v.14, no.4, p.489-498. 1958.

28. JONES, T.A.; MALIPHANT, G.K. High yields in cacao field experiments and their significance in future cacao research. En : Conferencia Interamericana de Cacao, 7a. Palmira, Colombia, 13-19 Julio, 1958. Palmira, Ministerio de Agricultura, 1958. p.321-326.

29. JOPPA, L.R.; LEBSOCK, K.L.; BUSH, R.H. Yield stability of selected spring wheat cultivars (Triticum aestivum L. em Tell) in the uniform regional nuvseries, 1959 to 1968. Crop. Science (Estados Unidos) v.11, no.2, p.238-241. 1971.

30. KOHEL, L.M. Phenotypic stability of homocigoúos parents and their F_1 hybrids in upland cotton, Gossypium hirsutum L. Crop. Science (Estados Unidos) v.9, no.1, p.85-88. 1969.

31. LERNER, I.M. Genetic homeostasis. New York, John Wiley and Sons, 1954. 134p.

32. LEWIS, D.A. A relatioship between dominance, heterosis, phenotypic stability and variability. Heredity (Inglaterra) v.8, no.3, p.333-356. 1954.

33. LEWONTIN, R.C. The adaptation of populations to varying environments. Cold spring Harbor Symposia Quantitative Biology (Estados Unidos) v.22, p.395-408. 1957.

34. McGUIRRE, C.F.; McNEAL, F.H. Quality responce of 10 hard red spring wheat cultivares to 25 environments. Crop. Science (Estados Unidos) v.14, no.2, p.175-178. 1974.

35. MARTINEZ, O.; TORREGROZA, M.; MARTINEZ, R. Estabilidad fenotípica de poblaciones heterocigotas en maíces de clima frío. Instituto Colombiano Agropecuario, Bogotá, Colombia, 1970. p.21. (Mimeografiado).

36. MATHER, K.; JONES, R.M. Interaction of environment in continous variation. I. Description. Biometrics (Estados Unidos) v.14, no.3, p.343-359. 1958.

37. MATZINGER, D.F.; SPRAGUE, G.F.; COCKERHAM, C.C. Diallel crosses of maize in experiments over locations and years. Agronomy Journal (Estados Unidos) v.51, no.6, p.346-350. 1959.

38. MILLER, P.A.; WILLIANS, J.C.; ROBINSON, H.F. Variety x environment interactions in cotton variety test and their implications on testing methods. Agronomy Journal (Estados Unidos) v.51, no.3, p.132-134. 1970.

39. MURARY, J.C.; VERHALEN, L.M. Genotype by environment interaction study of cotton in Oklahoma. Crop. Science (Estados Unidos) v.10, no.2, p.197-199. 1970.

40. OCAMPO,F. Estudio de la influencia genética de algunos cultivares de cacao en el rendimiento de sus cruzas. Turrialba (Costa Rica), Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, 1972. 55p. (Tésis Mag. Sci.).

41. PACUCCI, G. Stability of grain yield in selected mutant oat lines. Ames, Iowa, Iowa State University of Science and Technology, 1969. 104p. (Thesis Mag. Sci.).

42. PATANOTHAI, A.; ATKINS, R.E. Yield stability of single crosses and three-way of grain sorghum. Crop. Science (Estados Unidos) v.14, no.2, p.287-290. 1974.

43. PERKINS, J.M.; JINKS, J.L. Environmental and genotype environmental components of variability. IV. Non-Linear interactions for multiple inbread lines. Heredity (Inglaterra) v.23, no.4, p.525-535. 1968.

44. PLAISTED, R.L.; PETERSON, L.C. A technique for evaluating the ability of selections to yield consistently in different locations or seasons. American Potato Journal (Estados Unidos) v.36, no.11, p.381-385. 1959.

45. QUALSET, C.O.; GRANGER, R.M. Frecuency dependent stability of performance in oat. Crop Science (Estados Unidos) v.10, no.4, p.386-389. 1970.

46. QUISENBERRY, J.E.; KOHEL, R.J. Phenotipic stability of cotton. Crop. Science (Estados Unidos) v.11, no.6, p.827-829. 1971.

47. RAMOS, S.A.; HERNANDEZ, X.E. Ecología de la alfalfa en México. En: Reunión Latinoamericana de Fitotecnia, 7a.,17-23 de Septiembre, 1967. Resúmenes. Maracay, Venezuela, ALAF, 1967. p.184-185.

48. RASMUSSON, D.C. Yield and stability of yield of barley populations. Crop. Science (Estados Unidos) v.8, no.6, p.600-602. 1968.

49. _____; LAMBERT, J.W. Variety x environment interactions in barley variety tests. Crop. Science (Estados Unidos) v.1, no.4, p.261-262. 1965.

50. REICH, V.H.; ATKINS, R.E. Yield stability of four populations types of grain sorghum, Sorghum bicolor (L) Moench, in different environments. Crop. Science (Estados Unidos) v.10, no.5, p.511-517. 1970.

51. ROBINSON, H.F.; COCKERHAM, C.C. Estimación y significado de los parámetros genéticos. Traducción del inglés por Mario Gutierrez G., Fitotecnia Latinoamericana (Costa Rica) v.2, no.1-2, p.23-38. 1965.

52. _____; MOLL, R.H. Implications of environmental effects on genotypes in relation to breeding. Hybrid Corn Industry Research Conference. A.S.T.A. (Estados Unidos) v.14, no.1, p.24-31. 1959.

53. ROJAS, B.A.; SPRAGUE, G.F. A comparision of variance components in corn yield trials. III. General and specific combining ability and their interaction with location and years. Agronomy Journal (Estados Unidos) v.44, no.9, p.462-466. 1952.

54. ROSS, W.M. Yield of grain sorghum (Sorghum vulgare Per) hybrids alone and blends. Crop. Science (Estados Unidos) v.5, no.6, p.593-594. 1965.

55. ROWE, P.R.; ANDREW, R.H. Phenotypic stability for a sistematic series of corn genotypes. Crop. Science (Estados Unidos) v.4, no.6, p.563-567. 1964.

56. SALMON, S.C. Analysis of variance and logtime variety tests of wheat. Agronomy Journal (Estados Unidos) v.43, no.11, p.562-570. 1951.

57. SCOTT, G.E. Selecting for stability of yields in maize. Crop. Science (Estados Unidos) v.7, no.6, p.549-551. 1967.

58. SHANK, D.B.; ADAMS, M.W. Environmental variability within inbred lines and single crosses of maize. Journal Genetics (India) v.57, no.1, p.119-126. 1960.

59. SMITH, R.R.; BYTH, D.E.; CALDWELL, B.E., and WEBER, C.R. Phenotypic stability in soybean populations. Crop. Science (Estados Unidos) v.7, no.6, p.590-592. 1967.

60. SPRAGUE, G.F.; FEDERER, W.T. A comparison of variance components in corn yield trials. II. Error, year x variety, location x variety, and variety components. Agronomy Journal (Estados Unidos) v.43, no.11, p.535-541. 1951.

61. VARELA, J.D.; FRANCO, J. Adaptabilidad de variedades promisorias de trigo 1972. Revista ICA (Colombia) v.9, no.3, p.361-387. 1974.

62. VERHALEN, L.M.; MURRAY, J.C. A diallel analysis of several fiber property traits in upland cotton (Gossypium hirsutum L.). II. Crop. Science (Estados Unidos) v.9, no.3, p.311-315. 1969.

63. YATES, F.; COCHRAN, W.G. The analysis of groups of experiments. The Journal of Agricultural Science (Inglaterra) v.28, no.4, p.556-580. 1938.