

**COMPARACION DE DIFERENTES ESTADISTICOS  
DE ESTABILIDAD DE RENDIMIENTO EN  
TRITICALE (X. Triticosecale Wittmack)**

**VICTOR MANUEL ZAMORA VILLA**

**T E S I S**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRO EN CIENCIAS  
EN FITOMEJORAMIENTO**



**Universidad Autónoma Agraria  
Antonio Narro**

**PROGRAMA DE GRADUADOS**

**Buenavista, Saltillo, Coah.**

**DICIEMBRE DE 1990**

Tesis elaborada bajo la supervisión del comité particular de asesoría y aprobada como requisito parcial, para optar al grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS  
EN FITOMEJORAMIENTO**

Comité Particular

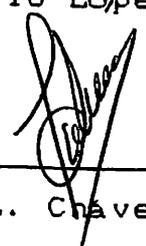
Asesor principal:

  
M.C. A. Javier Lozano del Rio

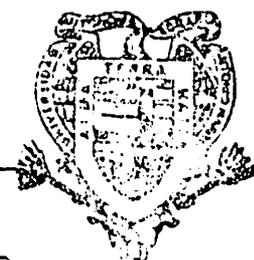
Asesor:

  
Dr. Eleuterio López Pérez

Asesor:

  
MC. José L. Chávez Araujo

  
Dr. José Mandel Fernández Brondo  
Subdirector de Asuntos de Postgrado



BIBLIOTECA  
EGIDIO G. REBONATO  
BANCO DE TESIS  
U.A.A.N.

Buenavista, Saltillo, Coahuila. Diciembre de 1990

## AGRADECIMIENTOS

Al MC. A. Javier Lozano del Río, por su incalculable ayuda y las facilidades prestadas para la realización de esta investigación, asesoría brindada y sobre todo por su desinteresada amistad.

Al Dr. Eleuterio López Pérez, por las revisiones y sugerencias hechas al presente estudio y su valiosa aportación a mi formación académica.

Al MC. José L. Chávez Araujo, por sus valiosas sugerencias, apoyo incondicional y motivación para seguir siempre adelante.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por su gran ayuda económica sin la cual no hubiese sido posible concluir mis estudios de Postgrado.

Al Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), por proporcionar el material genético utilizado en el presente estudio y las facilidades brindadas.

Mi sincero agradecimiento al Ing. Modesto Colín Rico y a los señores Jesús, Margarito, José y Juan, personal del Programa de Cereales, quienes con su trabajo y amistad incondicional hicieron posible la realización de este trabajo.

    A   mi   A L M A   M A T E R

## DEDICATORIA

A la memoria de mi abuelo:

Sr. Pedro Villa Meza

Hombre incansable y de voluntad inquebrantable  
ante la vida, cuyo ejemplo perdura en mi memoria.

A mi abuela:

Sra. Elvira Sifuentes Vda. de Villa

Cuyos consejos y amor infinitos me alientan en la  
vida.

A mis padres:

Sr Salvador Zamora Castro

Sra. Carmen Villa de Zamora

A quienes debo todo lo que soy, y me han dado un  
tesoro incalculable en la vida: Amor  
Que Dios los colme de bendiciones.

A mis hermanos:

Pedro. Luis Antonio, Socorro. María de  
Jesús, Manuela. María del Carmen.

Salvador y Juan Gabriel;

Pilares invaluables en mi existencia, quienes  
siempre me han proporcionado su cariño y apoyo  
para continuar adelante.

## COMPENDIO

Comparación de Diferentes Estadísticos de Estabilidad de Rendimiento en Triticale (*X. Triticosecale* Wittmack)

POR

VICTOR MANUEL ZAMORA VILLA

MAESTRO EN CIENCIAS

EN FITOMEJORAMIENTO

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA. DICIEMBRE DE 1990

M.C. Alejandro Javier Lozano del Río -Asesor-

Palabras Clave: Triticale, comparación de parámetros de estabilidad, diversas situaciones, clasificación, rendimiento.

En el presente estudio los rendimientos de grano de siete genotipos de triticale en ocho ambientes diferentes, fueron usados para comparar 17 estadísticos de estabilidad en la producción. Los estadísticos utilizados fueron: media, media ponderada, desviación estándar, varianza, coeficiente de variación, ecovalencia de Wricke (1962), varianza de estabilidad de Shukla (1972), media de la varianza genético-ambiental de Plaisted y Peterson

(1959), componente de varianza de Plaisted (1960), coeficiente de determinación de Pinthus (1973), coeficiente de regresión y desviaciones de regresión de Eberhart y Russell (1966), coeficiente de regresión y desviaciones de regresión de Perkins y Jinks (1968), rangos de Langer *et al.* (1979), y una desviación de ponderación propuesta en este estudio.

Los anteriores estadísticos se calcularon en siete situaciones planteadas de la siguiente manera: todos los genotipos y todos los ambientes del experimento, todos los genotipos menos el mejor y menos el peor ambiente del experimento, todos los ambientes menos el genotipo de mejor y peor media de rendimiento, y todos los genotipos en los cuatro mejores y cuatro peores ambientes del experimento; las dos últimas situaciones con el fin de probar una nueva clasificación en base a el coeficiente de regresión obtenido en sitios de alto y bajo rendimiento, propuesto por Verma *et al.* (1978).

Los resultados obtenidos mostraron que la media no se correlacionó con ningún parámetro de estabilidad, excepto con la media ponderada; que el procedimiento de Eberhart y Russell (1966) fué el más sensitivo, y que existe una correlación perfecta ( $r=1$ ) entre los parámetros de Eberhart y Russell (1966) y los de Perkins y Jinks (1968) o sea entre  $\beta_i$  y  $b_i$ ; y entre  $s^2_{di}$  y  $\delta^2_i$ .

Lo mismo sucedió entre los parámetros que particionan la interacción genotipo-ambiente ( $w^2_i$ ,  $\sigma^2_i$  y  $\theta_i$ ), además se encontró una correlación perfecta y negativa ( $r=-1$ ) entre el  $\theta_i$  con los tres parámetros antes mencionados.

El coeficiente de regresión ( $b_i$ ) también se correlacionó en forma positiva y altamente significativa con la  $s$ ,  $s^2$ , C.V. y el Vi. a través de las situaciones aquí planteadas, de tal manera que se sugiere la utilización de los anteriores estadísticos para calificar genotipos en base a su pendiente de regresión, aunque se recomienda obtener antes una forma confiable de clasificación en base a dichos estadísticos.

Se encontró evidencia de que ambientes similares (en este caso ambientes pobres o con índices negativos), hacen que los parámetros varíen y que sus calificaciones sean poco confiables. Asimismo la clasificación propuesta por Verma *et al.* (1978) debido al enunciado anterior, fue de poca validez en este estudio. Añadiéndose a lo anterior que dicha clasificación no contempla algunos comportamientos de el coeficiente de regresión que se presentaron en este trabajo.

**ABSTRACT**

Comparing Different Statistical Parameters for Stability  
of Yield in Triticale (*X. Triticosecale* Wittmack)

By

**VICTOR MANUEL ZAMORA VILLA**

**MASTER OF SCIENCE  
IN PLANT BREED**

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA. DECEMBER, 1990.**

M.C. Alejandro Javier Lozano del Río -advisor-

Key words: Triticale, comparing stability parameters for  
yield, diverse situations, clasification,  
yield.

In this study grain yields of seven triticale  
genotypes in eight different environments were used to  
compare seventeen stability statistics. These parameters  
were: mean, estimated mean, standard deviation, variance,  
coefficient of variability, Wricke's (1962), ecovalence  
Shulka's (1972), stability variance, Plaisted and Peterson's  
(1959) mean of genotype-environment variance, Plaisted's  
(1960) variance component, Pinthus' (1973) coefficient of

determination, coefficient of determination, Eberhart and Russell's (1966), regression coefficient and regression deviations, Perkins and Jinks' (1968), regression coefficient and regression deviations, ranges of Langer et al (1979) and a deviation of estimation which is a proposal based in this study.

The above mentioned statistics were evaluated for seven situations as follows: all genotypes and all environments in the experiment; all genotypes except the best and the worst environment, in the experiment; all environments, except the higher and lower yield mean genotype; and all genotypes in the best four and worst four environments in the experiment. The last two situations pretend to proof a new possible classification on the basis of the coefficient resulting low and high yield sites, proposed by Verma et al. (1978).

The accomplished results showed that the mean is not correlated to any other stability parameter, except estimated mean; the Eberhart and Russell's (1966) procedure was the most sensitive and that there is a perfect correlation ( $r=1$ ) among the indicators of Eberhart and Russell (1966) and those of Perkins and Jinks (1968), so to say between  $\beta_i$  and  $b_i$ ; and between  $s^2_{di}$  y  $\sigma^2_i$ .

Same as above happened with indicators which partitioned the genotype-environment interaction ( $w^2_i$ ,  $\sigma^2_i$  and  $\theta_i$ ) and it was found, besides, a perfect but negative correlation ( $r=-1$ ) among  $\theta_i$  and the three indicators before mentioned.

Regression coefficient ( $b_i$ ) was also correlated in a positive and highly significant way with  $s$ ,  $s^2$ , C.V. and  $V_i$ , through heretofore mentioned situations in a way that permits to suggest the use of them for genotype qualification, according to their regression trend, although it is advisable to obtain, before, a trusty classification way on the basis of those estimators.

Also was found evidence that similar environments (in this case the poor ones or those with negative indexes) make the indicators vary so that their qualifications do not deserve confidence; due to which, the Verma *et al.* (1978) classification was of little use in this study because, on the other hand, it omits some aspects of the regression coefficient behavior obtained in this study.

## INDICE DE CONTENIDO

	Página
INDICE DE CUADROS.....	xiv
INTRODUCCION.....	1
REVISION DE LITERATURA.....	3
Conceptos Básicos.....	3
Métodos que Miden la Estabilidad Utilizando la Técnica de Regresión.....	6
Métodos que Descomponen la Interacción Genotipo-Ambiente.....	12
Métodos que Utilizan Medidas de Dispersión de los Datos Observados.....	15
Correlaciones entre los Diferentes Paráme- tros que Estiman la Estabilidad.....	17
MATERIALES Y METODOS.....	23
Material Experimental.....	23
Análisis Estadístico.....	25 ✓
Comparación de Medias.....	30
Prueba de Homogeneidad de Varianza.....	30
Estadísticos Utilizados.....	34
Correlación entre Parámetros.....	49
Clasificación por Rangos de Friedman.....	50
RESULTADOS Y DISCUSION.....	52
Situación 1 (Todos los Genotipos en todos los Ambientes).....	52
Situación 2 (Todos los Genotipos menos el Mejor Ambiente).....	58
Situación 3 (Todos los Genotipos menos el Peor Ambiente).....	63
Situación 4 (Todos los Genotipos en los Mejores).....	66

	Página
Situación 5 (Todos los Genotipos en los Peores Ambientes del Experimento).....	72
Situación 6 (Todos los Ambientes del Experimento menos el Genotipo de Mayor Media de Rendimiento).....	76
Situación 7 (Todos los Ambientes del Experimento menos el Genotipo de Peor Media de Rendimiento).....	81
CONCLUSIONES.....	93
RESUMEN.....	94
LITERATURA CITADA.....	97
APENDICE.....	103

## INDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
3.1.	Número asignado y características geográficas y climáticas de los ambientes de prueba del experimento.....	24
3.2.	Germoplasma utilizado en los experimentos para evaluar la estabilidad.....	25
3.3.	Análisis de varianza individual para detectar las diferencias entre variedades para cada uno de los ambientes considerados.....	26
3.4.	Análisis de varianza combinado para el modelo con ambientes al azar y variedades fijas.....	29
3.5.	Modelo de Perkins y Jinks (1968), bajo el cual se pueden calcular medias ambientales y medias marginales de rendimiento, índices ambientales e índices genotípicos, así como la media general.....	33
3.6.	Análisis de varianza para estimar los parámetros de estabilidad. Eberhart y Russell, (1966).....	44
3.7.	Situaciones posibles que pueden tomar los parámetros de estabilidad. Carballo y Márquez, (1970).....	46
3.8.	Clasificación de genotipos basados en su pendiente de regresión (bi), en sitios de bajo rendimiento (L.Y.S.), y sitios de alto rendimiento (H.Y.S.). Según Verma et al (1978).....	46
4.1.	Análisis de varianza combinado cuando son considerados todos los genotipos y todos los ambientes del experimento.....	53
4.2.	Comparación de medias de rendimiento cuando son considerados todos los genotipos y todos los ambientes del experimento.....	54

4.3.	Medias, coeficientes de regresión y desviaciones de regresión de Eberhart y Russell (1966) y varianza de estabilidad de Shukla (1972) de todos los genotipos en todos los ambientes del experimento.....	55
4.4.	Correlaciones por rangos de Spearman (1904) entre pares de parámetros, cuando son considerados todos los genotipos en todos los ambientes del experimento.....	56
4.5.	Análisis de varianza combinado cuando son considerados todos los genotipos menos el mejor ambiente del experimento.....	59
4.6.	Comparación de medias de rendimiento cuando son considerados todos los genotipos menos el mejor ambiente del experimento....	59
4.7.	Medias, coeficientes de regresión y desviaciones de regresión de Eberhart y Russell (1966) y varianza de estabilidad de Shukla (1972) de todos los genotipos menos el mejor ambiente del experimento....	61
4.8.	Correlaciones por rangos de Spearman (1904) entre pares de parámetros, cuando son considerados todos los genotipos menos el mejor ambiente del experimento.....	62
4.9.	Análisis de varianza combinado cuando son considerados todos los genotipos menos el peor ambiente del experimento.....	64
4.10.	Comparación de medias de rendimiento cuando son considerados todos los genotipos menos el peor ambiente del experimento.....	64
4.11.	Medias, coeficientes de regresión y desviaciones de regresión de Eberhart y Russell (1966) y varianza de estabilidad de Shukla (1972) de todos los genotipos menos el peor ambiente del experimento.....	66
4.12.	Correlaciones por rangos de Spearman (1904) entre pares de parámetros, cuando son considerados todos los genotipos menos el peor ambiente del experimento.....	67
4.13.	Análisis de varianza combinado cuando son considerados todos los genotipos en los mejores ambientes del experimento.....	69

Cuadro	Página
4.14.	Comparación de medias de rendimiento cuando son considerados todos los genotipos en los mejores ambientes del experimento... 69
4.15.	Medias, coeficientes de regresión y desviaciones de regresión de Eberhart y Russell (1966) y varianza de estabilidad de Shukla (1972) de todos los genotipos en los mejores ambientes del experimento... 70
4.16.	Correlaciones por rangos de Spearman (1904) entre pares de parámetros, cuando son considerados todos los genotipos en los cuatro mejores ambientes del experimento... 71
4.17.	Análisis de varianza combinado cuando son considerados todos los genotipos en los peores ambientes del experimento..... 72
4.18.	Comparación de medias de rendimiento cuando son considerados todos los genotipos en los peores ambientes del experimento.... 73
4.19.	Medias, coeficientes de regresión y desviaciones de regresión de Eberhart y Russell (1966) y varianza de estabilidad de Shukla (1972) de todos los genotipos en los peores ambientes del experimento.... 74
4.20.	Correlaciones por rangos de Spearman (1904) entre pares de parámetros, cuando son considerados todos los genotipos en los cuatro peores ambientes del experimento.... 75
4.21.	Análisis de varianza combinado cuando son considerados todos los ambientes menos el genotipo de mayor media..... 77
4.22.	Comparación de medias de rendimiento cuando son considerados todos los ambientes menos el genotipo de mejor media..... 77
4.23.	Medias, coeficientes de regresión y desviaciones de regresión de Eberhart y Russell (1966) y varianza de estabilidad de Shukla (1972) en todos los ambientes menos la variedad de mejor media de rendimiento..... 79
4.24.	Correlaciones por rangos de Spearman (1904) entre pares de parámetros, cuando son considerados todos los ambientes menos el genotipo de mayor media de rendimiento..... 80

Cuadro		Página
4.25.	Análisis de varianza combinado cuando son considerados todos los ambientes menos el genotipo de peor media del experimento.....	82
4.26.	Comparación de medias de rendimiento cuando son considerados todos los ambientes menos el genotipo de peor media.....	82
4.27.	Medias, coeficientes de regresión y desviaciones de regresión de Eberhart y Russell (1966) y varianza de estabilidad de Shukla (1972) en todos los ambientes menos el genotipo de peor media de rendimiento.....	84
4.28.	Correlaciones por rangos de Spearman (1904) entre pares de parámetros, cuando son considerados todos los ambientes menos el genotipo de peor media de rendimiento.....	85
4.29.	Repetibilidad de las correlaciones entre pares de parámetros, a través de las siete situaciones planteadas en el experimento.....	87
4.30.	Valores medios de los parámetros en cada una de las situaciones planteadas en el experimento.....	90
4.31.	Coeficientes de regresión de los siete genotipos en cuatro sitios de alto rendimiento (H.Y.S.) y cuatro sitios de bajo rendimiento (L.Y.S.), para su calificación en base a la clasificación propuesta por Verma et al (1978).....	91
1.A.	Medias de rendimiento por localidad, índices genotípicos, ambientales y media general del experimento.....	104
2.A.	Cuadrados medios de los análisis de varianza en cada uno de los ocho ambientes considerando los siete genotipos.....	105
3.A.	Resultados de la prueba de Bartlett (1937) de homogeneidad de varianzas en cada una de las situaciones planteadas en el experimento.....	106
4.A.	Parámetros estimados y rangos (R) asignados cuando se consideran todos los genotipos en todos los ambientes del experimento.....	107

Cuadro	Página
5.A.	Parámetros estimados y rangos (R) asignados cuando se consideran todos los genotipos, omitiendo el mejor ambiente del experimento.....108
6.A.	Parámetros estimados y rangos (R) asignados cuando se consideran todos los genotipos, omitiendo el peor ambiente del experimento.....109
7.A.	Parámetros estimados y rangos (R) asignados cuando se consideran todos los genotipos en los cuatro mejores ambientes del experimento.....110
8.A.	Parámetros estimados y rangos (R) asignados cuando se consideran todos los genotipos en los cuatro peores ambientes del experimento.....111
9.A.	Cuadrados medios de los análisis de varianzas en cada uno de los ocho ambientes cuando es suprimido el genotipo de mayor media de rendimiento.....112
10.A.	Parámetros estimados y rangos (R) asignados cuando son considerados todos los ambientes menos el genotipo de mayor media de rendimiento.....113
11.A.	Cuadrados medios de los análisis de varianza en cada uno de los ocho ambientes cuando es suprimido el genotipo de menor media de rendimiento.....114
12.A.	Parámetros estimados y rangos (R) asignados cuando son considerados todos los ambientes menos el genotipo de menor media de rendimiento.....115

## INTRODUCCION

El medio ambiente influye sobre el genotipo de las plantas modificándolo favorable o desfavorablemente, dando origen de esta manera al fenotipo. El efecto que produce el ambiente al actuar sobre un genotipo es lo que se conoce como el fenómeno de la interacción genético- ambiental, y es el motivo por el cual algunos genotipos presentan mayor adaptación a determinadas condiciones ambientales.

Actualmente los programas de mejoramiento incluyen la estabilidad de los genotipos como un criterio de selección, sin embargo, existen hasta la fecha un gran número de procedimientos estadísticos o metodologías para determinar la magnitud de la interacción genético-ambiental, variando éstas tanto en su facilidad de cálculo como en su interpretabilidad y confiabilidad.)

En base a lo anteriormente expuesto los objetivos de el presente trabajo son:

1. Comparar 17 distintos parámetros que miden la estabilidad de los genotipos.

2. Correlacionar los parámetros y seleccionar aquel o aquellos que resulten ser los mas eficientes y confiables para clasificar a los genotipos de triticales en base a su estabilidad.

## REVISION DE LITERATURA

### Conceptos Básicos

Lewontin (1957) describe dos tipos de adaptación; adaptación dentro de una población y adaptación de una población. La primera se define como la habilidad relativa de los individuos de un genotipo particular en la contribución de descendencia en generaciones sucesivas, y la segunda se define como la habilidad de esa población comparada con otras para llevar adelante su descendencia en generaciones sucesivas.

Estas dos definiciones son la especificación del valor adaptativo de los genotipos en un ambiente dado. Dice además que una población posee una mayor adaptación que otra si está adaptada a un número mayor de ambientes.

Por esta razón, una población que puede ajustar su composición genotípica y fenotípica hasta sobrevivir y reproducirse en diferentes ambientes es llamada población homeostática. También considera que hay dos tipos de control homeostático; la composición genotípica de la población y la de los individuos por si mismos.

Simmonds (1962) menciona que la adaptabilidad es la propiedad o habilidad de un genotipo o de una población de genotipos que permite la subsecuente alteración de las normas de adaptación en respuesta a los cambios en las presiones de selección, en tanto adaptación es una condición de aptitud a un ambiente dado.

Según Bradshaw (1965) plasticidad es la expresión del genotipo que es alterada por influencias ambientales y sugiere que la plasticidad morfológica y fisiológica están estrechamente relacionadas.

Allard y Bradshaw (1964) definen a una variedad estable o equilibrada, como aquella que puede ajustar su estado genotípico y fenotípico en respuesta a las fluctuaciones del ambiente en forma tal que repite esas respuestas para cada localidad y año.

La estabilidad individual la definen como la capacidad de miembros individuales de una población para exhibir un comportamiento estable en todos los ambientes como resultado de estabilidad de los individuos por si mismos.

La estabilidad poblacional se refiere al equilibrio entre todos los constituyentes individuales de la población. En especies autógamias existen evidencias de que este equilibrio o estabilidad puede ser una propiedad de

genotipos específicos no asociada con la heterocigosidad.

Se supone que en la homeóstasis poblacional, la heterogeneidad que existe entre los individuos, permite que al ir sometiéndose la población a diferentes ambientes, porciones de ella sean adaptables a las diferentes condiciones ambientales.

Esto puede no ser siempre el caso, pues Eberhart y Russell (1969) encontraron dos cruza simples de líneas homocigóticas (poblaciones homogéneas heterocigóticas), que resultaron tan estables como cualquiera de las cruza dobles (poblaciones menos homogéneas que las cruza simples y heterocigóticas), lo cual puede atribuirse a un mayor vigor híbrido o bien a una constitución genética de adaptabilidad de las cruza simples.

Recientemente Lin et al. (1986) definieron dos tipos de estabilidad; estabilidad en el sentido biológico y estabilidad en el sentido agronómico. Ellos definen la estabilidad biológica (homeóstasis) como la propiedad de un genotipo para mostrar poca variación en rendimiento (o la variable en estudio), cuando es evaluado en diferentes ambientes, es decir, que el genotipo es casi insensible a los diferentes ambientes de prueba a que se somete.

Asimismo un genotipo posee estabilidad en el sentido agronómico cuando su respuesta a los diferentes ambientes es

paralela a la respuesta media de todos los genotipos considerados en el experimento.

Mencionan además, que la estabilidad biológica es muy poco deseada, al parecer debido a que al mejorador le gustaría encontrar cultivares no sólo con buena estabilidad biológica sino también con un alto rendimiento, y que este tipo de estabilidad está a menudo asociada con bajo rendimiento y baja respuesta a ambientes donde otras variedades logran un alto rendimiento (ambientes de alto potencial de rendimiento).

#### **Métodos que Miden la Estabilidad Utilizando la Técnica de Regresión**

Desde que Yates y Cochran (1938) desarrollaron una técnica estadística para comparar el comportamiento de un conjunto de variedades en varios ambientes diferentes, se han desarrollado numerosos y variados procedimientos estadísticos para medir la estabilidad del rendimiento y otras características importantes, cuando los genotipos son sometidos a diferentes condiciones ambientales.

Ellos aplicaron una técnica de regresión de los datos de rendimiento de cebada en seis localidades por dos años sobre los índices ambientales, obteniendo así los coeficientes de regresión del rendimiento de cada variedad, como parámetros para medir la estabilidad del rendimiento.

Veinte años después Finlay y Wilkinson (1963) redescubren esa técnica de regresión usando transformación logarítmica de los datos reales para inducir homogeneidad en el error experimental y linealidad en la respuesta de los rendimientos individuales sobre los promedios ambientales.

Ellos trabajaron con 227 variedades de cebada y siete ambientes, usando dos parámetros en su análisis de adaptación; la media varietal sobre todos los ambientes y coeficiente de regresión.

Asimismo indicaron la estabilidad promedio, como un coeficiente de regresión próximo a la unidad. Cuando éste se encuentra asociado con una media alta de rendimiento, las variedades tienen adaptación general; cuando está asociado con una media de rendimiento baja, las variedades están pobremente adaptadas a todos los ambientes.

Los valores de regresión superiores a la unidad caracterizan a variedades que incrementan su sensibilidad a los cambios ambientales (bajo promedio de estabilidad), y por lo tanto, se incrementa su especificidad de adaptación a ambientes de alto rendimiento.

El segundo parámetro, media varietal sobre todos los ambientes, proporciona una medida comparativa del comportamiento de las variedades individuales.

Eberhart y Russell (1966) sugieren que el coeficiente de regresión sea usado como un parámetro para medir la respuesta de cada cultivar a los índices ambientales y proponen que la estabilidad de producción de cada cultivar fuese mas apropiadamente medida por el cuadrado medio de las desviaciones de regresión. Ellos presentaron el modelo:

$$Y_{ij} = \mu_i + \beta_i I_j + \delta_{ij}$$

El cual define los parámetros de estabilidad que pueden ser usados para describir el comportamiento de una variedad sobre una serie de ambientes,

donde:

$Y_{ij}$  = representa la media varietal de la  $i$ -ésima variedad en el  $j$ -ésimo ambiente.

$\mu_i$  = simboliza la  $i$ -ésima media varietal sobre todos los ambientes.

$\beta_i$  = es el coeficiente de regresión que mide la respuesta de la  $i$ -ésima variedad en los distintos ambientes.

$I_j$  = es el índice ambiental, y

$\delta_{ij}$  = es la desviación de regresión de la  $i$ -ésima variedad en el  $j$ -ésimo ambiente.

Ellos sugieren que puede ser deseable un índice independiente de las variedades experimentales que se puede obtener de los factores ambientales, y que las variedades deben sembrarse en un número adecuado de ambientes que cubran el rango completo de todas las posibles condiciones ambientales, para proporcionar información útil. Estos autores definieron una variedad estable como aquella que presenta un coeficiente de regresión igual a la unidad y desviaciones de regresión iguales o cercanas a cero.

Carballo y Márquez (1970) definieron cinco situaciones mas aparte de la de Eberhart y Russell (1966) usando el término "consistencia" para indicar un valor igual a cero en las desviaciones de regresión, considerando "inconsistente" una variedad cuando éstas son mayores que cero.

Respecto a los valores de regresión, dicen que valores de  $b_i$  mayores que la unidad indicarán que la variedad responde bien bajo condiciones favorables, pero su comportamiento es pobre en ambientes desfavorables; por el contrario, si el  $b_i$  es mayor que uno será indicativo de que la variedad responde bien en condiciones ambientales desfavorables, pero su respuesta es pobre en buenos ambientes. Definiendo como ambientes favorables aquellos en que la respuesta varietal sea superior al promedio de todas las variedades en todos los ambientes.

Verma *et al.* (1978) proponen una nueva clasificación de genotipos basándose en su coeficiente de regresión ( $b_i$ ), la cual consiste en subdividir los ambientes en dos grupos: uno que contenga los sitios o localidades con índices ambientales negativos, y el otro con aquellos que posean índices ambientales positivos, y calcular los parámetros de estabilidad de Eberhart y Russell (1966) para cada genotipo en cada grupo.

Los genotipos son entonces clasificados basándose en su coeficiente de regresión en los dos grupos de ambientes, definiendo a un genotipo ideal como aquel que posea un  $b_i$  menor que la unidad en los sitios de bajo rendimiento y mayor o igual que la unidad en los sitios de alto rendimiento; de igual manera consideran que un genotipo es mejor para localidades de bajo rendimiento cuando su  $b_i$  toma valores menores que uno en los sitios de alto rendimiento y valores mayores o menores que la unidad en aquellos de bajo rendimiento.

En cuanto a los genotipos que son deseables para las localidades de alto rendimiento, deben de poseer  $b_i$ 's mayores que uno tanto en éstas, como en las de bajo rendimiento.

Otros investigadores han usado también el análisis de regresión lineal para medir la estabilidad de los genotipos; entre éstos se encuentran Perkins y Jinks (1968)

quienes utilizan el coeficiente de regresión ( $\beta_i$ ), y desviaciones de regresión ( $\delta^2_i$ ) de datos ajustados por los efectos de localidades y genotipos sobre los índices ambientales. De tal manera que un genotipo estable tendrá un coeficiente de regresión ( $\beta_i$ ), y desviaciones de regresión ( $\delta^2_i$ ) iguales a cero. Estos son similares a los de Eberhart y Russell (1966) ya que  $\beta_i$  es equivalente a  $b_i - 1$ , según lo han reportado Lin et al. (1986).

Tai (1971) propone un método de análisis de estabilidad similar al de Eberhart y Russell (1966). El descompone el efecto de interacción genotipo-ambiente de una variedad en dos componentes: la respuesta lineal a los efectos ambientales medidos por el estadístico  $\hat{\lambda}$  y las desviaciones de la respuesta lineal medidas por el estadístico  $\hat{\alpha}$ . Tai (1971) considera a una variedad con estabilidad promedio cuando posee valores de  $\alpha=0$  y  $\lambda=1$ , y la considera perfectamente estable cuando  $\alpha=-1$  y  $\lambda=1$ .

Varios investigadores han señalado algunas limitaciones de la técnica de regresión (Knight, 1970; Freeman y Perkins, 1971; Witcombe y Whittington, 1971; Hill, 1975; Baker, 1969 y Byth et al., 1976) en base a que en un análisis de varianza, la proporción de la suma de cuadrados de la interacción genotipo-ambiente atribuible a la regresión lineal sobre los índices ambientales puede ser muy pequeña. Otro problema con la regresión del rendimiento sobre los ambientes es que los parámetros de estabilidad

dependen del grupo particular de genotipos incluidos en el experimento (Knight, 1970; Lin et al., 1986 y Mead et al., 1986). Así los parámetros de estabilidad determinados para una entrada dada variará de acuerdo al comportamiento medio de los genotipos con la cual la entrada es comparada.

### Métodos que Descomponen la Interacción Genotipo-Ambiente

Además de la técnica de regresión a la cual se le han sugerido algunas variantes y que ha sido la de mas amplia aceptación, existen otros procedimientos estadísticos como el de descomponer la interacción genotipo-ambiente en sus componentes.

Entre los autores que utilizan esta técnica se encuentra Wricke (1962) quien propone que la contribución de un genotipo a la suma de cuadrados de la interacción variedades por ambiente sea utilizada como medida de estabilidad. Este método en realidad asigna un índice a una variedad en base a sus desviaciones de la línea de regresión, es decir que la ecovalencia es la suma de desviaciones debida a la regresión de la variedad, siendo igual a la unidad mas las desviaciones de su propia regresión (Easton y Clements, 1973).

Es obvio que si una variedad aporta o contribuye en una mínima proporción a la suma de cuadrados de la

interacción genotipo-ambiente, también será mínima su interacción con el ambiente, y por lo tanto será más estable.

Plaisted y Peterson (1959) desarrollaron una técnica estadística para evaluar la habilidad de las líneas seleccionadas para rendir consistentemente en diferentes localidades o años. Su técnica consistió en calcular un análisis de varianza combinado para todas las variedades de papa evaluadas en diferentes localidades en un año dado. Si el cuadrado medio de variedades por localidad era significativo, procedían a computar un análisis de varianza combinado para todas las combinaciones de pares de variedades, en todas las localidades por año; de tal manera que con  $n$  variedades tendrían  $n(n-1)/2$  análisis. Los cuadrados medios observados fueron igualados a los cuadrados medios esperados para obtener una estimación de la varianza variedades por localidad, del análisis de cada par de variedades. La media aritmética de las estimaciones de esta varianza es obtenida para todos los pares que tienen una variedad en común, y ésta es la contribución relativa de dicha variedad a la interacción genotipo-ambiente. Finalmente, una variedad con mejor adaptación deberá ser aquella que proporcione una baja contribución a la interacción variedades por localidad.

Plaisted (1960) propuso un método estadístico, el cual también evalúa la habilidad de las líneas seleccionadas

de papa para rendir consistentemente en diferentes localidades, igual que el de Plaisted y Peterson (1959) pero con menos esfuerzo computacional.

Su método consistía en realizar el análisis de varianza para cada localidad, luego un análisis de varianza combinado para todas las localidades, en el cual si se detectaba significancia en el cuadrado medio de variedades por localidad, se procedía entonces a computar un análisis de varianza combinado omitiendo cada vez una variedad diferente, de tal manera que la varianza de la interacción variedades por localidad de cada subconjunto analizado, era la medida de estabilidad del genotipo suprimido de dicho subconjunto.

Resulta obvio que una variedad con buena adaptación, será aquella que de un valor alto de varianza de interacción variedades por localidad, en el análisis de varianza combinado del cual es suprimida.

Shukla (1972) también desarrolló un método que particiona la suma de cuadrados de la interacción genotipo-ambiente en sus componentes atribuibles a los cultivares individuales, el cual consiste en calcular para cada genotipo su varianza de estabilidad a través de todos los ambientes de la forma señalada en Materiales y Métodos. Además propuso un criterio para probar la significancia de su parámetro y extendió su modelo para conseguir remover los

efectos lineales debidos a covariables cuando éstos están presentes.

Lin *et al.* (1986) mencionan que la varianza de estabilidad de Shukla (1972) es mas útil que el bi de Eberhart y Russell (1966) cuando los datos no se ajustan a un modelo de regresión lineal.

Respecto a la prueba de significancia que Shukla (1972) recomienda para su parámetro, Brandle y McVetty (1988) y Lin *et al.* (1986) coinciden en señalar que no es la apropiada, ya que su distribución exacta no se conoce.

#### **Métodos que Utilizan Medidas de Dispersión de los Datos Observados**

Algunos autores utilizan los datos observados para obtener estadísticos que pueden usarse como indicadores de la estabilidad de los genotipos, tal es el caso de Lin *et al.* (1986) quienes proponen el uso de la varianza de un genotipo a través de los ambientes como medida de estabilidad; lógicamente un genotipo con menor varianza tendrá mayor estabilidad.

Francis y Kannenberg (1978) usaron el coeficiente de variación convencional de cada genotipo como medida de estabilidad, señalando que podrían considerarse estables aquellos genotipos que tuviesen un coeficiente de variación

menor del 20 por ciento.

Pinthus (1973) al describir las diferencias genotípicas en rendimiento entre líneas avanzadas y variedades, propuso el uso del coeficiente de determinación ( $r^2$ ), el cual indica la proporción de las variaciones en rendimiento que son debidas a la regresión lineal.

Según Bilbro y Ray (1976) este criterio por su independencia de la unidad de medida, es apropiado para evaluar la estabilidad y es fácil de interpretar.

Pedersen et al. (1978) dice que la diferencia  $1-r^2$ , es un indicador del grado de respuesta a ciertos estímulos ambientales aleatorios o específicos.

Langer et al. (1979) favorecen el uso del coeficiente de determinación porque sus valores están expresados en forma estandarizada y por lo tanto pueden hacerse comparaciones sin considerar la escala de medida usada en los experimentos.

Estos mismos autores mencionan que sería deseable utilizar un método mas simple que la técnica de regresión durante las primeras etapas de selección para estimar índices de estabilidad. Ellos sugieren el uso de dos índices relacionados con los rangos de productividad de las variedades. El primero denotado por  $R_1$ , se obtiene como una

diferencia entre los rendimientos máximo y mínimo de una variedad en una serie de ambientes, y el segundo índice  $R_2$  es la diferencia entre los rendimientos de una variedad en el peor y mejor ambiente. Ellos consideran que el índice  $R_2$  es mas útil que  $R_1$ , aun cuando este último proporciona una estimación mas exacta de la respuesta de producción.

### Correlaciones entre los Diferentes Parámetros que Estiman la Estabilidad

Pacucci y Frey (1972) trabajando con avena midieron la estabilidad del rendimiento de grano utilizando el método de Eberhart y Russell (1966); encontraron que existía una relación positiva entre el rendimiento y valores de regresión, por lo que al disminuir el rendimiento disminuía el valor de la regresión.

Langer et al. (1978) por el contrario, no encontraron asociación entre la media y el coeficiente de regresión ( $r=0.10$ ), corroborando los resultados de Finlay y Wilkinson (1963) y Frey (1972), pero difiriendo de los reportados por Eagles et al. (1977); Fatunla y Frey (1974) y Perkins y Jinks (1968) quienes encontraron correlaciones altas entre estas variables.

Estas diferencias pudieron haber ocurrido debido a que el primer grupo usó variedades o líneas avanzadas, mientras que el otro grupo utilizó entradas al azar.

Luthra y Singh (1974) reportaron en trigo, baja correlación entre  $S^2_{di}$  y  $W_i^2$  ( $r=0.35$ ) y una correlación alta entre  $b_i$  y  $\beta_i$  ( $r=1.0$ ) para rendimiento de grano. El experimento consistió de ocho variedades evaluadas en 48 ambientes. Por otra parte, Easton y Clements (1973) encontraron que tanto las desviaciones de regresión, como los valores de Wricke (1962) y Plaisted y Peterson (1959) eran convenientes para detectar variedades con reacciones de adaptación atípicas, pero recomiendan precaución al describir como inestables aquellos genotipos con altos valores de estos parámetros.

Vega (1984) encontró en trigo correlaciones altas entre  $S^2_{di}$  y  $W_i^2$  ( $r=0.97$ ), y  $S^2_{di}$  y  $R_1$  ( $r=0.71$ ), mientras que la correlación entre  $S^2_{di}$  y  $R_2$  fue muy baja ( $r=0.09$ ), y entre  $S^2_{di}$  y  $r^2$  fué negativa y altamente significativa ( $r=-0.77$ ).

Reportó también que el  $b_i$  se encontraba correlacionado alta y significativamente con  $S^2_{di}$  ( $r=0.32$ ),  $R_2$  ( $r=0.38$ ), y  $W_i^2$  ( $r=0.52$ ), pero negativamente correlacionado con el  $r^2$  ( $r=-0.06$ ) aunque esta última no era significativa.

La correlación entre  $R_1$  y  $R_2$  fue altamente significativa ( $r=0.54$ ), y de  $W_i^2$  con  $R_1$  y  $R_2$  fue de  $r=0.69$  y  $r=0.08$  respectivamente, mientras que la de  $W_i^2$  con el  $r^2$  fue negativa y altamente significativa ( $r=-0.72$ ), y la correlación del  $r^2$  con  $R_1$  y  $R_2$  tuvo valores de  $r=-0.72$  y

$r=0.38$  respectivamente.

Estos resultados deben de tomarse en cuenta con cierta precaución, dado que el tamaño de la parcela experimental utilizada por Vega (1984) fue muy pequeño ( $0.36 \text{ m}^2$ ) y sólo sembró 15 semillas en el centro de cada parcela.

Lozano (1980) trabajando con tres series de experimentos, comparó los métodos de Eberhart y Russell (1966); Wricke (1962); Langer *et al.* (1979) y Pinthus (1973) para probar su efectividad en la evaluación y selección de germoplasma de triticale, reportando correlaciones positivas y altamente significativas entre la media de rendimiento y el coeficiente de regresión de Eberhart y Russell (1966) y negativas y altamente significativas entre el  $r^2$  y  $S^2_{dt}$ , mientras que entre el  $r^2$  y  $W_i^2$  también fueron negativas aunque variables en significancia.

Reportó además una correlación positiva, pero variable en significancia entre el  $b_i$  con los rangos  $R_1$  y  $R_2$ , así como entre los rangos. La correlación entre los demás parámetros varió de experimento a experimento.

Langer *et al.* (1979) reportaron en avena que las correlaciones entre la media de rendimiento y los tres parámetros que miden la estabilidad de producción ( $S^2_{dt}$ ,  $r^2$ ,  $W_i^2$ ) fueron variables. Así la correlación entre la media y el coeficiente de determinación ( $r^2$ ) varió desde negativa

hasta alta y positivamente significativa, y la correlación combinada tuvo un valor de 0.30 .

La correlación entre la media y las desviaciones de regresión, varió desde negativa a positiva y la combinada tuvo un valor de -0.17 no significativa. Un patrón muy similar tuvieron la media y los valores de Wricke (1962) con una correlación combinada y no significativa de -0.10 .

La correlación entre los coeficientes de regresión y coeficientes de determinación fue variable y la combinada tuvo un valor de  $r=0.42$  de dudosa importancia porque la correlación entre las series no fue significativa.

La correlación combinada de  $r^2$  con  $S^2_{di}$  y de  $r^2$  con  $W_i^2$  fue de -0.69 y -0.85 respectivamente, lo cual muestra una buena asociación negativa, en tanto que la correlación combinada entre  $S^2_{di}$  y  $W_i^2$  fue de 0.93.

Una correlación positiva y altamente significativa fue reportada entre el coeficiente de regresión con  $R_1$ , lo cual según Langer *et al.* (1979) indica que los genotipos pueden ser seleccionados con precisión para el coeficiente de regresión, usando simplemente los rangos de las medias varietales. La correlación entre  $R_2$  y el coeficiente de regresión también fue alta y positivamente significativa, pero menor que la de  $b_i$  con  $R_1$ .

Nguyen *et al.* (1980) evaluando 25 sintéticos de festuca alta encontraron para rendimiento total de forraje que entre la media y el coeficiente de regresión hubo una correlación no significativa, mientras que con el coeficiente de determinación, desviaciones de regresión y ecovalencia fueron de 0.45, -0.43 y -0.52 respectivamente; en tanto que el  $b_i$  estuvo correlacionado positiva y significativamente con el  $r^2$  y negativamente correlacionado con la  $W_i^2$  y  $S^2_{di}$ .

La correlación entre las desviaciones de regresión y la  $W_i^2$ , fue positiva y altamente significativa, y las correlaciones de  $W_i^2$  con  $r^2$  y de  $r^2$  con  $S^2_{di}$ , fueron ambas negativas y altamente significativas.

Kang y Miller (1984) evaluaron los métodos de Plaisted y Peterson (1959) ( $\theta_i$ ); Wricke (1962) ( $W_i^2$ ) y Shukla (1972) ( $\hat{\sigma}^2_i$ ) para determinar la estabilidad de variedades de caña de azúcar. Los métodos de Wricke (1962) y Shukla (1972) tuvieron una correlación alta ( $r=1.0$ ), igual sucedió entre  $\theta_i$  y  $\hat{\sigma}^2_i$  con un valor de  $r=0.92$ . Mientras que entre la media con  $\hat{\sigma}^2_i$  y  $\theta_i$  fueron bajas y no significativas  $r=0.35$  y  $r=0.39$  respectivamente.

Ellos concluyeron que el método de Plaisted y Peterson (1959) fue el más laborioso, y que podría tener poca utilidad cuando son evaluadas un gran número de variedades. Los métodos de Wricke (1962) y Shukla (1972)

fueron igualmente efectivos, pero el método de Shukla (1972) es mas deseable que el de Wricke (1962) en presencia de covariables.

3) Bacusmo et al. (1988) trabajando con camote coinciden con Kang y Miller (1984) en lo referente a la efectividad del método de Shukla (1972) cuando en el experimento se tienen algunas covariables. Ellos lo compararon con el método de Eberhart y Russell (1966) encontrando una buena asociación entre el coeficiente de regresión y la varianza de estabilidad de Shukla (1972) ( $\hat{\sigma}^2_i$ ) y una correlación de  $r=0.74$  con el  $S^2_{di}$ . Asimismo, sugieren que el método de Shukla es mas deseable que el de Eberhart y Russell (1966).

## MATERIALES Y METODOS

### Material Experimental

El germoplasma y los datos de rendimiento utilizados en el presente trabajo, fueron obtenidos por el Programa de Cereales de la Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro" de experimentos realizados en cinco localidades durante los ciclos 1986-1987, verano de 1987 (el cual se evaluó bajo condiciones de temporal), y ciclo 1987-1988. Puesto que no todas las localidades se evaluaron en todos los ciclos, a cada ciclo por localidad (ambiente) se le asignó un número al azar, tal como se muestra en el Cuadro 3.1.

Cada experimento constó de tres repeticiones, con parcelas de seis surcos de 3 m de largo y una distancia entre surcos de 30 cm, tomando como parcela útil los cuatro surcos centrales, dando un área de  $3.6 \text{ m}^2$

La identificación del germoplasma utilizado en este experimento aparece en el Cuadro 3.2.

Cuadro 3.1. Número asignado y características geográficas y climáticas de los ambientes de pruebas del experimento.

Nº de amb.	ENTIDAD	EDO.	CICLO	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD (msnm)	MEDIA ANUAL T°C	PP (mm)
1	Aguascalientes	Ags.	87-88	21°52'N	102°18'W	1908	20.7	555
2	E. Zapata	Coah.	86-87	25°16'N	100°46'W	2140	22.8	339.1
3	Navidad	N.L.	87-88	20°04'N	100°36'W	1895	14.3	516.2
4	Zaragoza	Coah.	87-88	28°33'N	100°55'W	350	21.4	374
5	Navidad	N.L.	Ver.87	20°04'N	100°36'W	1895	14.3	516.2
6	E. Zapata	Coah.	Ver.87	25°16'N	100°46'W	2140	22.8	339.1
7	Navidad	N.L.	86-87	20°04'N	100°36'W	1985	14.3	516.2
8	Sn. Isidro	Coah.	86-87	25°02'N	101°0'W	1830	19.2	396.9

### Análisis Estadístico

Los datos de cada una de las localidades se analizaron bajo el diseño de bloques completos al azar según se muestra en el Cuadro 3.3.

Posteriormente se realizó un análisis de varianza combinado para determinar si existía o no varianza genético-ambiental, detectar variabilidad entre genotipos y estimar diferencias entre los ambientes de prueba, siendo el modelo estadístico el siguiente:

Cuadro 3.2. Germoplasma utilizado en los experimentos para evaluar la estabilidad.

Número	Identificación	Genealogía	Pedigree
1	AN - 1 -86	BGL-CIN X IRA-BGL	B-2681-514
2	AN - 4 -86	PANCHE 7287	B-2671-0Y-117
3	AN - 6 -86	BGL-CIN X MUS "S"	B-2686-0Y
4	AN - 9 -86	WHALE "S"	X-33470-C-1Y-3M-2Y -2M-0Y
5	AN -13 -86	RHINO "S"	CIT-1367-5Y-2Y-3M- 0Y
6	AN -14 -86	STIER "S"	B-266712-171-11Y- 3M-0Y
7	ERONGA 83	Testigo comercial	

$$Y_{ijk} = \mu + \pi_i + \beta_i(j) + T_k + (\pi t)_{ik} + E_{ijk}$$

Cuadro 3.3. Análisis de varianza individual para detectar las diferencias entre variedades para cada uno de los ambientes considerados.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados
Tratamientos	$(t - 1)$	$\sum_{i=1}^t \frac{Y_{i.}^2}{r} - \frac{Y_{..}^2}{tr}$
Repeticiones	$(r - 1)$	$\sum_{j=1}^r \frac{\Sigma_{i.}^2}{t} - \frac{Y_{..}^2}{tr}$
Error	$(t-1)(r-1)$	S.C. Total - S.C. Bloques - S.C. Tratamientos
Total	$tr - 1$	$\sum_{ij}^{rt} Y_{ij}^2 - \frac{Y_{..}^2}{rt}$

donde:

$Y_{ijk}$  = es el valor de la característica estudiada en la localidad  $i$ , en el bloque  $j$  y con el tratamiento  $k$

$\mu$  = efecto común a todas las observaciones

$\pi$  = efecto de la localidad  $i$

$\beta_i(j)$  = efecto del bloque  $j$  dentro de la localidad  $i$

$T_k$  = efecto del tratamiento  $k$

$(\pi t)_{ik}$  = efecto de la interacción entre el tratamiento  $k$  y la localidad  $i$ .

$E_{ijk}$  = error de observación sobre la unidad experimental

$i = 1, 2, 3, \dots, l$  (localidades)

$j = 1, 2, 3, \dots, b$  (bloques)

$k = 1, 2, 3, \dots, t$  (tratamientos)

En este modelo los errores se consideran como variables aleatorias normales no correlacionadas con media cero y varianza constante  $S_e^2$  sobre todas las unidades experimentales; las localidades se consideran como una muestra aleatoria de lugares donde es factible el cultivo de este cereal y los genotipos fijos. En base a ésto se obtiene

el análisis de varianza tal como se muestra en el Cuadro 3.4.

Dicho análisis se obtuvo para cada una de las situaciones siguientes:

Situación 1.- Todos los genotipos y todos los ambientes del experimento.

Situación 2.- Todos los genotipos menos el mejor ambiente del experimento.

Situación 3.- Todos los genotipos menos el peor ambiente del experimento.

Situación 4.- Todos los genotipos en los mejores ambientes.

Situación 5.- Todos los genotipos en los peores ambientes.

Situación 6.- Todos los ambientes menos el genotipo de mayor media de rendimiento.

Situación 7.- Todos los ambientes menos el genotipo de menor media de rendimiento.

Cuadro 3.4. Análisis de varianza combinado para el modelo con ambientes al azar y variedades fijas.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados
Ambientes	$(1 - 1)$	$\sum_{i=1}^1 \frac{Y_i^2_{..}}{rt} - \frac{Y_{...}^2}{rt1}$
Bloques/ambientales	$l(b - 1)$	$\sum_{ij} \frac{Y^2_{ij.}}{t} - \sum_{i=1}^1 \frac{Y_i^2_{..}}{rt}$
Tratamientos	$(t - 1)$	$\sum_{k=1}^t \frac{Y^2_{..K}}{r1} - \frac{Y^2_{...}}{rt1}$
Trat x Amb.	$(t-1) (1-1)$	$\sum_{ik} \frac{Y^2_{ilk}}{r} - \sum_{i=1}^1 \frac{Y_i^2_{..}}{rt} - \sum_{k=1}^t \frac{Y^2_{..k}}{rt1} + \frac{Y^2_{...}}{rt1}$
Error	$1 (b-1) (t-1)$	$\sum_{ijk} Y^2_{ijk} - \frac{Y^2_{...}}{et1} - S.C.L.-S.C.B.D.L.-S.C.T.-S.C.T. \times L.$
Total	$bt1 - 1$	$\sum_{ijk} Y^2_{ijk} - \frac{Y^2_{...}}{rt1}$

### Comparación de Medias

Se utilizó la prueba de rango múltiple de DMS al nivel de significancia adecuado, la cual se rige por el siguiente modelo:

$$DMS_{\alpha} = (t_{\alpha/2, glEE}) \left( \sqrt{\frac{2CME}{r}} \right)$$

donde:

CME = cuadrado medio del error

r = repeticiones

l = ambientes

$\alpha$  = nivel de significancia

glEE = grados de libertad del error experimental

El valor de t se encuentra en las tablas que usa la prueba, con los grados de libertad del error y el nivel de significancia apropiado.

### Prueba de Homogeneidad de Varianza

Se efectuó una prueba de homogeneidad de varianza, utilizando la desarrollada por Bartlett (1937). Se

seleccionó esta prueba por su sencillez y la facilidad de utilizar la tabla conocida como de  $\chi^2$ , la cual establece las siguientes condiciones:

Ho: Homogeneidad de varianza

$$\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \dots = \sigma_t^2$$

donde:

$\sigma^2$  = Varianza ambiental para cada tratamiento estimada por  $S_i^2$ . A su vez  $\bar{S}^2$  es la media ponderada de dichas estimaciones de acuerdo con la siguiente expresión:

$$\bar{S}^2 = \frac{\sum_{i=1}^t f_i S_i^2}{\sum_{i=1}^t f_i}$$

donde:

$f_i$  = grados de libertad del  $i$ -ésimo tratamiento

$i = 1, 2, 3, \dots, t$  (tratamientos),

el valor calculado de  $\chi^2$  es :

$$M = 2.3026 (\log \bar{S}^2) \left( \sum_{i=1}^t f_i - \sum_{i=1}^t f_i * \log S_i^2 \right),$$

con un factor de corrección:

$$C = 1 + \frac{1}{3(t-1)} \sum_{i=1}^t \frac{1}{f_i} - \frac{1}{f_i}$$

finalmente se obtiene el siguiente valor corregido:

$$x^2_c = \frac{M}{C}$$

Regla de decisión:

Si  $x^2_c > x^2$ ,  $t - 1$  gl, se rechaza la hipótesis nula

Una vez realizados los análisis de varianza y la prueba de homogeneidad de varianzas en cada una de las situaciones anteriores, se procedió a organizar los datos de rendimiento de los genotipos en un cuadro de doble entrada. Del cual, utilizando el modelo propuesto por Perkins y Jinks (1968) podremos entonces calcular, media general, medias ambientales y genotípicas e índices ambientales y genotípicos tal como se muestra en el Cuadro 3.5.

Asimismo denotaremos a:

$X_{ij}$  = valor medio observado del genotipo  $i$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, p$ ) en el ambiente  $j$  ( $j = 1, 2, 3, \dots, q$ )

$\bar{X}_i.$  = media marginal del genotipo  $i$

Cuadro 3.5. Modelo de Perkins y Jinks (1968), bajo el cual se pueden calcular media ambientales y medias marginales de rendimiento, índices ambientales e índices genotípicos, así como la media general.

GENO-TIPOS	A M B I E N T E S				INDICE GENOTIPICO	
	I	II	q	SUMA	MEDIA	GENOTIPICO
1	$\mu + G_1 + E_1 + I_{1,1}$	$\mu + G_1 + E_2 + I_{1,2} \dots$	$\mu + G_1 + E_q + I_{1,q}$	$\gamma_1$	$\gamma_1./q = \mu + G_1$	$\gamma_1./q - \mu = G_1$
2	$\mu + G_2 + E_1 + I_{2,1}$	$\mu + G_2 + E_2 + I_{2,2} \dots$	$\mu + G_2 + E_q + I_{2,q}$	$\gamma_2$	$\gamma_2./q = \mu + G_2$	$\gamma_2./q - \mu = G_2$
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.
p	$\mu + g_p + E_1 + I_{p,1}$	$\mu + G_p + E_2 + I_{p,2}$	$\mu + G_p + E_q + I_{p,q}$	$\gamma_p$	$\gamma_p./q = \mu + G_p$	$\gamma_p./q - \mu = G_p$

SUMA  $\gamma_1$

$\gamma_2$

$\gamma_q$

$\gamma_{..}$

Media gral.

$\gamma_{..}/pq = \mu$

MEDIA  $\gamma_1/p = \mu + E_1$

$\gamma_2/p = \mu + E_2$

$\gamma_q/p = \mu + E_q$

INDICE

AMBIEN  $\gamma_1/p - \mu = E_1$

$\gamma_2/p - \mu = E_2$

$\gamma_q/p - \mu = E_q$

TAL

$\bar{X}_{.j}$  = media marginal del ambiente j

$\mu$  = media general

$l_j$  = índice ambiental obtenido como desviación de la media ambiental con respecto a la media general ( $\bar{X}_{.j} - \mu$ )

$l_g$  = índice genotípico el cual se obtiene restando la media general de la media genotípica ( $\bar{X}_{i.} - \mu$ )

Con ésto podemos entonces expresar los estadísticos utilizados para medir la estabilidad del germoplasma de triticale en este experimento, de la manera siguiente:

#### Estadísticos Utilizados

Media de Rendimiento ( $\bar{X}_{i.}$ )

Aunque algunos autores la habían usado como un complemento para clasificar a los genotipos en base a su estabilidad, ésta por sí misma no se ha utilizado como un estadístico de estabilidad. Se obtiene de la manera siguiente:

$$\bar{X}_{i.} = \sum_{j=1}^q X_{ij} / q$$

De tal manera que cualquier media varietal que sea superior a la media general indicará buena estabilidad; al basarnos en el anterior enunciado, automáticamente estamos trabajando con los índices genotípicos como un estadístico para discriminar genotipos.

### Media Ponderada ( $\bar{X}_p$ )

Propuesta en este trabajo como un estadístico que nos permita, al igual que el anterior, la discriminación de genotipos. Se obtiene de la ponderación de los valores observados con sus respectivas medias ambientales, de la manera siguiente:

$$\bar{X}_p = \frac{\sum_{j=1}^q (X_{ij} * \bar{X}_{.j})}{\sum_{j=1}^q \bar{X}_{.j}}$$

### Varianza ( $s^2$ )

Lin et al (1986) propusieron que la varianza de un genotipo a través de los ambientes podría ser una medida de estabilidad. Calculándose ésta de la manera convencional:

$$s^2_i = \frac{\sum_{j=1}^q (X_{ij} - \bar{X}_{i.})^2}{q - 1}$$

### Desviación Estándar (s)

Propuesta en este trabajo como un estadístico de mayor facilidad e interpretabilidad, que nos permita identificar genotipos, de tal manera que aquellos genotipos que posean desviaciones estándar pequeñas, serán más estables.

$$s_i = \sqrt{s^2_i} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^q (X_{ij} - \bar{X}_{i.})^2}{q - 1}}$$

### Coeficiente de Variación (C.V.)

Francis y Kannenberg (1978) usaron el coeficiente de variación convencional como una medida de estabilidad. De tal manera que coeficientes de variación pequeños (menores del 20 por ciento) indican buena estabilidad.

$$C.V. = \frac{s_i}{\bar{X}_{i.}} \times 100$$

### Ecovalencia ( $W_i^2$ )

Método propuesto por Wricke (1962) en el cual los efectos de interacción genotipo-ambiente elevados al cuadrado y sumados a través de todos los ambientes, es la medida de estabilidad para el genotipo de que se trate. Se estima con la fórmula siguiente:

$$W_i^2 = \sum_{j=1}^q (X_{ij} - \bar{X}_{i.} - \bar{X}_{.j} + \mu)^2$$

Varianza de Estabilidad ( $\hat{\sigma}_i^2$ )

Propuesta por Shukla (1972), como un estimador insesgado de la varianza de interacción, y a la vez como un parámetro de estabilidad. Se obtiene con la siguiente fórmula:

$$\hat{\sigma}_i^2 = \frac{p}{(p-2)(q-1)} \sum_{j=1}^q (X_{ij} - \bar{X}_{i.} - \bar{X}_{.j} + \mu)^2 -$$

$$\frac{\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^q (X_{ij} - \bar{X}_{i.} - \bar{X}_{.j} + \mu)^2}{(p-1)(p-2)(q-1)}$$

Si sabemos que:

$$W_i^2 = \sum_{j=1}^q (X_{ij} - \bar{X}_{i.} - \bar{X}_{.j} + \mu)^2$$

y dejamos que:

$$SCGE = \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^q (X_{ij} - \bar{X}_{i.} - \bar{X}_{.j} + \mu)^2$$

entonces:

$$\hat{\sigma}_i^2 = \frac{p}{(p-2)(q-1)} W_i^2 - \frac{SCGE}{(p-1)(p-2)(q-1)}$$

Shukla (1972) considera estable a un genotipo si su varianza de estabilidad ( $\sigma_i^2$ ) es igual a la varianza intra-ambiental (cuadrado medio del error combinado), denotado como  $\hat{\sigma}_0^2$ , realizando una prueba de F para tal fin, de la manera siguiente:

$$F_c = \hat{\sigma}_i^2 / \hat{\sigma}_0^2$$

comparándola con;

$F_t$  con  $(q-1)$  y  $pq(r-1)$  grados de libertad

De tal manera que si  $F_c > F_t$  se rechaza la hipótesis nula de que la varianza de estabilidad es igual a la varianza intra-ambiental y el genotipo es entonces considerado como inestable.

#### Media de la Varianza Genético-Ambiental ( $\theta_i$ )

Propuesta por Plaisted y Peterson (1959) donde la media de los componentes de varianza genético-ambiental para todos los pares de genotipos que incluyan al genotipo  $i$  es la medida de estabilidad de dicho genotipo. Se calcula de la manera siguiente:

$$\theta_i = \frac{p}{2(p-1)(q-1)} W_i^2 + \frac{SCGE}{2(p-1)(q-1)}$$

### Componente de Varianza ( $\theta^{(i)}$ )

Propuesto por Plaisted (1960) consiste en suprimir un genotipo del conjunto de datos y la varianza de interacción genotipo-ambiente de este subconjunto, es la medida de estabilidad del genotipo suprimido.

$$\theta^{(i)} = \frac{-p}{(p-1)(p-2)(q-1)} W_i^2 + \frac{SCGE}{(p-2)(q-1)}$$

### Coefficiente de Determinación ( $r^2$ )

Este parámetro mide la proporción de la variación que es atribuible a la regresión lineal, fue propuesto como parámetro de estabilidad por Pinthus (1973), y se calcula:

$$r^2 = \frac{\sum_{j=1}^q (X_{ij} * I_j)^2 / \sum_{j=1}^q (I_j^2)}{\sum_{j=1}^q X_{ij}^2 - (\sum_{j=1}^q X_{ij})^2 / q}$$

### Coefficiente de Regresión ( $b_i$ )

Propuesto por Finlay y Wilkinson (1963) para comparar el comportamiento de un grupo de variedades en varias localidades y años. Consiste en hacer una regresión de los valores observados de rendimiento de una variedad sobre los índices ambientales, de tal manera que el

coeficiente de regresión es tomado como parámetro de estabilidad en combinación con la media de rendimiento.

El coeficiente de regresión es calculado como:

$$b_i = \frac{\sum_{j=1}^q (X_{ij} - \bar{X}_{i.})(I_j)}{\sum_{j=1}^q I_j^2}$$

Para clasificar a las variedades por su adaptabilidad Finlay y Wilkinson (1963) propusieron siete posibles situaciones:

Clase No.	Media	$b_i$	Descripción
1	Baja	=1	Mal adaptada a todos los ambientes.
2	Baja	>1	Adaptación específica a amb. favorables.
3	Baja	<1	Adaptación específica a amb. desfavorables.
4	Intermedia	=1	Estabilidad media.
5	Intermedia	>1	Estabilidad inferior a la media.
6	Intermedia	<1	Estabilidad superior a la media.
7	Alta	=1	Bien adaptada a todos los ambientes.

### Desviaciones de Regresión ( $S^2_{di}$ )

Al igual que el anterior éste parámetro proviene de un análisis de regresión y mide la dispersión de los puntos en torno a la recta de regresión. Fue propuesto por Eberhart y Russell (1966) para usarse en combinación con la media y el coeficiente de regresión como parámetro de estabilidad.

Estas desviaciones se calculan de la siguiente manera:

$$S^2_{di} = \frac{\sum_{j=1}^q (X_{ij} - \bar{X}_{i.})^2 - b_i^2 (\sum_{j=1}^q I_j^2)}{q - 2} - S_e^2/r$$

Donde  $S_e^2/r$  es el estimador del error conjunto calculado como:

$$S_e^2/r = \frac{\sum_{j=1}^q SCEE_j / \sum_{j=1}^q \text{g.l. } EE_j}{r}$$

En el cual

$SCEE_j$  = suma de cuadrados del error del j-ésimo ambiente

g.l.  $EE_j$  = grados de libertad asociados con el error del j-ésimo ambiente, y

$r$  = número de repeticiones de cada ambiente  $j$

El análisis de varianza combinado para estabilidad de Eberhart y Russell (1966) se da en el Cuadro 3.6., el cual nos permite hacer las siguientes pruebas de hipótesis:

a). Que las medias son iguales, o sea  $H_0: \mu_1 = \mu_2$   
 $\dots = \mu_p$ .

Estas se prueban con  $F = CM_1/CM_3$  (Cuadro 3.6.).

b). Que los coeficientes de regresión son iguales  
 $H_0: b_1=b_2=\dots b_p$ . Esto se prueba con  $F = CM_2/CM_3$ .

c). Que cada variedad tiene desviaciones de regresión igual a cero. Se prueba con  $F = CM_{vi}/CM_4$ .

d). Que el coeficiente de regresión de cada variedad no es diferente de la unidad, o sea  
 $H_0: b_i=1$ , para  $i=1,2,3,\dots p$ . Se prueba mediante la  $t$  siguiente:

$$t = \frac{b_i}{S_{b_i}}$$

donde  $S_{b_i} = \sqrt{\frac{CM_{v_i}}{\sum_{j=1}^q l_j^2}}$

Cuadro 3.6. Análisis de varianza para estimar los parámetros de estabilidad  
(Eberhart y Russell, (1966).

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios
Total	(NV-1)	$\sum_i \sum_j Y^2_{ij} - F, C,$	
Variedades (V)	(V-1)	$\frac{1}{n} \sum_i Y^2_{i.} - F.C.$	CM <sub>1</sub>
Ambientes (A) +	(n-1) (V-1)(n-1)	$\sum_i \sum_j Y^2_{ij} = \sum_i Y^2_{i.}/n$	
Var. x amb.			
Ambiente (lineal)	V-1	$\frac{1}{V} (\sum_j Y_{ij} I_j)^2 / \sum_j I_j^2$	
Var. x amb. (lineal)	v-1	$\sum_j [(\sum_j Y_{ij} I_j)^2 / \sum_j I_j^2] - S.C. \text{ Amb. (lineal)}$	CM <sub>2</sub>
Desviación conjunta	v(n-2)	$\sum_i \sum_j S^2_{ij}$	CM <sub>3</sub>
Variedad 1 ⋮ Variedad v	n-2 n-2	$[\sum_j Y^2_{ij} - \frac{(Y_{i.})^2}{n}] - \frac{(\sum_j Y_{ij} I_j)^2}{\sum_j I_j^2}$ $[\sum_j Y^2_{vj} - \frac{(Y_{v.})^2}{n}] - \frac{(\sum_j Y_{vj} I_j)^2}{\sum_j I_j^2}$	CMV <sub>1</sub> CMV <sub>v</sub>
Error conjunto	n(r-1)(v-1)		CM <sub>4</sub>

Mediante este modelo es posible dividir la interacción genotipo-ambiente para cada variedad en dos partes: la variación debida a la respuesta lineal de cada variedad, y la respuesta no lineal. Además pueden hacerse predicciones del comportamiento de cada variedad utilizando los estimadores de los parámetros con la fórmula siguiente:

$$\hat{X}_{ij} = \mu_i + \hat{b}_{ij}$$

donde:

$\mu_i$  = es un estimador de la media varietal

Según los valores que tomen los parámetros  $\hat{b}_i$  y  $\hat{S}^2_{di}$  y de acuerdo con su significancia Carballo y Márquez (1970) determinaron seis situaciones posibles para describir una variedad, las cuales se presentan en el Cuadro 3.7.

Verma et al. (1978) propusieron una nueva clasificación en base a el coeficiente de regresión de Eberhart y Russell (1966) la cual consiste en subdividir todos los ambientes del experimento en sitios de alto rendimiento (H.Y.S.), y sitios de bajo rendimiento (L.Y.S.), calculándose entonces los parámetros de estabilidad y de acuerdo a los valores que tomen y su significancia, se procede a describir a los genotipos en base a las situaciones posibles descritas en el Cuadro 3.8.

Cuadro 3.7.- Situaciones posibles que pueden tomar los parámetros de estabilidad. Carballo y Márquez (1970).

Situación	Coefficiente de Regresión	Desviaciones de la Regresión	Descripción de la Variedad
a)	$b_i = 1$	$S^2_{di} = 0$	Variedad estable
b)	$b_i = 1$	$S^2_{di} > 0$	Buena respuesta en todos los ambientes pero inconsistente.
c)	$b_i < 1$	$S^2_{di} = 0$	Mejor respuesta en ambientes desfavorables y consistentes.
d)	$b_i < 1$	$S^2_{di} > 0$	Mejor respuesta en ambientes desfavorables e inconsistentes.
e)	$b_i > 1$	$S^2_{di} = 0$	Mejor respuesta en buenos ambientes y consistente.
f)	$b_i > 1$	$S^2_{di} > 0$	Mejor respuesta en buenos ambientes e inconsistente.

Cuadro 3.8. Clasificación de genotipos basados en su pendiente de regresión ( $b_i$ ), en sitios de bajo rendimiento (L.Y.S.), y sitios de alto rendimiento (H.Y.S.). Según Verma et al. (1978).

$b_i$		Descripción
L.Y.S.	H.Y.S.	
< 1.0	< 1.0	Mejor para sitios de bajo rendimiento.
> 1.0	< 1.0	Mejor para sitios de bajo rendimiento.
< 1.0	= 1.0	Ideal
< 1.0	> 1.0	Ideal
> 1.0	> 1.0	Mejor para sitios de alto rendimiento.

Para definir a los ambientes como sitios de alto y bajo rendimiento Verma *et al.* (1978) usaron los índices ambientales, de tal manera que aquellos que poseían índices ambientales negativos se consideraban sitios de bajo rendimiento (L.Y.S.) y aquellos con índices ambientales positivos como sitios de alto rendimiento (H.Y.S.).

Coeficiente de Regresión ( $\beta_i$ ) y Desviaciones de Regresión ( $\delta^2_i$ )

Propuestos por Perkins y Jinks (1968) son similares a los de Finlay y Wilkinson (1963) y Eberhart y Russell (1966) excepto que los valores observados son ajustados por los efectos de las localidades antes de hacer el análisis de regresión, quedando entonces las fórmulas para  $\beta_i$  y  $\delta^2_i$  de la manera siguiente:

$$\beta_i = \frac{\sum_{j=1}^q (X_{ij} - \bar{X}_{i.} - \bar{X}_{.j} + \mu)(l_j)}{\sum_{j=1}^q l_j^2}$$

y también

$$\delta^2_i = \frac{1}{(q - 2)} \left[ \sum_{j=1}^q (X_{ij} - \bar{X}_{i.} - \bar{X}_{.j} + \mu)^2 - \beta_i^2 \left( \sum_{j=1}^q l_j^2 \right) \right]$$

### Rangos $R_1$ y $R_2$

Langer et al. (1979) sugieren el uso de dos índices de estabilidad fáciles de estimar. El primero denotado por  $R_1$  se estima por la diferencia entre el rendimiento mínimo y máximo de una variedad sobre todos los ambientes.

El segundo rango ( $R_2$ ) mide la diferencia en rendimiento de cada variedad entre el ambiente más adverso y el mejor ambiente. Se estiman de la forma siguiente:

$$R_{1i} = (X_{ij} \text{ Máximo} - X_{ij} \text{ Mínimo})$$

$$R_{2i} = (X_{iJ} - X_{iJ})$$

donde:

$X_{iJ}$  = rendimiento de la  $i$ -ésima variedad en la localidad con el mayor nivel de producción.

$X_{iJ}$  = Rendimiento de la  $i$ -ésima variedad en la localidad con el menor nivel de producción.

Para categorizar los ambientes de acuerdo a su nivel de producción Langer et al. (1979) utilizaron los promedios ambientales.

### Desviación de Ponderación (Vi)

Propuesta en este trabajo como un estadístico que nos ayude en la discriminación de genotipos, se obtiene restando la media marginal de la media ponderada del genotipo de que se trate, de la manera siguiente:

$V_i = \text{media ponderada} - \text{media marginal}$

$$V_i = \bar{X}_p - \bar{X}_i = \frac{\sum_{j=1}^q (X_{ij} * \bar{X}_{.j})}{\sum_{j=1}^q \bar{X}_{.j}} - \frac{\sum_{j=1}^q X_{ij}}{q}$$

de lo que obtenemos:

$$V_i = \frac{\sum_{j=1}^q (X_{ij} * l_j)}{q \mu}$$

De tal manera que a menores valores de  $V_i$ , mayor será la estabilidad de el genotipo de que se trate.

### **Correlación entre Parámetros**

Una vez calculados los parámetros descritos anteriormente se procedió a determinar el coeficiente de correlación por rangos de Spearman (1904) entre todos los pares posibles de ellos mediante el procedimiento siguiente:

- A los valores de las muestras X y Y se les asignan rangos o categorías en orden creciente.
- Se calcula  $d_i$  para cada par de observaciones restando el rango de  $Y_i$  del rango de  $X_i$ .
- Se eleva al cuadrado cada  $d_i$  y se calcula la suma de los valores al cuadrado. ( $\sum d_i^2$ ).
- Se calcula:

$$r_s = 1 - \frac{6 \cdot \sum d_i^2}{n(n^2 - 1)}$$

donde:

$r_s$  = coeficiente de correlación por rangos de Spéarman

$n$  = Número de pares de datos X e Y.

Regla de decisión:

Si  $r_s > r_s^*$  se rechaza la  $H_0$  de que X y Y son mutuamente independientes.

donde:

$r_s^*$  = es el valor crítico de  $r_s$  en la tabla Q con un nivel de significancia  $> 0.05$ , con  $n$  grados de libertad (Steel y Torrie, 1980).

### Clasificación por Rangos de Friedman

Para tratar de deducir en forma general si los estadísticos se vieron o no afectados por las diversas situaciones que se plantearon en el experimento se procedió a realizar la prueba de clasificación por rangos de Friedman (1940) siguiendo el procedimiento descrito por Steel y Torrie (1980) y Daniel (1987) que consiste en:

- 1.- Asignar rangos a los tratamientos (situaciones) dentro de cada bloque (parámetros) del valor mas bajo al mas alto.
- 2.- Obtener la suma de rangos para cada tratamiento (situación).
- 3.- Probar la hipótesis nula de que las situaciones no influyen en los valores medios de los parámetros ( $H_0$  : los tratamientos son iguales) el criterio de prueba es:

$$X_r^2 = \frac{12}{nk(k+1)} \sum_{j=1}^k (R_j)^2 - 3n(k+1)$$

donde:

n = número de renglones (parámetros)

k = número de columnas (situaciones)

$R_j$  = suma de rangos dentro de cada columna  
(situación)

Comparándola con:

$$\chi^2_{\alpha, (k-1)g}$$

De tal manera que si:

$\chi^2_r > \chi^2_t$  se rechaza la  $H_0$  de que las situaciones son iguales (no modifican grandemente los valores medios de los parámetros en estudio).

## RESULTADOS Y DISCUSION

El Cuadro 1.A. muestra las medias de rendimiento para cada genotipo en cada una de las localidades de prueba, de tal manera que utilizando el modelo propuesto por Perkins y Jinks (1968) se calcularon medias marginales de rendimiento, medias ambientales, índices genotípicos e índices ambientales; con la utilización de estos últimos y las medias marginales de rendimiento fue posible plantear las situaciones bajo las cuales se realizaron los análisis de estabilidad del rendimiento.

### Situación 1 (Todos los Genotipos en todos los Ambientes)

En el Cuadro 2.A. se observan los análisis de varianza por localidad en los cuales hubo diferencia altamente significativa entre bloques en las localidades tres, cinco y ocho, mientras que en las demás no se presentaron diferencias. En lo referente a genotipos sólo en las localidades seis y dos se presentaron diferencias significativas y altamente significativas respectivamente.

El análisis de varianza combinado mostró diferencias altamente significativas para la interacción genotipo-

ambiente, ambientes y repeticiones dentro de ambientes, mientras que entre genotipos solo hubo diferencias significativas tal como se muestra en el Cuadro 4.1.

① Cuadro 4.1. Analisis de varianza combinado cuando son considerados todos los genotipos y todos los ambientes del experimento.

F.V.	G.L.	C.M.	F.C.
Ambientes	7	42.949	142.688**
Rep/Amb	16	19.496	131.730**
Genotipos	6	0.867	5.858*
G x A	42	0.301	2.034**
Error	96	0.148	

C. V. =12.53 %

\* = Significativo al 0.05 de probabilidad

\*\* = Altamente significativo al 0.01 de probabilidad

En base a la significancia estadística encontrada en el análisis de varianza combinado, en la fuente de variación genotipos, se realizó la prueba de comparación de medias (DMS  $p < 0.05$ ), cuyos resultados aparecen en el Cuadro 4.2. De los siete genotipos del experimento, cinco quedaron incluidos en el primer grupo de significancia estadística, destacando los genotipos siete, tres, seis y cuatro del resto, los cuales formaron dos grupos más.

La prueba de Bartlett (1937) previamente realizada (Cuadro 3.A.) dio como resultado homogeneidad en las varianzas, lo cual permitió calcular los diferentes parámetros de estabilidad descritos en Materiales y Métodos.

cuyos valores y rangos asignados se observan en el Cuadro 4.A.

⑦ Cuadro 4.2. Comparación de medias de rendimiento cuando son considerados todos los genotipos y todos los ambientes del experimento.

Genotipo	Identificación	Media (ton/ha)	Significancia
7	ERONGA 83	3.243	A
3	AN-6-86	3.241	A
6	AN-14-86	3.186	A
4	AN-9 86	3.124	A
2	AN-4-86	3.054	A B
1	AN-1-86	2.894	B C
5	AN-13 86	2.739	C

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (DMS  $p < 0.05$ ).

En el Cuadro 4.3. se observan las calificaciones de los genotipos en base a los métodos de Eberhart y Russell (1966) y Shukla (1972) de los cuales, de acuerdo con las situaciones descritas por Carballo y Márquez (1970) el genotipo cuatro es considerado como una variedad con mejor respuesta en buenos ambientes y consistente; en tanto a los genotipos uno y siete los califica como de buena respuesta en todos los ambientes, pero inconsistentes, y el resto de ellos permanecen como estables; mientras que el método de Shukla (1972) califica a todos los genotipos como estables, lo cual resulta incongruente dada la alta significancia encontrada en la interacción genotipo-ambiente en el análisis de varianza combinado.

3 Cuadro 4.3. Medias, coeficientes de regresión y desviaciones de regresión de Eberhart y Russell (1966) y varianzas de estabilidad de Shukla (1972) de todos los genotipos en todos los ambientes.

Genotipo	Media (ton/ha)	$b_i$	$S^2_{di}$	$\sigma^2_i$	
1	2.894	= 1	> 0	0.145	NS
2	3.054	= 1	= 0	0.026	NS
3	3.241	= 1	= 0	0.083	NS
4	3.124	> 1	= 0	0.012	NS
5	2.739	= 1	= 0	0.163	NS
6	3.186	= 1	= 0	0.157	NS
7	3.243	= 1	> 0	0.114	NS

NS = No significativo.

Nota: De acuerdo con Shukla (1972) al no presentar significancia estadística un determinado genotipo, éste es considerado como estable.

Los coeficientes de correlación por rangos de Spearman (1904) Cuadro 4.4, muestran que la media tuvo una correlación positiva y altamente significativa con la media ponderada, mientras que con los demás parámetros no hubo significancia en la correlación, lo cual concuerda con lo reportado por Finlay y Wilkinson (1963); Frey (1972) y Langer *et al.* (1978) quienes no encontraron correlación entre la media y el coeficiente de ~~correlación~~ <sup>regresión</sup> de Eberhart y Russell (1966) cuando se utilizan líneas en el experimento.

Correlaciones positivas y perfectas ( $r=1$ ), se encontraron entre la  $w_i^2$  con  $\sigma_i^2$  (como ya lo habían reportado Kang y Miller (1984),  $b_i$  con  $\beta_i$ , y  $S^2_{di}$  con  $\delta_i^2$

Cuadro 4.4. Correlaciones por rangos de Spearman (1904) entre pares de parámetros, cuando son considerados todos los genotipos y todos los ambientes del experimento.

$\bar{X}_p$	s	$s^2$	C.V.	$w_i^2$	$\sigma_i^2$	$\theta_i$	$\theta(i)$	$r^2$	$b_i$	$S^2 d_i$	$\beta_i$	$\delta_i^2$	$R_1$	$R_2$	$V_i$
0.10**	0.51	0.61	0.14	-0.32	-0.32	-0.32	0.32	0.29	0.46	-0.11	0.46	-0.11	0.36	0.54	0.46
$\bar{X}_p$	0.92*	0.82*	0.46	-0.14	-0.14	-0.14	0.14	0.39	0.71*	-0.14	0.71*	-0.14	0.61	0.57	0.71**
s	1**	0.96*	0.36	-0.36	-0.36	-0.36	0.36	0.71*	0.95**	-0.43	0.96**	-0.43	0.92*	0.75*	0.96**
$s^2$	0.96*	0.36	-0.36	-0.36	-0.36	-0.36	0.36	0.71*	0.95**	-0.43	0.96**	-0.43	0.92*	0.75*	0.96**
C.V.	0.21	-0.21	-0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.64	0.89**	-0.36	0.89**	-0.36	0.86*	0.64	0.89**
$w_i^2$	1**	1**	1**	-1**	-1**	-1**	1**	0.71*	-0.47	0.71*	-0.43	0.71*	0	-2	-0.43
$\sigma_i^2$	1	1	1	-1**	-1**	-1**	1**	0.71*	-0.43	0.71*	-0.43	0.71*	0	-2	-0.43
$\theta_i$	1**	1**	1**	-1**	-1**	-1**	1**	0.71*	-0.43	0.71*	-0.43	0.71*	0	-2	-0.43
$\theta(i)$	0.71*	0.71*	0.71*	-0.71*	-0.71*	-0.71*	0.71*	0.71*	0.43	-0.71*	0.43	-0.71*	0	0.29	0.43
$r^2$	0.82*	0.82*	0.82*	-0.82*	-0.82*	-0.82*	0.82*	0.82*	0.82**	0.82**	0.82*	-0.82*	0.43	0.54	0.82*
$b_i$	0.57	0.57	0.57	-0.57	-0.57	-0.57	0.57	0.57	1**	-0.57	1**	-0.57	0.75*	0.64	1**
$S^2 d_i$	0.57	0.57	0.57	-0.57	-0.57	-0.57	0.57	0.57	1**	-0.11	1**	-0.11	-0.29	-0.57	1**
$\beta_i$	0.57	0.57	0.57	-0.57	-0.57	-0.57	0.57	0.57	0.57	0.75*	0.64	0.64	0.64	0.64	1**
$\delta_i^2$	0.11	0.11	0.11	-0.11	-0.11	-0.11	0.11	0.11	0.11	-0.11	-0.11	-0.11	-0.11	-0.29	-0.57
$R_1$	0.86**	0.86**	0.86**	-0.86**	-0.86**	-0.86**	0.86**	0.86**	0.86**	0.86**	0.86**	0.86**	0.86**	0.86**	0.86**
$R_2$	0.64	0.64	0.64	-0.64	-0.64	-0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64
$V_i$	0.64	0.64	0.64	-0.64	-0.64	-0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64

\* = Significativo al 0.05 de probabilidad

\*\* = Altamente significativo al 0.01 de probabilidad

estas dos últimas concordando con lo reportado por Lin et al. (1986) y Luthra y Singh (1974) en el sentido de la equivalencia  $\beta_i = b_i - 1$  y la igualdad entre  $s^2_{di}$  y  $\delta_i^2$ . La misma asociación se encontró entre la  $w_i^2$  y  $\theta_i$ ;  $\sigma_i^2$  con  $\theta_i$ ;  $s$  con  $s^2$ , y también una correlación de  $r=1$  entre el coeficiente de ~~correlación~~ <sup>regresión</sup> de Eberhart y Russell (1966) ( $b_i$ ), y el  $V_i$  propuesto en este estudio.

Correlaciones perfectas negativas ( $r=-1$ ), se encontraron entre  $\theta(w)$  con la  $w_i^2$ , la  $\sigma_i^2$  y el  $\theta_i$ . Lo cual sugiere que podemos utilizar cualesquiera de los parámetros que se correlacionen de manera perfecta para determinar o detectar la estabilidad de los genotipos en estudio. Sin embargo debemos considerar si el parámetro seleccionado posee pruebas estadísticas que permitan determinar con cierto grado de certeza si un genotipo es estable o no.

También se observaron correlaciones negativas y altamente significativas entre el coeficiente de determinación ( $r^2$ ), con  $s^2_{di}$  y  $\delta_i^2$ ; mientras que las correlaciones de este parámetro con la  $w_i^2$ , la  $\sigma_i^2$  y  $\theta_i$ , fueron negativas y significativas, coincidiendo con lo reportado por Langer et al. (1979); Lozano (1980) y Vega (1984) que también reportaron correlaciones negativas entre  $r^2$  y  $s^2_{di}$ , y de  $r^2$  con  $w_i^2$ . Además  $r^2$  estuvo positiva y significativamente correlacionada con  $s$ ,  $s^2$ ,  $\theta(w)$ ,  $b_i$ ,  $\beta_i$  y  $V_i$ .

El coeficiente de regresión estuvo altamente correlacionado con la  $s$ ,  $s^2$ , y el C.V., mientras que con la media ponderada y el  $R_1$  mantuvo una correlación significativa, lo cual coincide con lo reportado por Vega (1984) en el sentido de la asociación de el  $b_i$  y el  $R_1$ ; pero difiere con Bacusmo et al. (1988) en lo referente a la correlación por ellos reportada entre el  $b_i$  y la  $\sigma^2$ , que en este estudio incluso se manifestó en forma negativa, aunque no significativa.

Las desviaciones de regresión ( $s^2_{di}$ ), estuvieron correlacionadas positiva y significativamente con la  $w_i^2$ , la  $\sigma^2$  y  $\theta_i$ . También el rango  $R_1$  se correlacionó en la misma medida y significancia con la  $s$ ,  $s^2$ , C.V. y con  $R_2$ , mientras que este último parámetro sólo se correlacionó con la desviación standard ( $s$ ) y la varianza ( $s^2$ ).

#### **Situación 2 (Todos los Genotipos menos el Mejor Ambiente)**

En el Cuadro 4.5. aparece el análisis de varianza combinado, en el cual se ha eliminado el mejor ambiente (Zaragoza, Coah., Ciclo 87-88), mostrando diferencia altamente significativa entre ambientes, repeticiones dentro de ambientes y la interacción genotipo-ambiente, mientras que entre genotipos sólo hubo diferencias significativas.

La prueba de rango múltiple (DMS  $p < 0.05$ ), mostró que los genotipos tres, siete, seis y cuatro se agrupan de

nuevo en primer término, aunque en este caso el genotipo tres destaca sobre los demás, llegándose a formar tres grupos más de significancia estadística (Cuadro 4.6.).

Cuadro 4.5. Análisis de varianza combinado cuando son considerados todos los genotipos menos el mejor ambiente del experimento.

F.V.	G.L.	C.M.	F.C.
Ambientes	6	40.906	125.095**
Rep/Amb	14	18.303	118.084**
Genotipos	6	0.885	2.706*
G x A	36	0.327	2.110**
Error	84	0.155	

C. V. = 13.81 %

\* = Significativo al 0.05 de probabilidad

\*\* = Altamente significativo al 0.01 de probabilidad

Cuadro 4.6. Comparación de medias de rendimiento cuando son considerados todos los genotipos, menos el mejor ambiente del experimento.

Genotipo	Identificación	Media (ton/ha)	Significancia
3	AN-6-86	3.071	A
7	ERONGA 83	3.034	A B
6	AN-14-86	2.968	A B
4	AN-9 86	2.881	A B C
2	AN-4-86	2.822	B C
1	AN-1-86	2.702	C D
5	AN-13-86	2.485	D

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (DMS  $p < 0.05$ ).

Los parámetros calculados y sus rangos respectivos aparecen en el Cuadro 5.A. el cual, comparado con el Cuadro

4.A. de la situación anterior, muestra que los únicos parámetros que no variaron en la posición relativa de sus rangos, fueron la media ponderada, desviación estándar, varianza y coeficiente de variación, mientras los demás parámetros variaron en dos o mas posiciones.

El Cuadro 4.7. muestra la calificación de los genotipos en base a las metodologías de Shukla (1972) y Eberhart y Russell (1966) en el cual se observa que este último califica como estables a los genotipos uno, dos y seis, mientras que al genotipo cuatro lo califica como mejor adaptado a buenos ambientes y al genotipo cinco como mejor adaptado a ambientes pobres. Por otra parte los genotipos uno y siete son considerados (al igual que cuando se toman en cuenta todos los ambientes y genotipos) como aquellos que poseen buena respuesta en todos los ambientes pero que son inconsistentes en su comportamiento. El método de Shukla (1972) por su parte, considera que todos los genotipos son estables.

La correlación por rangos de Spearman (1904) Cuadro 4.8. muestra de nuevo una falta de asociación entre la media con el coeficiente de regresión, manteniéndose las correlaciones perfectas ( $r=1$ ) entre la  $w_i^2$  con la  $\alpha_i^2$  y  $\theta_i$ ; así como entre  $\alpha_i^2$  con  $\theta_i$ ;  $s$  y  $s^2$ ;  $b_i$  y  $\beta_i$ ;  $s^2 d_i$  con  $\delta_i^2$ ; y  $b_i$  con  $v_i$ , también aquellas negativas y perfectas ( $r=-1$ ) entre la  $w_i^2$  con  $\theta(i)$ ,  $\alpha_i^2$  con  $\theta(i)$  y  $\theta_i$  con  $\theta(i)$ , las cuales se

Cuadro 4.7. Medias, coeficientes de regresión y desviaciones de regresión de Eberhart y Russell (1966) y varianzas de estabilidad de Shukla (1972) de todos los genotipos menos el mejor ambiente del experimento.

Genotipo	Media (ton/ha)	$b_i$	$S^2_{di}$	$\sigma^2_i$	
1	2.702	= 1	> 0	0.167	NS
2	2.822	= 1	= 0	0.029	NS
3	3.071	= 1	= 0	0.071	NS
4	2.881	> 1	= 0	0.007	NS
5	2.485	< 1	= 0	0.175	NS
6	2.968	= 1	= 0	0.185	NS
7	3.034	= 1	> 0	0.134	NS

NS = No significativo.

Nota: De acuerdo con Shukla (1972) al no presentar significancia estadística un determinado genotipo, este es considerado como estable.

presentaron en la situación anterior (todos los ambientes y genotipos). Además se incrementaron los valores de correlaciones entre el coeficiente de regresión con la desviación estándar, varianza, media ponderada y el coeficiente de variación.

El coeficiente de determinación solamente mantuvo las correlaciones negativas y significativas con las  $s^2_{di}$  y  $\sigma^2_i$ , mientras que, aquellas que se habían presentado en la situación anterior entre  $r^2$  con la  $s$ ,  $s^2$ ,  $w_i^2$ ,  $\sigma_i^2$ ,  $\theta_i$ ,  $\theta(i)$  y el  $b_i$  dejaron de ser significativas. Igual sucedió con las correlaciones entre  $s^2_{di}$  con  $w_i^2$ ,  $\sigma_i^2$ ,  $\theta_i$  y  $\theta(i)$ .

Cuadro 4.8. Correlaciones por rangos de Spearman (1904) entre pares de parámetros, cuando son considerados todos los genotipos menos el mejor ambiente del experimento.

	$\bar{X}_p$	s	s <sup>2</sup>	c.v.	wi <sup>2</sup>	$\sigma_i^2$	$\theta_i$	$\theta_{(i)}$	r <sup>2</sup>	bi	s <sup>2</sup> di	$\beta_i$	$\delta_i^2$	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	Vi
$\bar{X}$	0.86**	0.54	0.54	0	0.21	-0.21	-0.21	0.21	0.14	0.54	0.14	0.54	0.14	0.54	0.46	0.54
$\bar{X}_p$		0.82*	0.82*	0.46	0.01	0.01	0.01	-0.01	0.21	0.82*	0.21	0.82*	0.21	0.82*	0.75*	0.82**
s			1**	0.86*	-0.14	-0.14	-0.14	0.14	0.57	1**	-0.14	1**	-0.14	0.82*	0.86*	1**
s <sup>2</sup>				0.86*	-0.14	-0.14	-0.14	0.14	0.57	1**	-0.14	1**	-0.14	0.82*	0.86*	1**
c.v.					0	0	0	0	0.57	0.86*	-0.21	0.86*	-0.21	0.54	0.71*	0.86*
wi <sup>2</sup>						1**	1**	-1**	-0.54	-0.14	0.61	-0.14	0.61	0.16	0.01	-0.14
$\sigma_i$							1**	-1**	-0.54	-0.14	0.61	-0.14	0.61	0.16	0.01	-0.14
$\theta_i$								-1**	-0.54	-0.14	0.61	-0.14	0.61	0.16	0.01	-0.14
$\theta_{(i)}$									0.54	0.14	-0.61	0.14	-0.61	-0.16	-0.01	0.14
r <sup>2</sup>										0.57	-0.86*	0.57	-0.86*	0	0.21	0.57
bi											-0.14	1**	-0.14	0.82*	0.86*	1**
s <sup>2</sup> di												-0.14	1**	0.14	0.21	-0.14
$\beta_i$													-0.14	0.82*	0.86*	1**
$\delta_i$														0.39	0.21	-0.14
R <sub>1</sub>															0.96**	0.82*
R <sub>2</sub>																0.86*
Vi																

\*= Significativo al 0.05 de probabilidad  
 \*\*= Altamente significativo al 0.01 de probabilidad

El rango  $R_1$  se correlacionó positiva y significativamente con la media ponderada, manteniendo aquellas presentadas con la  $s$ ,  $s^2$  y  $b_i$ , pero perdiéndola con el C.V.

$R_2$  mantuvo las correlaciones mostradas en la situación anterior, además se correlacionó con la  $\bar{X}_p$ , C.V.,  $b_i$  y  $\beta_i$  en forma significativa.

### Situación 3 (Todos los Genotipos Menos el Peor Ambiente)

Cuando el peor ambiente (NV. Ver-87), es suprimido del conjunto de datos, la interacción genotipo-ambiente es significativa, al igual que entre genotipos; mientras que los ambientes y repeticiones dentro de ambientes permanecen con diferencias altamente significativas, tal como se muestra en el Cuadro 4.9.

Cuando las medias son agrupadas (DMS  $p < 0.05$ ), la variedad Eronga 83 destaca sobre el resto, aunque no es significativamente diferente de tres, seis y cuatro, pero comparada con el genotipo cinco (AN-13-83), que fue el peor genotipo en los ocho ambientes de prueba, sobresale de manera significativa (Cuadro 4.10.).

Los parámetros calculados así como sus rangos correspondientes aparecen en el Cuadro 6.A. el cual parece

9 Cuadro 4.9. Análisis de varianza combinado cuando son considerados todos los genotipos menos el peor ambiente del experimento.

F.V.	G.L.	C.M.	F.C.
Ambientes	6	32.602	103.498**
Rep/Amb	14	14.755	88.885**
Genotipos	6	1.025	3.254*
G x A	36	0.315	2.034*
Error	84	0.166	

C. V. = 12.10 %

\* = Significativo al 0.05 de probabilidad

\*\* = Altamente significativo al 0.01 de probabilidad

10 Cuadro 4.10. Comparación de medias de rendimiento cuando son considerados todos los genotipos menos el peor ambiente del experimento.

Genotipo	Identificación	Media (ton/ha)	Significancia
7	ERONGA 83	3.597	A
3	AN-6-86	3.531	A B
6	AN-14-86	3.511	A B
4	AN-9-86	3.441	A B
2	AN-4-86	3.346	B C
1	AN-1-86	3.156	C D
5	AN-13 86	2.990	D

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (DMS  $p < 0.05$ ).

indicar que el único parámetro que no varió en sus rangos fue la media ponderada (cuando se compara con los Cuadros 4.A. y 5.A. de las dos situaciones anteriores), mientras que los demás variaron en dos o mas posiciones.

La calificación de las variedades por los métodos de Shukla (1972) y Eberhart y Russell (1966) aparecen en el Cuadro 4.11., el cual muestra que el método de Eberhart y Russell (1966) califica como inconsistente al genotipo uno, mientras que al genotipo cuatro lo considera de mejor respuesta en buenos ambientes y consistente. El método de Shukla (1972) por su parte considera todos los genotipos como estables.

Los coeficientes de correlación (Cuadro 4.12.) muestran que: la media únicamente se correlacionó con la media ponderada, manteniéndose las correlaciones perfectas de  $s$  con  $s^2$ ;  $W_i^2$  con  $\sigma_i^2$  y  $\theta_i$ ;  $\sigma_i^2$  con  $\theta_i$ ;  $b_i$  con  $s$ ,  $s^2$  y  $V_i$ , y perfectas negativas entre  $\theta_i$  con  $W_i^2$ ,  $\sigma_i^2$  y  $\theta_i$ .

Asimismo el  $b_i$  mantuvo la correlación significativa con el coeficiente de variación, perdiéndola con la media ponderada, además se correlacionó significativamente con el coeficiente de determinación ( $r^2$ ). Este último parámetro sostuvo las correlaciones mostradas en la situación anterior y en la presente se correlacionó significativamente con la desviación estándar y la varianza.

Cuadro 4.11. Medias, coeficientes de regresión y desviaciones de regresión de Eberhart y Russell (1966) y varianzas de estabilidad de Shukla (1972) de todos los genotipos menos el peor ambiente del experimento.

Genotipo	Media (ton/ha)	$b_i$	$S^2_{di}$	$\sigma^2_i$	
1	3.156	= 1	> 0	0.154	NS
2	3.346	= 1	= 0	0.032	NS
3	3.531	= 1	= 0	0.099	NS
4	3.441	> 1	= 0	0.012	NS
5	2.990	= 1	= 0	0.164	NS
6	3.511	= 1	= 0	0.177	NS
7	3.597	= 1	= 0	0.096	NS

NS = No significativo.

Nota: De acuerdo con Shukla (1972) al no presentar significancia estadística un determinado genotipo, éste es considerado como estable.

El índice  $R_i$  sólo mantuvo la correlación significativa con el coeficiente de variación y el  $R_z$ , perdiendo todas las demás correlaciones mostradas en las situaciones anteriores.

#### Situación 4 (Todos los Genotipos en los Mejores Ambientes del Experimento)

El análisis de varianza combinado mostró diferencias significativas para genotipos, ambientes y genotipos por ambiente; mientras que en repeticiones dentro de ambiente hubo diferencias altamente significativas, tal como aparece en el Cuadro 4.13.

Cuadro 4.12. Correlaciones por rangos de Spearman (1904) entre pares de parámetros, cuando son considerados todos los genotipos menos el peor ambiente del experimento.

	$\bar{X}_p$	s	s <sup>2</sup>	c.v.	wi <sup>2</sup>	$\sigma_i^2$	$\theta_i$	$\theta_{(i)}$	r <sup>2</sup>	bi	s <sup>2</sup> di	$\beta_i$	$\delta_i^2$	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	Vi	
$\bar{X}$	0.01**	0.32	0.32	-0.25	-0.21	-0.21	-0.21	0.21	0.31	0.32	-0.32	0.32	-0.32	-0.25	-0.32	0.32	
$\bar{X}_p$		0.61	0.61	0.14	0	0	0	0	0.41	0.61	-0.32	0.61	-0.32	0.11	0	0.61	
s				1**	0.82*	-0.21	-0.21	-0.21	0.21	0.76*	1**-0.54	1**-0.54	0.57	0.5	1**		
s <sup>2</sup>					0.82*	-0.21	-0.21	-0.21	0.21	0.76*	1**-0.54	1**-0.54	0.57	0.5	1**		
c.v.						0	0	0	0.56	0.83*	-0.32	0.82*	-0.32	0.75*	0.68*	0.82*	
wi <sup>2</sup>							1**	1**	-1**0.59	-0.21	0.68*	-0.21	0.68*	0.21	0	-0.21	
$\sigma_i^2$								1**	-1**0.59	-0.21	0.68*	-0.21	0.68*	0.21	0	-0.21	
$\theta_i$									-1**0.59	-0.21	0.68*	-0.21	0.68*	0.21	0	-0.21	
$\theta_{(i)}$										0.59	0.21	-0.68*	0.21	-0.68*	-0.21	0	0.21
r <sup>2</sup>											0.76*	-0.95**	0.76*	-0.95**	0.32	0.41	0.76*
bi												-0.54	1**-0.54	0.57	0.5	1**	
s <sup>2</sup> di													-0.54	1**0.21	-0.29	-0.54	
$\beta_i$														-0.54	0.57	0.5	1**
$\delta_i^2$															-0.21	-0.29	-0.54
R <sub>1</sub>																0.96**	0.57
R <sub>2</sub>																	0.5
Vi																	

\*= Significativo al 0.05 de probabilidad  
 \*\*= Altamente significativo al 0.01 de probabilidad

Cuando las medias de rendimiento son agrupadas (DMS  $p < 0.05$ ), considerando sólo los mejores ambientes, los genotipos seis, siete, cuatro, tres y dos forman un grupo de significancia estadística que difiere significativamente de los dos genotipos restantes (Cuadro 4.14.).

Los parámetros y sus respectivos rangos aparecen en el Cuadro 7.A. el cual comparado con aquel de la situación uno, muestra variación en cuanto a las posiciones relativas de sus rangos.

La calificación de los genotipos en base a los métodos de Shukla (1972) y Eberhart y Russell (1966) aparece en el Cuadro 4.15., en el que se observa que el método de Shukla (1972) califica a todos los genotipos como estables, mientras que el de Eberhart y Russell (1966) califica como inconsistente al genotipo uno (AN-1-86), y el resto de ellos permanecen como estables.

En el Cuadro 4.16. se puede apreciar que la media se correlacionó en forma positiva y altamente significativa con la media ponderada, mientras que con el  $b_1$  se correlacionó en forma significativa pero negativamente, lo mismo sucedió con el  $b_2$ ,  $R_2$  y  $V_1$ . Esto probablemente se deba a que las diferencias entre ambientes fue mínima (índices ambientales casi iguales).

Cuadro 4.13. Análisis de varianza combinado cuando son considerados todos los genotipos en los mejores ambientes del experimento.

F.V.	G.L.	C.M.	F.C.
Ambientes	3	1.529	4.901*
Rep/Amb	8	0.999	6.750**
Genotipos	6	1.116	3.577*
G x A	18	0.312	2.034*
Error	48	0.148	

C.V. = 8.96 %

\* = Significativo al 0.05 de probabilidad

\*\* = Altamente significativo al 0.01 de probabilidad

Cuadro 4.14. Comparación de medias de rendimiento cuando son considerados todos los genotipos en los mejores ambientes del experimento.

Genotipo	Identificación	Media (ton/ha)	Significancia
6	AN-14-86	4.603	A
7	ERONGA 83	4.484	A
4	AN-9 86	4.473	A
3	AN-6-86	4.388	A
2	AN-4-86	4.321	A
1	AN-1-86	3.988	B
5	AN-13 86	3.754	B

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (DMS  $p < 0.05$ ).

Cuadro 4.15. Medias, coeficientes de regresión y desviaciones de regresión de Eberhart y Russell (1966), y varianzas de estabilidad de Shukla (1972), de todos los genotipos en los mejores ambientes.

Genotipo	Media (ton/ha)	$b_i$	$S^2_{di}$	$\sigma^2_i$	
1	3.988	= 1	> 0	0.244	NS
2	4.321	= 1	= 0	0.014	NS
3	4.388	= 1	= 0	0.085	NS
4	4.473	= 1	= 0	-0.017	NS
5	3.754	= 1	= 0	0.132	NS
6	4.603	= 1	= 0	0.105	NS
7	4.484	= 1	= 0	0.166	NS

NS = No significativo.

Correlaciones positivas y perfectas se encontraron entre  $s$  con  $s^2$ ;  $W_i^2$  con  $\sigma_i^2$  y  $\theta_i$ ;  $\sigma_i^2$  con  $\theta(i)$ ;  $b_i$  con  $\beta_i$ ; el rango  $R_i$  con la  $s$  y  $s^2$ ; y  $s^2_{di}$  con  $\delta_i$ , así también correlaciones negativas y perfectas entre el  $\theta(i)$  con la  $W_i^2$ ,  $\sigma_i^2$  y  $\theta_i$ .

El coeficiente de variación se correlacionó en forma positiva y altamente significativa con la  $s$ ,  $R_i$  y  $s^2$ ; y significativamente con el  $b_i$  y  $R_z$ . Por otra parte las desviaciones de regresión tuvieron correlaciones positivas y altamente significativas con la  $W_i^2$ ,  $\sigma_i^2$  y  $\theta_i$ , mientras que con la  $\theta(i)$  fue negativa y de igual significancia.

Cuadro 4.16. Correlaciones por rangos de Spearman (1904) entre pares de parámetros, cuando son considerados todos los genotipos en los cuatro mejores ambientes del experimento.

	$\bar{X}_p$	s	s <sup>2</sup>	c.v.	wi <sup>2</sup>	$\sigma_i^2$	$\theta_i$	$\theta_{(i)}$	r <sup>2</sup>	bi	s <sup>2</sup> di	$\beta_i$	$\delta_i^2$	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	Vi
$\bar{X}$	0.96**	-0.39	-0.39	-0.5	-0.21	-0.21	-0.21	0.21	-0.57	-0.79*	0	-0.79*	0	-0.39	-0.82*	-0.72*
$\bar{X}_p$		0.36	-0.36	-0.46	-0.39	-0.39	-0.39	0.39	-0.36	-0.64	-0.11	-0.64	-0.11	-0.36	-0.68*	-0.58
s			1**	0.96**	0.57	0.57	0.57	-0.57	0.01	0.68*	0.64	0.68*	0.64	1**	0.64	0.76*
s <sup>2</sup>				0.96**	0.57	0.57	0.57	-0.57	0.01	0.68*	0.64	0.68*	0.64	1**	0.64	0.76*
c.v.					0.54	0.54	0.54	-0.54	0.11	0.75*	0.54	0.75*	0.54	0.96**	0.71*	0.81*
wi <sup>2</sup>						1**	1**	-1**	-0.5	0.14	0.89**	0.14	0.89**	0.57	0.01	0.18
$\sigma_i^2$							1**	-1**	-0.5	0.14	0.89**	0.14	0.89**	0.57	0.01	0.18
$\theta_i$								-1**	-0.5	0.14	0.89**	0.14	0.89**	0.57	0.01	0.18
$\theta_{(i)}$									0.5	-0.14	-0.89**	-0.14	-0.89**	-0.57	-0.01	-0.01
r <sup>2</sup>										0.68*	-0.61	0.68*	-0.61	0.01	0.75*	0.63
bi											0	1**	0	0.68*	0.96**	0.99**
s <sup>2</sup> di												0	1	0.54	-0.01	0.11
$\beta_i$													0	0.68*	0.96**	0.99**
$\delta_i^2$														0.64	-0.01	0.11
R <sub>1</sub>															0.64	-0.75*
R <sub>2</sub>																0.95**
Vi																

\*= Significativo al 0.05 de probabilidad  
 \*\*= Altamente significativo al 0.01 de probabilidad

El coeficiente de regresión ( $b_i$ ) se correlacionó positiva y altamente significativa con el  $V_i$ , el cual a diferencia de los coeficientes de regresión ( $b_i$  y  $\beta_i$ ), se correlacionó en forma significativa con el coeficiente de variación, desviación estándar y varianza.

#### Situación 5 (Todos los Genotipos en los Peores Ambientes del Experimento)

El análisis de varianza combinado sobre ambientes mostró diferencias altamente significativas entre ambientes y repeticiones dentro de ambientes, mientras que entre genotipos y la interacción genotipo-ambiente no hubo significancia tal como se muestra en el Cuadro 4.17.

Cuadro 4.17. Análisis de varianza combinado cuando son considerados todos los genotipos en los peores ambientes del experimento.

F.V.	G.L.	C.M.	F.C.
Ambientes	3	15.503	67.996**
Rep/Amb	8	6.800	45.946**
Genotipos	6	0.236	1.035 <sup>NS</sup>
G x A	18	0.228	1.540 <sup>NS</sup>
Error	48	0.148	

C. V. = 20.81 %

NS = No significativo

\* = Significativo al 0.05 de probabilidad

\*\* = Altamente significativo al 0.01 de probabilidad

La agrupación de medias (DMS  $p < 0.1$ ), mostró que en los peores ambientes sólo los genotipos tres y siete son considerados dentro de el primer grupo estadístico (Cuadro 4.18.) aunque sólo el genotipo tres difiere del resto del material genético.

Cuadro 4.18. Comparación de medias de rendimiento cuando son considerados todos los genotipos en los peores ambientes del experimento.

Genotipo	Identificación	Media (ton/ha)	Significancia
3	AN-6-86	2.095	A
7	ERONGA 83	2.002	A B
1	AN-1-86	1.799	B C
2	AN-4-86	1.787	B C
4	AN-9-86	1.774	B C
6	AN-14-86	1.768	B C
5	AN-13-86	1.723	C

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (DMS  $p < 0.10$ ).

Aunque en este caso no se presentó significancia en la interacción genotipo-ambiente, se procedió igualmente a calcular los parámetros de estabilidad, cuyos valores y rangos aparecen en el Cuadro 8.A. Lo anterior con el fin de detectar tendencias hacia la inestabilidad de algún o algunos de los genotipos del experimento.

Los métodos de Shukla (1972) y Eberhart y Russell (1966) calificaron a todos los genotipos como estables (Cuadro 4.19), lo cual era de esperarse puesto que la

interacción genotipo-ambiente fue no significativa.

En el Cuadro 4.20. podemos observar que la media de rendimiento no se correlacionó con ningún otro parámetro, sucediendo lo mismo con la media ponderada.

Correlaciones positivas y perfectas se mantuvieron entre la desviación estándar y la varianza;  $\sigma^2$  con  $\theta_i$ ;  $s^2_{di}$  con  $\delta_i$ ; y el coeficiente de regresión ( $b_i$ ) con el  $\beta_i$  y  $V_i$ . Así también las perfectas y negativas entre la  $\sigma^2$  con  $\theta(i)$  y entre  $\theta_i$  con  $\theta(i)$ .

Cabe destacar las correlaciones positivas y altamente significativas mostradas entre el coeficiente de variación con  $b_i$ ,  $\beta_i$ ,  $V_i$ ,  $s$  y  $s^2$ ; entre  $b_i$  con la  $s$  y  $s^2$ ; y aquellas entre la Ecovalencia ( $W_i^2$ ) con la  $\sigma^2$ ,  $\theta_i$  y  $s^2_{di}$ .

Cuadro 4.19. Medias, coeficientes de regresión y desviaciones de regresión de Eberhart y Russell (1966) y varianzas de estabilidad de Shukla (1972) de todos los genotipos en los peores ambientes.

Genotipo	Media (ton/ha)	$b_i$	$S^2_{di}$	$\sigma^2_i$	
1	1.799	= 1	= 0	0.048	NS
2	1.787	= 1	= 0	0.048	NS
3	2.095	= 1	= 0	0.100	NS
4	1.774	= 1	= 0	-0.007	NS
5	1.723	= 1	= 0	0.108	NS
6	1.768	= 1	= 0	0.125	NS
7	2.002	= 1	= 0	0.110	NS

NS = No significativo

Cuadro 4.20. Correlaciones por rangos de Spearman (1904) entre pares de parámetros, cuando son considerados todos los genotipos en los cuatro peores ambientes del experimento.

	$\bar{x}_p$	s	s <sup>2</sup>	c.v.	wi <sup>2</sup>	$\sigma_i^2$	$\theta_i$	$\theta_{(i)}$	r <sup>2</sup>	bi	s <sup>2</sup> di	$\beta_i$	$\delta_i^2$	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	Vi
$\bar{x}$	0.64	-0.29	-0.29	-0.43	-0.32	-0.14	-0.14	0.14	0	-0.32	-0.21	-0.32	-0.21	0	0	-0.32
$\bar{x}_p$	-----	0.5	0.5	0.25	0.25	0.46	0.46	-0.46	-0.18	0.43	0.19	0.43	0.18	0.58*	0.59*	0.43
s	-----	-----	1**	0.93**	0.5	0.61	0.61	-0.61	0	0.99**	0.32	0.99**	0.32	0.86*	0.86*	0.99**
s <sup>2</sup>	-----	-----	-----	0.93**	0.5	0.61	0.61	-0.61	0	0.99**	0.32	0.99**	0.32	0.86*	0.86*	0.99**
c.v.	-----	-----	-----	-----	0.36	0.43	0.43	-0.43	0.21	0.95**	0.14	0.95**	0.14	0.75*	0.75*	0.95**
wi <sup>2</sup>	-----	-----	-----	-----	-----	0.95**	0.96**	-0.96**	-0.75*	0.47	0.89**	0.47	0.89**	0.21	0.21	0.47
$\sigma_i^2$	-----	-----	-----	-----	-----	-----	1**	-1**	-0.68*	0.58	0.86*	0.58	0.86*	0.39	0.39	0.58
$\theta_i$	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-1**	-0.68*	0.58	0.86*	0.58	0.86*	0.39	0.39	0.58
$\theta_{(i)}$	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	0.58*	-0.58	-0.86*	-0.58	-0.86*	-0.39	-0.39	-0.58
r <sup>2</sup>	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	0.07	-0.89**	0.07	-0.89**	0.29	0.29	0.07
bi	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	0.29	1**	0.29	0.85*	0.85*	1**
s <sup>2</sup> di	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	0.29	1**	0	0	0.29
$\beta_i$	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	0.29	0.85*	0.85*	1**
$\delta_i^2$	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	0	0	0.29
R <sub>2</sub>	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	1**	0.85*
R <sub>1</sub>	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	0.85*
Vi	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

\*= Significativo al 0.05 de probabilidad  
 \*\*= Altamente significativo al 0.01 de probabilidad

Los rangos  $R_1$  y  $R_2$  se correlacionaron positiva y significativamente con la  $s$ ,  $s^2$ , C.V.,  $b_1$  y  $\beta_1$ ; y la correlación entre ambos rangos fue positiva y perfecta  $r=1.0$ . Esto tal vez se debe a que cuando las evaluaciones se hacen en ambientes muy pobres los rangos tienden a ser iguales en su magnitud.

**Situación 6 (Todos los Ambientes del Experimento Menos el Genotipo de Mayor media de Rendimiento)**

Los análisis de varianza para cada localidad mostraron que sólo en las localidades dos y seis se presentaron diferencias significativas entre genotipos; mientras que entre bloques hubo diferencias altamente significativas en las localidades cinco y ocho, y significativas en la localidad tres, como se observa en el Cuadro 9.A.

El análisis de varianza combinado sobre ambientes mostró diferencias altamente significativas en la interacción genotipo-ambiente, repeticiones dentro de ambientes y ambientes, y diferencias significativas entre genotipos (Cuadro 4.21.).

La comparación de medias (DMS  $p < 0.05$ ), mostró que cuando es suprimido el genotipo de mayor media (Eronga 83), la agrupación de genotipos no se modifica grandemente, es

71  
Cuadro 4.21. Análisis de varianza combinado cuando son considerados todos los ambientes, menos el genotipo de mayor media de rendimiento.

F.V.	G.L.	C.M.	F.C.
Ambientes	7	36.547	124.309**
Rep/Amb	16	16.522	107.987**
Genotipos	5	0.869	2.956*
G x A	35	0.294	1.922**
Error	80	0.153	

C. V. = 12.95 %

\* = Significativo al 0.05 de probabilidad

\*\* = Altamente significativo al 0.01 de probabilidad

72  
Cuadro 4.22. Comparación de medias de rendimiento cuando son considerados todos los ambientes menos el genotipo de mejor media .

Genotipo	Identificación	Media (ton/ha)	Significancia
3	AN-6-86	3.241	A
6	AN-14-86	3.186	A
4	AN-9 86	3.124	A
2	AN-4-86	3.054	A B
1	AN-1-86	2.894	B C
5	AN-13 86	2.739	C

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (DMS  $p < 0.05$ ).

decir, continúan en el primer grupo los genotipos tres, seis y cuatro, agregándose en esta situación el genotipo dos, aunque este último no difiera significativamente del segundo grupo de significancia estadística, como aparece en el Cuadro 4.22.

Los parámetros calculados y sus respectivos rangos en esta situación (Cuadro 10.A.) al ser comparados con aquellos de la situación uno (todos los ambientes y todas las variedades) revelaron que sólo  $\theta(i)$ ,  $r^2$ ,  $s^2_{di}$  y  $\delta i^2$ , variaron en sus posiciones relativas.

El método de Shukla (1972) calificó a todos los genotipos como estables, mientras que el de Eberhart y Russell (1966) considera que el genotipo cuatro (AN-9-86) posee mejor respuesta en buenos ambientes y es consistente y el resto de ellos permanece como estable (Cuadro 4.23.).

La correlación por rangos mostró al igual que en las situaciones anteriores que la media de rendimiento no se correlacionó con ningún otro parámetro, excepto con la media ponderada (Cuadro 4.24.) y esta última se correlacionó positiva y significativamente con la  $s$ ,  $s^2$ ,  $b_i$ ,  $\beta_i$  y  $V_i$ .

Se presentaron correlaciones perfectas entre  $s$  y  $s^2$ ,  $W_i^2$  con  $\theta_i$  y  $\alpha_i^2$ ;  $\alpha_i^2$  con  $\theta_i$ ;  $b_i$  con  $\beta_i$ ,  $s$ ,  $s^2$  y  $V_i$ ; también entre  $s^2_{di}$  con  $\delta i^2$ ; y correlaciones negativas y

23 Cuadro 4.23. Medias, coeficientes de regresión y desviaciones de regresión de Eberhart y Russell (1966) y varianzas de estabilidad de Shukla (1972) en todos los ambientes menos la variedad de mejor media de rendimiento.

Genotipo	Media (ton/ha)	$b_i$	$S^2_{di}$	$\sigma^2_{i^2}$	
1	2.894	= 1	= 0	0.112	NS
2	3.054	= 1	= 0	0.041	NS
3	3.241	= 1	= 0	0.071	NS
4	3.124	> 1	= 0	0.010	NS
5	2.739	= 1	= 0	0.177	NS
6	3.186	= 1	= 0	0.176	NS

NS = No significativo.

altamente significativas entre  $\theta(i)$  con  $W_i^2$ ,  $\sigma_i^2$  y  $\theta_i$ ; asimismo, hubo correlaciones positivas y altamente significativas entre las desviaciones de regresión con la  $W_i^2$ ,  $\sigma_i^2$  y  $\theta_i$ , mientras que con  $\theta(i)$  fue negativa y altamente significativa.

El  $b_i$  también se correlacionó significativamente con el coeficiente de variación y determinación (C.V. y  $r^2$ ). Este último parámetro se correlacionó positivamente con  $s^2$  y  $s^2$  en forma altamente significativa y con los rangos  $R_1$  y  $R_2$  en forma significativa, lo cual sugiere que el  $r^2$  parece tener cierta asociación con las medidas de dispersión.

Si comparamos estos resultados con aquellos de la situación dos (todos los genotipos menos el mejor ambiente

Cuadro 4.24. Correlaciones por rangos de Spearman (1904) entre pares de parámetros, cuando son considerados todos los ambientes menos el genotipo de mayor media de rendimiento.

	$\bar{X}_p$	s	s <sup>2</sup>	c.v.	wi <sup>2</sup>	$\sigma_i^2$	$\theta_i$	$\theta_{(i)}$	r <sup>2</sup>	bi	s <sup>2</sup> di	$\beta_i$	$\delta_i^2$	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	Vi
$\bar{X}$	0.94**	0.66	0.66	0.14	-0.37	-0.37	-0.37	0.26	0.6	0.66	-0.46	0.66	-0.46	0.09	0.26	0.66
$\bar{X}_p$		0.83*	0.83*	0.43	-0.26	-0.26	-0.26	0.12	0.71	0.83*	-0.38	0.83*	-0.38	0.37	0.43	0.83*
s			1**	0.83*	-0.43	-0.43	-0.43	0.29	0.94**	1**	-0.55	1**	0.55	0.77*	0.77*	1**
s <sup>2</sup>				0.83*	-0.43	-0.43	-0.43	0.29	0.94**	1**	-0.55	1**	0.55	0.77*	0.77*	1**
c.v.					-0.2	-0.2	-0.2	0.09	0.77*	0.83*	-0.29	0.83*	-0.29	0.94**	0.77*	0.83*
wi <sup>2</sup>						1**	1**	0.44**	-0.66	-0.43	0.99**	-0.43	0.99**	0.09	-0.37	-0.43
$\sigma_i^2$							1**	0.44**	-0.66	-0.43	0.99**	-0.43	0.99**	0.09	-0.37	-0.43
$\theta_i$								0.44**	-0.66	-0.43	0.99**	-0.43	0.99**	0.09	-0.37	-0.43
$\theta_{(i)}$									0.55	0.29	-0.96**	0.29	-0.96**	0	0.32	0.29
r <sup>2</sup>										0.94**	-0.75	0.94**	-0.75	0.71	0.83*	0.94**
bi											-0.55	1**	0.55	0.77*	0.77*	1**
s <sup>2</sup> di												-0.55	1**	0.7	-0.49	-0.55
$\beta_i$													-0.55	0.77*	0.77*	1**
$\delta_i^2$														-0.2	-0.49	-0.55
R <sub>1</sub>															0.84**	0.77*
R <sub>2</sub>																0.77*
Vi																

\*= Significativo al 0.05 de probabilidad  
 \*\*= Altamente significativo al 0.01 de probabilidad.

del experimento), veremos que tienen un patrón muy similar, excepto que en la presente se pierden algunas correlaciones con los rangos  $R_1$  y  $R_2$ .

#### **Situación 7 (Todos los Ambientes del Experimento menos el Genotipo de Peor Media de Rendimiento)**

Los análisis de varianza para cada localidad mostraron que en las localidades tres y cinco hubo diferencias significativas entre bloques y altamente significativas en la localidad ocho. En cuanto a genotipos sólo en la localidad dos se detectaron diferencias altamente significativas, permaneciendo en las demás localidades en forma no significativa (Cuadro 11.A.).

El análisis de varianza combinado, mostró diferencias altamente significativas entre ambientes y repeticiones dentro de ambientes, mientras que en la interacción genotipo-ambiente sólo hubo diferencias significativas; no se detectaron diferencias significativas entre los genotipos (Cuadro 4.25.).

Cuando el genotipo de menor media es suprimido, la prueba de rango múltiple (DMS  $p < 0.10$ ), muestra al igual que la anterior, que el primer grupo de significancia estadística (formado por los genotipos siete, tres, cinco y cuatro), se mantiene, aunque en esta ocasión sólo los

Cuadro 4.25. Análisis de varianza combinado cuando son considerados todos los ambientes, menos el genotipo de peor media del experimento.

F.V.	G.L.	C.M.	F.C.
Ambientes	7	38.702	143.874**
Rep/Amb	16	17.506	117.490**
Genotipos	5	0.430	1.598 <sup>NS</sup>
G x A	35	0.269	1.805*
Error	80	0.149	

C. V. = 12.36 %

\* = Significativo al 0.05 de probabilidad

\*\* = Altamente significativo al 0.01 de probabilidad

Cuadro 4.26. Comparación de medias de rendimiento cuando son considerados todos los ambientes menos el genotipo de peor media.

Genotipo	Identificación	Media (ton/ha)	Significancia
7	ERONGA 83	3.243	A
3	AN-6-86	3.241	A
6	AN-14-86	3.186	A B
4	AN-9-86	3.124	A B
2	AN-4-86	3.054	B C
1	AN-1-86	2.894	C

Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (DMS  $p < 0.10$ ).

genotipos siete y tres son significativamente diferentes del genotipo uno, que en este caso mostró la menor media de rendimiento, quedando incluido en el tercer grupo de significancia (Cuadro 4.26.).

Los parámetros y sus rangos se muestran en el Cuadro 12.A. el cual comparado con aquel de la situación uno muestra diferencias en la posición relativa de sus rangos sólo en los parámetros que particionan la interacción genotipo-ambiente y las desviaciones de regresión.

El método de Shukla (1972) continúa calificando a todos los genotipos como estables, mientras que el de Eberhart y Russell (1966) considera al genotipo siete (testigo comercial) como inconsistente y al genotipo cuatro (AN-9-86) como de mejor respuesta en buenos ambientes y consistente, según aparece en el Cuadro 4.27.

Los coeficientes de correlación por rangos (Cuadro 4.28.) muestran que la media sólo se correlacionó con la media ponderada, mientras que esta última perdió las correlaciones que había mantenido con la  $s$ ,  $s^2$  y el  $b_i$  (igual sucedió cuando se suprimió el peor ambiente), pero se siguieron conservando las correlaciones positivas y perfectas que se habían observado entre  $s$  y  $s^2$ ;  $W_i^2$  con  $\theta_i$  y  $\sigma_i^2$ ;  $\sigma_i^2$  con  $\theta_i$ ;  $b_i$  con  $\beta_i$  y  $V_i$ , y entre  $s^2 d_i$  con  $\delta_i^2$ ; y perfectas y negativas entre  $\theta_i$  con  $W_i^2$ ,  $\sigma_i^2$  y  $\theta_i$ .

Cuadro 4.27. Medias, coeficientes de regresión y desviaciones de regresión de Eberhart y Russell (1966) y varianzas de estabilidad de Shukla (1972) en todos los ambientes menos el genotipo de peor media de rendimiento.

Genotipo	Media (ton/ha)	$b_i$	$S^2_{di}$	$\sigma^2_i$	
1	2.894	= 1	= 0	0.165	NS
2	3.054	= 1	= 0	0.039	NS
3	3.241	= 1	= 0	0.084	NS
4	3.124	> 1	= 0	0.001	NS
6	3.186	= 1	= 0	0.122	NS
7	3.243	= 1	> 0	0.128	NS

NS = No significativo.

El coeficiente de determinación tuvo correlaciones negativas y altamente significativas con  $W_i^2$ ,  $\alpha_i^2$  y  $\theta_i$ ; mientras con las desviaciones de regresión fueron del mismo signo pero significativas. Las desviaciones de regresión también se correlacionaron en forma positiva y altamente significativa con  $W_i^2$ ,  $\alpha_i^2$  y  $\theta_i$ ; mientras que con  $\theta(\omega)$  fueron de igual significancia pero negativas.

El rango  $R_1$  se correlacionó positiva y significativamente con la  $s$ ,  $s^2$  y el C.V., mientras que la correlación mostrada entre los rangos  $R_1$  y  $R_2$  en las situaciones anteriores, no se presentó; este último parámetro ( $R_2$ ), no se correlacionó con ningún otro en forma significativa.

Cuadro 4.28. Correlaciones por rangos de Spearman (1904) entre pares de parámetros, cuando son considerados todos los ambientes menos el genotipo de peor media de rendimiento.

	$\bar{X}_p$	s	s <sup>2</sup>	c.v.	wi <sup>2</sup>	$\sigma_i^2$	$\theta_i$	$\theta_{(i)}$	r <sup>2</sup>	bi	s <sup>2</sup> di	$\beta_i$	$\delta_i^2$	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	Vi
$\bar{X}$	0.81*	0.37	0.37	-0.09	0.03	0.03	0.03	-0.03	-0.09	0.14	0.31	0.14	0.31	0.31	0.6	0.14
$\bar{X}_p$		0.71	0.71	0.37	0.03	0.03	0.03	-0.03	0.09	0.54	0.26	0.54	0.26	0.66	0.6	0.54
s				1** 0.89*	-0.37	-0.37	-0.37	0.37	0.6	0.94**	-0.2	0.94**	-0.2	0.89*	0.77*	0.94**
s <sup>2</sup>					0.89*	-0.37	-0.37	0.37	0.6	0.94**	-0.2	0.94**	-0.2	0.89*	0.77*	0.94**
c.v.						-0.37	-0.37	-0.37	0.6	0.94**	-0.2	0.94**	-0.2	0.89*	0.77*	0.94**
wi <sup>2</sup>							1**	1**	-1** 0.9**	-0.54	0.94**	-0.54	0.94**	0.03	-0.26	-0.54
$\sigma_i^2$								1**	1** 0.9**	-0.54	0.94**	-0.54	0.94**	0.03	-0.26	-0.54
$\theta_i$									1** 0.9**	-0.54	0.94**	-0.54	0.94**	0.03	-0.26	-0.54
$\theta_{(i)}$										0.9**	0.54	-0.94**	0.54	-0.94**	0.03	0.26
r <sup>2</sup>											0.77*	-0.89*	0.77*	-0.89*	0.26	0.37
bi												-0.43	1** -0.43	0.77*	0.6	1**
s <sup>2</sup> di													-0.43	1** 0.2	0.03	-0.43
$\beta_i$														-0.43	0.77*	0.6
$\delta_i^2$															0.2	0.03
R <sub>1</sub>																0.77*
R <sub>2</sub>																
Vi																0.6

\*= Significativo al 0.05 de probabilidad  
 \*\*= Altamente significativo al 0.01 de probabilidad

### Todas las Situaciones Marcadas en el Experimento

El Cuadro 4.29. muestra la repetibilidad de las correlaciones entre pares de parámetros a través de las siete situaciones planteadas en el presente trabajo, lo cual nos da una idea de que tan persistente es la correlación encontrada cuando son modificados el número de ambientes y variedades que intervienen en el ensayo.

Se observa por ejemplo que la correlación guardada entre la desviación estándar y la varianza es perfecta, ya que aparecen correlacionadas en todas las situaciones planteadas con un valor de  $r=1.0$  (lo cual era de esperarse puesto que la varianza es el cuadrado de la desviación estándar).

De manera similar se comportaron las correlaciones entre el C.V. con la  $s$ ,  $s^2$ ,  $b_i$ ,  $\beta_i$  y  $V_i$ ; así como las guardadas entre  $W_i^2$  con  $\theta_i$ ,  $\theta(i)$  y  $\alpha_i^2$ ; así también las de  $\alpha_i^2$  con  $\theta_i$  y  $\theta(i)$ ; además de la de  $\theta_i$  con  $\theta(i)$ . Confirmando así lo reportado por Kang y Miller (1984) en el sentido de que  $W_i^2$  es equivalente a  $\alpha_i^2$ , y que  $\theta_i$  y  $\alpha_i^2$  están bien correlacionados.

También de esta manera se comportaron las correlaciones guardadas entre  $b_i$  y  $\beta_i$ , y las de  $s^2 d_i$  con  $\delta_i^2$ , reafirmando lo reportado por Lin et al. (1986) en el

Cuadro 4.29. Repetibilidad de las correlaciones entre pares de parámetros, a través de las siete situaciones planteadas en el experimento.

21

	$\bar{X}_p$	$s^2$	c.v.	$w_i^2$	$\sigma_i^2$	$\theta_i$	$\theta_{(i)}$	$r^2$	$b_i$	$s^2_{di}$	$\beta_i$	$\delta_i^2$	$R_1$	$R_2$	$V_i$
$\bar{X}$	5	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1
$\bar{X}_p$	-----	3	0	0	0	0	0	0	3	0	3	0	1	1	3
$s^2$	-----	7	7	0	0	0	0	3	6	0	6	0	4	3	7
$s^2$	-----	-----	7	0	0	0	0	3	6	0	6	0	5	3	7
c.v.	-----	-----	-----	0	0	0	0	0	7	0	7	0	6	3	7
$w_i^2$	-----	-----	-----	-----	7	7	7	3	0	5	0	5	0	0	0
$\sigma_i$	-----	-----	-----	-----	-----	7	7	2	0	5	0	5	0	0	0
$\theta_i$	-----	-----	-----	-----	-----	-----	7	2	0	5	0	5	0	0	0
$\theta_{(i)}$	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	2	0	5	0	5	0	0	0
$r^2$	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	3	4	3	5	0	3	3
$b_i$	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	0	7	0	3	3	7
$s^2_{di}$	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	0	7	0	0	0
$\beta_i$	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	0	3	3	7
$\delta_i$	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	0	0	0
$R_1$	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	5	4
$R_2$	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	3
$V_i$	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

sentido de la equivalencia de  $\beta_i = b_i - 1$ .

Es notable la estrecha correlación guardada entre el  $V_i$  con  $b_i$  y  $\beta_i$ ; lo mismo que la de el C.V. con estos mismos coeficientes; así como entre el C.V. y el  $V_i$  tanto en su significancia como por su repetibilidad; lo cual sugiere que para caracterizar un genotipo en base a su pendiente de regresión podrían utilizarse tanto el C.V. como el  $V_i$ , aunque sería deseable desarrollar un criterio de calificación basada en estos dos parámetros, lo anterior es válido también para los demás parámetros que se correlacionaron perfectamente en todas las situaciones descritas en este trabajo.

También la  $s$  y  $s^2$  se correlacionaron bien con el  $b_i$  en casi todas las situaciones, y en todas ellas con el  $V_i$ , lo cual parece indicar que el  $V_i$  además de la asociación observada con el coeficiente de regresión, también guarda una estrecha relación con medidas de dispersión como son la desviación estándar y la varianza.

Además las desviaciones de regresión ( $s^2_{di}$  y  $\delta_i^2$ ), mostraron buena correlación en todas las situaciones del experimento con la  $W_i^2$ ,  $\alpha_i^2$ ,  $\theta_i$  y  $\theta(\omega)$ ; coincidiendo lo anterior con lo reportado por Langer et al. (1979); Vega (1984) y Luthra y Singh (1974), en este sentido.

En cuanto a la controversia que se ha mantenido hace

tiempo respecto a que el método de Sukla (1972) es mejor que el de Eberhart y Russell (1966) en este estudio se observó que el método de Shukla falló en la detección de genotipos inestables, dado que en los análisis de varianza combinados (Cuadros 4.1, 4.5, 4.9, 4.17, 4.21, y 4.25), donde se presentó significancia en la interacción genotipo-ambiente, el método de Eberhart y Russell si calificó algunos genotipos como inestables, mientras que el de Shukla consideró que todos los genotipos eran estables. La única situación en la cual coincidieron los métodos, fue cuando los genotipos se evaluaron en los peores ambientes del experimento, comportándose todos ellos en forma estable, tal como lo indica el análisis de varianza para dicha situación en la fuente de variación genotipos por ambientes.

Además la evidencia obtenida en las diversas situaciones aquí planteadas, sugiere que si bien es cierto que la calificación de un genotipo en base a su estabilidad por el método de Eberhart y Russell (1966), depende en gran medida de los genotipos incluidos en el experimento, como lo han reportado Knight (1970); Lin *et al.* (1986) y Mead *et al.* (1986); también es posible que cuando un genotipo tiene un comportamiento bien definido como en el caso del genotipo cuatro (AN-9-86), el cual fue calificado en varias situaciones (una, dos, tres, seis y siete) como de mejor respuesta en buenos ambientes; sea mas afectado cuando los ambientes son similares (situaciones cuatro y cinco) que

30

Cuadro 4.30. Valores medios de los parámetros en cada una de las situaciones marcadas y rangos asignados(r).

Parámetro	Situaciones						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
$\bar{x}$	3.069	2.852	3.367	4.287	1.850	3.040	3.124
r	4	2	6	7	1	3	5
$\bar{x}_p$	3.652	3.437	3.763	4.297	2.149	3.624	3.726
r	4	2	6	7	1	3	5
s	1.453	1.419	1.274	0.383	0.888	1.445	1.486
r	6	4	3	1	2	5	7
$s^2$	2.131	2.041	1.642	0.162	0.803	2.112	2.225
r	6	4	3	1	2	5	7
C.V.	47.33	49.66	37.86	9.130	48.25	47.52	47.60
r	3	7	2	1	6	4	5
$W_i^2$	0.601	0.560	0.540	0.210	0.195	0.571	0.523
r	7	5	4	2	1	6	3
$\sigma_i^2$	0.100	0.109	0.105	0.104	0.076	0.098	0.090
r	4	7	6	5	1	3	2
$\theta_i$	0.100	0.109	0.105	0.104	0.076	0.098	0.090
r	4	7	6	5	1	3	2
$\theta(i)$	0.100	0.109	0.105	0.104	0.076	0.098	0.090
r	4	7	6	5	1	3	2
$r^2$	0.968	0.967	0.954	0.529	0.936	0.973	0.972
r	5	4	3	1	2	7	6
$b_i$	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
r	4	4	4	4	4	4	4
$S^2_{di}$	0.029	0.024	0.025	0.053	0.025	0.015	0.017
r	6	3	4.5	7	4.5	1	2
$\beta_i$	0	0	0	0	0	0	0
r	4	4	4	4	4	4	4
$\delta_i^2$	0.074	0.075	0.080	0.103	0.074	0.066	0.067
r	3.5	5	6	7	3.5	1	2
$R_1$	3.729	3.517	3.237	0.873	2.025	3.688	3.761
r	6	4	3	1	2	5	7
$R_2$	3.609	3.462	3.084	0.578	2.025	3.553	3.621
r	6	4	3	1	2	5	7
$V_i$	0.583	0.585	0.395	0.013	0.299	0.584	0.602
r	4	6	3	1	2	5	7
$R_j =$	79.5	78	71.5	58	40	67	77

Cuadro 4.30.....Continuación

De donde obtenemos:

$$X^2_r = \frac{12}{17(7)(8)} [79.5^2 + \dots + 77^2] - 3(17)(8)$$

$$X^2_r = 15.303$$

Si tenemos que  $X^2_{t\alpha}$ ,  $(k-1)gl = 12.592$ , entonces:

Dado que  $X^2_r > X^2_{t\alpha}$ , se rechaza la  $H_0$  de que las situaciones no influyen en los valores medios de los parámetros.

32

Cuadro 4.31. Coeficientes de regresión de los siete genotipos en cuatro sitios de alto rendimiento (H.Y.S.) y cuatro sitios de bajo rendimiento (L.Y.S.), para su calificación en base a la clasificación propuesta por Verma *et al.* (1978).

Genotipo	$b_i$		Descripción
	L.Y.S.	H.Y.S.	
1	= 1	= 1	No se ajustan
2	= 1	= 1	a
3	= 1	= 1	ninguna de las
4	= 1	= 1	situaciones
5	= 1	= 1	descritas por
6	= 1	= 1	Verma <i>et al.</i>
7	= 1	= 1	(1978).

cuando es modificado el número de genotipos en el experimento.

Lo anteriormente expuesto parece confirmarse con la clasificación por rangos de Friedman (1940) realizada a las diversas situaciones planteadas (Cuadro 4.30) la cual indica que existe una mayor reducción en la magnitud de los parámetros, cuando estos son calculados utilizando sólo los mejores o peores ambientes, es decir, cuando los ambientes en forma general, poseen índices del mismo signo.

Esto da lugar a ciertas dudas en la aceptación de la nueva clasificación de los genotipos en base al coeficiente de regresión propuesta por Verma *et al.* (1978) que aparece en el Cuadro 4.31. el cual muestra que cuando son calculados los coeficientes de regresión en sitios de alto y bajo rendimiento, éstos tienden a homogeneizarse (recordar que en los mejores ambientes sólo el genotipo uno fue calificado como inconsistente y el resto de ellos como estables), provocando con ésto una situación no contemplada en la clasificación propuesta por Verma *et al.* (1978) la cual es: cómo calificar aquellas variedades que posean  $b_i=1$  tanto en sitios de alto como de bajo rendimiento?.

## CONCLUSIONES

En base al germoplasma utilizado y las limitaciones de este estudio se llegó a las siguientes conclusiones:

- 1.- La media de rendimiento por la ausencia de correlación con otros parámetros puede ser utilizada como medida complementaria del análisis de estabilidad.
- 2.- El método de Eberhart y Russell (1966) es mas confiable que el de Shukla (1972) y proporciona mas información acerca del comportamiento de los genotipos incluidos en el experimento de que se trata.
- 3.- Cuando se desea calificar genotipos en base a su estabilidad debe procurarse incluir ambientes diferentes (buenos y malos) con el fin de que la caracterización de éstos sea mas confiable.
- 4.- En base a lo anterior una forma confiable de caracterizar genotipos será utilizando la media de rendimiento junto con el coeficiente de regresión y desviaciones de regresión propuestos por Eberhart y Russell (1966).

- 5.- Dada la estrecha asociación del coeficiente de regresión con la desviación estándar, varianza y coeficiente de variación, también podría utilizarse una combinación de la media con alguno de los parámetros antes mencionados para caracterizar genotipos utilizando la clasificación propuesta por Finlay y Wilkinson (1963) aunque es deseable desarrollar antes una forma para cuantificar la pendiente de regresión en base a las tres medidas de dispersión mencionadas anteriormente.
- 6.- La conclusión anterior es válida también para el estadístico  $V_i$  que por su alta repetibilidad y estrecha asociación con el coeficiente de regresión ( $b_i$ ), pudiese utilizarse para tal fin.
- 7.- De los estadísticos que particionan la interacción genotipo-ambiente ( $W_i^2$ ,  $\sigma_i^2$ ,  $\theta_i$  y  $\theta(\omega)$ ), es mas deseable la ecovalencia ( $W_i^2$ ) por su gran facilidad de cálculo.
- 8.- La calificación de genotipos por el método de Verma et al. (1978) puede ser de poca o nula veracidad cuando los sitios en que se evalúan los genotipos poseen índices similares.

## RESUMEN

Los rendimientos de siete genotipos de triticale en ocho ambientes diferentes, fueron usados para comparar 17 parámetros de estabilidad en siete situaciones planteadas en el experimento; dos de las cuales se utilizaron para discernir acerca de la validez de una nueva clasificación de genotipos en base a su pendiente de regresión propuesta por Verma *et al.* (1978).

Los datos de rendimiento de grano en cada localidad fueron analizados bajo el diseño de bloques al azar y los de todas las localidades en un diseño de bloques al azar combinado sobre localidades.

Los resultados indicaron independencia de la media con respecto a los parámetros de estabilidad dentro de los cuales el método de Eberhart y Russell (1966) fue el de mayor eficiencia en la calificación de los genotipos, aunque se encontró evidencia de que ambientes similares tienden a afectar la magnitud relativa de los parámetros, y que tal vez debido a lo anterior la clasificación propuesta por Verma *et al.* (1978) tuvo poca o nula veracidad en su calificación. Cabe destacar una estrecha asociación entre la

desviación de ponderación (propuesta en este trabajo) y el coeficiente de regresión de Eberhart y Russell (1966) así como las mostradas entre la  $s$ ,  $s^2$  y C.V. con el parámetro anteriormente mencionado.

Asimismo se confirmó la equivalencia de  $\beta_i$  y  $b_i$ , también entre  $W_i^2$ ,  $\sigma_i^2$  y  $e$ ; y una equivalencia negativa entre el  $\Theta(i)$  con los tres anteriores parámetros.

## LITERATURA CITADA

- Allard, R.W. and Bradshaw, A.D. 1964. Implications of genotype environment interactions in applied plant breeding. *Crop. Sci.* 4:503-508. United States of America.
- Bacquamo, J.L., Collins, W.W., and A. Jones. 1988. Comparisons of methods of determining stability and adaptation of sweet potato. *Theor. Appl. Genet.* 75:492-497. United States of America.
- Baker, R.J. 1969. Genotype-environment interaction variances in cereal yields in Western Canada. *Can. J. Plant. Sci.* 48:293-298. Canada.
- Bartlett, M.S. 1937. Some examples of statistical methods of research in agriculture and applied biology. *J. Roy. Stat. Soc. Suppl.* 4:137-183. England.
- Bilbro, J.D. and L.L. Ray. 1976. Environmental stability and adaptation of several cotton cultivars. *Crop. Sci.* 1:127-133. United States of America.
- Bradshaw, A.D. 1965. Evolutionary significance of phenotypic plasticity in plants. *Adv. Genet.* 13:115-155. United States of America.
- Brandie, J.E. and F.B.E. McVetty. 1988. Genotype X environment interaction and stability analysis of seed yield of oilseed rape grown in Manitoba. *Can. J. Plant. Sci.* 68:381-388. Canada.

- Byth, D.E., Eisenman, R.L. and I.H. DeLacy. 1976. Two-way pattern analysis of a large data set to evaluate genotype adaptation. *Heredity*. 37:189-201. Edinburg. Great Britain.
- Carballo, C.A., y S.F., Marquez. 1970. Comparación de variedades de maíz de el Bajío y la Mesa Central por su rendimiento y estabilidad. *Agrociencia*. 1:129-146. México.
- Daniel, W.W. 1987. *Bioestadística: Base para el análisis de las ciencias de la salud*. Limusa. México. D.F. México.
- Eagles, H.A., P.N. Hinz and Frey, K.J. 1977. Selection of superior cultivars of oats by using regression coefficients. *Crop. Sci.* 17:101-105. United States of America.
- Easton, H.S. and R.S. Clements. 1973. The interaction of wheat genotypes with a specific factor of the environment. *J. Agric. Sci.* 80:43-52. United States of America.
- Eberhart, S.A. and W.A. Russell. 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop. Sci.* 6:36-40. United States of America.
- 
1969. Yield and stability for a 10-line diallel of single-cross and double-cross maize hybrids. *Crop. Sci.* 9:357-361. United States of America.
- Fatunla, F. and K.J. Frey. 1974. Stability indexes of radiated and nonradiated oat genotypes propagated in bulk populations. *Crop. Sci.* 14:719-724. United

States of America.

Finlay, K.W. and G.N. Wilkinson. 1963. The analysis of adaptation in a plant breeding programme. Australian J. Agr. Res. 14:742-754. Australia.

Francis, T.R. and L.W. Kannenberg. 1978. Yield stability studies in short-season maize. 1. A descriptive method for grouping genotypes. Can. J. Plant. Sci. 58:1029-1034. Canada.

Freeman, G.H. and J.M. Perkins. 1971. Environmental and genotype-environmental components of variability. VIII. Relation between genotypes grown in different environments and measure of these environments. Heredity. 27:15-23. Edinburg. Great Britain.

Frey, K.J. 1972. Stability indexes for isolines of oats (*Avena sativa* L). Crop. Sci. 12:809-812. United States of America.

Friedman, M. 1940. A comparison of alternative test of significance for the problem of m rankings. Annals of Mathematical Statistics. 11:86-92. United States of America.

Hill, J. 1975. Genotype-environment interactions, a challenge for plant breeding. J. Agr. Sci. Cambridge. 83:477-493. United States of America.

Kang, M.S. and J.D. Miller. 1984. Genotype-environment interactions for cane and sugar yield and their implications in sugercane breeding. Crop. Sci. 24:435-440. United States of America.

Knight, R. 1970. The measurement and interpretation of

- genotype-environment interaction. *Euphytica*. 19:225-235. Wageningen. United States of America.
- Langer, I., K.J. Frey and T.B. Bailey. 1978. Production response and stability characteristics of oat cultivars developed in different eras. *Crop. Sci.* 18:938-942. United States of America.
- 
- \_\_\_\_\_. 1979. associations among productivity, production response, and stability indexes in oat varieties. *Euphytica*. 28:17-21. Wageningen. United States of America.
- Lewontin, R.C. 1957. The adaptation of populations to varying environments. *Cold Spring Harbor Symposium on Quant. Biol.* 22:395-408. United States of America.
- Lin, C.S., M.R. Binns and L.P. Lefkovitch. 1986. Stability analysis: where do we stand?. *Crop. Sci.* 26:894-899. United States of America.
- Lozano del R., A.J. 1980. Efectividad de los parámetros de estabilidad en la evaluación y selección de germoplasma de triticale. Tesis M.C. U.A.A.A.N. Saltillo, Coah. México.
- Luthra, O.P. and R. K. Singh. 1974. A comparison of different stability models in wheat. *Theor. Appl. Genet.* 45:143-149. United States of America.
- Mead, R., J. Riley, J. Dear and S.P. Singh. 1986. Stability comparison of intercropping and monocropping systems. *Biometrics.* 42:253-266. United States of America.
- Nguyen, H.T., D.A. Sleper and K.L. Hunt. 1980. Genotype-environment interactions and stability analysis for

- herbage yield of tall fescue synthetics. *Crop. Sci.* 20:221-224. United States of America
- Pacucci, G. and K.J. Frey. 1972. Stability of grain yield in selected mutant oat lines (*Avena sativa* L). *Rad. Bot.* 12:385-397. United States of America.
- Pedersen, A.R., E.H. Everson and J.E. Grafius. 1978. The gene-pool concept as a basis for cultivar selection and recommendation. *Crop. Sci.* 18:883-886. United States of America.
- Perkins, J.M. and J.L. Jinks. 1968. Environmental and genotype-environmental components of variability. III. Multiple lines and crosses. *Heredity.* 23:339-356. Edinburg. Great Britain.
- Pinthus, M.J. 1973. Estimate of genotypic value a proposed method. *Euphytica.* 22:121-123. Wageningen. United States of America.
- Plaisted, R.L. 1960. A shorter method for evaluating the ability of selections to yield consistently over locations. *Am. Potato. J.* 37:166-172. New Jersey. United States of America.
- Plaisted, R.L. and L.C. Peterson. 1959. A technique for evaluating the ability of selections to yield consistently in different locations or seasons. *Am. Potato J.* 36:381-385. United States of America.
- Shukla, G.K. 1972. Some statistical aspects of partitioning genotype-environmental components of variability. *Heredity.* 29:237-245. Edinburg. Great Britain.
- Simmonds, N.W. 1962. Variability in crop plants, its use and conservation. *Biological Reviews.* 37:422-465. United

## States of America.

- Spearman, C. 1904. The proof and measurement of association between two things. *Am. J. of Psychology.* 15:72-101. United States of America.
- Steel, G.D. and J.H. Torrie. 1980. Principles and procedures of statistics. McGraw-Hill, New York. United States of America.
- Tai, G.C.C. 1971. Genotypic stability analysis and its implications to potato regional trails. *Crop. Sci.* 11:184-190. United States of America.
- Vega, U.A. 1984. Comparación de diferentes parámetros de estabilidad del rendimiento en trigo. *Rev. Fac. Agron.* 13:291-309. Maracay, Puerto Rico.
- Verma, M.M., G.S. Chahal and Murty B.R. 1978. Limitations of conventional regression analysis: a proposed modification. *Theor. Appl. Genet.* 53:89-91. United States of America.
- Witcombe, J.R. and W.J. Whittington. 1971. A study of the genotype by environmental interaction shown by germinating seeds of *Brassica napus*. *Heredity.* 26:397-411. Edinburg, Great Britain.
- Wricke, G. 1962. Über eine methode zur erfassung der ökologischen streubreite in feldversuchen. *Z. Pflzücht.* 47:92-96. Germany.
- Yates, F. and W.G. Cochran. 1938. The analysis of groups of experiments. *J. Agr. Sci.* 28:556-580. United States of America.

APENDICE

Cuadro 1.A. Medias de rendimiento por localidad, índices genotípicos, ambientales y media general del experimento.

VARIEDADES	AMBIENTES								SUMA	MEDIA	INDICES GENOTÍPICOS
	1	2	3	4	5	6	7	8			
1	1.65	3.127	4.027	4.233	1.055	1.677	4.566	2.815	23.15	2.894	-0.175
2	1.993	4.222	4.106	4.677	1.011	1.122	4.273	3.023	24.432	3.054	-0.015
3	1.953	3.902	4.537	4.433	1.211	2.155	4.68	3.06	25.931	3.241	0.172
4	1.737	4.125	4.305	4.822	0.905	1.466	4.641	2.989	24.99	3.124	0.055
5	2.153	3.905	3.583	4.511	0.977	1.133	3.613	2.629	21.909	2.739	-0.33
6	1.516	4.638	4.12	4.711	0.911	1.3	4.944	3.345	25.486	3.186	0.117
7	2.441	4.736	4.143	4.711	0.766	1.655	4.347	3.143	25.947	3.243	0.174
SUMA	13.443	28.055	28.825	32.098	6.836	10.503	31.069	21.01		MEDIA GENERAL	
MEDIAS	1.92	4.008	4.113	4.585	0.977	1.501	4.433	3.001		3.059	
INDICES AMBIENTALES	-1.143	0.939	1.043	1.516	-2.092	-1.568	1.369	-0.063			

Cuadro 2A. Cuadrados medios de los análisis de varianza en cada uno de los ocho ambientes considerando los siete genotipos.

CUADROS MEDIOS									
F.V.	G.L.	AMB. I AGS. 87-88	AMB. II E. ZAPATA 86-87	AMB. III NAVIDAD 87-88	AMB. IV ZARAGOZA 87-88	AMB. V NAVIDAD 87	AMB. VI E. ZAPATA 87	AMB VII NAV.86-87	AMB.VIII SN.ISIDRO86-87
Bloques	2	0.583	0.277	1.014**	0.246	0.169**	0.035	0.168	3.157**
Genotipos	6	0.301	1.133**	0.250	0.124	0.058	0.402*	0.543	0.159
Error	12	0.274	0.155	0.140	0.097	0.020	0.126	0.198	0.173
Coefficiente de variación		27.26%	9.82%	9.09%	6.79%	14.47%	23.65%	10.03%	13.86%

\* Significativo al 5% de probabilidad

\*\* Significativo al 1% de probabilidad

Cuadro 3.A. Resultados de la prueba de Bartlett (1937) de homogeneidad de varianzas en cada una de las situaciones planteadas en el experimento.

Situación	$\chi^2_C$	$\chi^2_{Ta. (t-1)gl}$	Hipótesis nula
I	0.909	2.365	Se acepta
II	1.045	2.447	Se acepta
III	0.837	2.447	Se acepta
IV	1.731	3.182	Se acepta
V	0.335	3.182	Se acepta
VI	1.049	2.365	Se acepta
VII	0.677	2.365	Se acepta

Cuadro 4.A. Parámetros estimados y rangos (R) asignados cuando se consideran todos los genotipos en todos los ambientes del experimento.

GENOTIPOS	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
	$\bar{X}$	$\bar{X}_p$	s	s <sup>2</sup>	c.v.	wi <sup>2</sup>	$\sigma_i^2$	$\theta_i$	$\theta_{(i)}$	r <sup>2</sup>	bi	s <sup>2</sup> di	$\beta_i$	$\delta_i^2$	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	Vi			
1	2.89	3.42	1.33	1.76	45.89	0.82	0.14	0.12	0.09	0.94	0.9	0.07	0.1	0.11	3.51	3.18	0.53			
2	3.05	3.66	1.49	2.23	48.94	0.23	0.03	0.07	0.11	0.99	1.04	0.01	0.04	0.03	3.67	3.67	0.6			
3	3.24	3.78	1.34	1.8	41.39	0.52	0.08	0.09	0.1	0.97	0.92	0.03	0.08	0.07	3.47	3.22	0.54			
4	3.12	3.76	1.57	2.46	50.17	0.16	0.01	0.06	0.11	0.99	1.09	0.04	0.09	0.01	3.92	3.92	0.64			
5	2.74	3.23	1.25	1.57	45.74	0.92	0.16	0.13	0.09	0.94	0.85	0.05	0.15	0.1	3.53	3.53	0.5			
6	3.19	3.86	1.69	2.85	52.98	0.89	0.16	0.12	0.09	0.97	1.17	0.04	0.17	0.08	4.03	3.8	0.68			
7	3.24	3.84	1.5	2.25	46.21	0.67	0.11	0.11	0.1	0.96	1.03	0.07	0.03	0.11	3.97	3.94	0.5			

Cuadro 5.A. Parámetros estimados y rangos (R) asignados cuando se consideran todos los genotipos, omitiendo el mejor ambiente del experimento.

GENOTIPOS	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
$\bar{X}$	$\bar{X}_p$	s	s <sup>2</sup>	c.v.	wi <sup>2</sup>	$\sigma_i^2$	$\theta_i$	$\theta_{(i)}$	r <sup>2</sup>	bi	s <sup>2</sup> di	$\beta_i$	$\delta_i^2$	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	Vi		
1	2.7 2	3.23 2	1.31 2	1.72 2	48.47 3	0.79 5	0.15 5	0.13 5	0.1 3	0.99 1	0.91 2	0.09 7	-0.09 2	0.14 7	3.51 4	3.51 4	0.53 2	
2	2.82 3	3.43 3	1.45 4	2.1 4	51.4 5	0.22 2	0.03 2	0.07 2	0.12 6	0.98 6	1.03 4	-0.01 2	0.03 4	0.04 2	3.27 2	3.27 2	0.6 4	
3	3.07 7	3.63 5	1.35 3	1.83 3	44.04 1	0.4 3	0.07 3	0.09 3	0.11 5	0.97 4	0.95 3	0.02 4	-0.05 3	0.07 4	3.47 3	3.47 3	0.56 3	
4	2.88 4	3.52 4	1.52 6	2.32 6	52.83 6	0.12 1	0.01 1	0.07 1	0.13 7	0.99 7	1.09 6	-0.05 1	0.09 6	0.01 1	3.74 5	3.74 6	0.64 6	
5	2.48 1	2.94 1	1.11 1	1.23 1	44.66 2	0.84 6	0.17 6	0.14 6	0.1 2	0.95 3	0.79 1	0.01 3	-0.22 1	0.05 3	2.64 1	2.64 1	0.45 1	
6	2.97 5	3.67 7	1.7 7	2.88 7	57.19 7	0.89 7	0.18 7	0.14 7	0.1 1	0.98 5	1.2 7	0.03 5	0.2 7	0.08 5	4.03 7	4.03 7	0.7 7	
7	3.03 6	3.64 6	1.49 5	2.21 5	49.01 4	0.67 4	0.13 4	0.12 4	0.1 4	0.95 2	1.04 5	0.08 6	0.04 5	0.13 6	3.97 6	3.58 5	0.61 5	

Cuadro 6.A. Parámetros estimados y rangos (R) asignados cuando se consideran todos los genotipos, omitiendo el peor ambiente del experimento.

GENOTIPOS	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	
$\bar{X}$	$\bar{X}_p$	s	s <sup>2</sup>	c.v.	wi <sup>2</sup>	$\sigma_i^2$	$\theta_i$	$\theta_{(i)}$	r <sup>2</sup>	bi	s <sup>2</sup> di	$\beta_i$	$\delta_i^2$	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	Vi				
1	3.16 2	3.52 2	1.19 3	1.41 3	37.66 4	0.75 5	0.15 5	0.12 5	0.1 3	0.92 1	0.91 3	0.08 7	-0.08 3	0.14 7	2.92 2	2.56 2	0.36 3			
2	3.35 3	3.77 3	1.35 5	1.81 5	40.22 5	0.23 2	0.03 2	0.07 2	0.12 6	0.98 5	1.07 5	-0.02 2	0.07 5	0.04 2	3.55 6	3.55 7	0.42 5			
3	3.53 6	3.88 5	1.15 2	1.31 2	32.47 1	0.51 4	0.1 4	0.1 4	0.11 4	0.95 3	0.9 2	0.03 3	-0.01 2	0.08 3	2.73 1	2.28 1	0.35 2			
4	3.44 4	3.88 4	1.39 6	1.93 6	40.36 6	0.14 1	0.01 1	0.07 1	0.12 7	0.99 6	1.11 6	-0.05 1	0.11 6	0.01 1	3.36 4	3.36 4	0.44 6			
5	2.99 1	3.33 1	1.11 1	1.24 1	37.23 3	0.79 6	0.16 6	0.13 6	0.09 2	0.92 1	0.86 1	0.06 6	-0.14 1	0.12 6	3.38 5	3.38 5	0.34 1			
6	3.51 5	3.99 7	1.53 7	2.34 7	48.56 7	0.85 7	0.18 7	0.13 7	0.09 1	0.97 4	1.21 7	0.03 4	0.21 7	0.09 4	3.64 7	3.41 6	0.48 7			
7	3.6 7	3.97 6	1.2 4	1.45 4	33.49 2	0.5 3	0.1 3	0.1 3	0.11 5	0.95 2	0.94 4	0.04 5	-0.06 4	0.09 5	3.08 3	3.06 3	0.37 4			

Cuadro 7.A. Parámetros estimados y rangos (R) asignados cuando se consideran todos los genotipos en los cuatro mejores ambientes del experimento.

GENOTIPOS	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
$\bar{X}$	$\bar{X}_p$	s	s <sup>2</sup>	c.v.	wi <sup>2</sup>	$\sigma_i^2$	$\theta_i$	$\theta_{(i)}$	r <sup>2</sup>	bi	s <sup>2</sup> <sub>di</sub>	$\beta_i$	$\delta_i^2$	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	Vi		
1	3.99 2	4.01 2	0.62 7	0.39 7	15.44 7	0.57 7	0.24 7	0.16 7	0.08 1	0.63 4	1.8 7	0.16 7	0.9 7	0.21 7	1.44 7	1.11 6	0.02 6	
2	4.32 3	4.33 3	0.25 1	0.06 1	5.74 1	0.08 2	0.01 2	0.07 2	0.12 6	0.66 5	0.75 3	-0.02 2	-0.25 3	0.03 2	0.58 1	0.45 3	0.01 2	
3	4.39 4	4.4 4	0.34 4	0.11 4	7.74 5	0.23 3	0.08 3	0.1 3	0.11 5	0.37 3	0.77 4	0.06 3	-0.23 4	0.11 3	0.78 4	0.53 4	0.01 3	
4	4.47 5	4.49 6	0.32 3	0.1 3	7.06 3	0.01 1	-0.02 1	0.05 1	0.12 7	0.99 7	1.17 5	-0.05 1	0.17 5	0 1	0.7 3	0.7 5	0.01 4	
5	3.75 1	3.75 1	0.52 6	0.27 6	13.94 6	0.32 5	0.13 5	0.11 5	0.1 3	0.71 6	1.64 6	0.07 4	0.64 6	0.12 4	1.21 6	1.21 7	0.02 5	
6	4.6 7	4.61 7	0.35 5	0.12 5	7.55 4	0.27 4	0.1 4	0.1 4	0.1 4	0.31 2	0.71 2	0.08 6	-0.29 2	0.13 6	0.82 5	0.07 2	0.01 2	
7	4.48 6	4.49 5	0.29 2	0.08 2	6.44 2	0.4 6	0.17 6	0.13 6	0.09 2	0.02 1	0.16 1	0.07 5	-0.84 1	0.12 5	0.59 2	-0.02 1	0 1	



Cuadro 9.A. Cuadrados medios de los análisis de varianza en cada uno de los ocho ambientes cuando es suprimido el genotipo de mayor media de rendimiento

F.V.	G.L.	CUADRADOS MEDIOS							
		AMB I AGS. 87-88	AMB II E. ZAPATA 86-87	AMB III NAVIDAD 87-88	AMB IV ZARAGOZA 87-88	AMB V NAVIDAD 87	AMB VI E. ZAPATA 87	AMB VII NAV. 86-87	AMB VIII 86 SN. ISIDRO 87
Bloques	2	0.473	0.213	0.680*	0.240	0.189**	0.013	0.272	2.181**
Genotipos	5	0.171	0.989*	0.300	0.138	0.039	0.465*	0.646	0.176
Error	10	0.295	0.185	0.152	0.090	0.020	0.128	0.199	0.152
Coefficiente de variación		29.63%	11.06%	9.48%	6.59%	13.91%	24.23%	10.0%	13.09%

\* Significativo al 5% de probabilidad

\*\* Significativo al 1% de probabilidad

Cuadro 9.A. Cuadrados medios de los análisis de varianza en cada uno de los ocho ambientes cuando es suprimido el genotipo de mayor media de rendimiento

		CUADRADOS MEDIOS							
F.V.	G.L.	AMB I AGS. 87-88	AMB II E. ZAPATA 86-87	AMB III NAVIDAD 87-88	AMB IV ZARAGOZA 87-88	AMB V NAVIDAD 87	AMB VI E. ZAPATA87	AMB VII NAV.86-87	AMB VIII 86 SN. ISIDRO87
Bloques	2	0.473	0.213	0.680*	0.240	0.189**	0.013	0.272	2.181**
Genotipos	5	0.171	0.989*	0.300	0.138	0.039	0.465*	0.646	0.176
Error	10	0.295	0.185	0.152	0.090	0.020	0.128	0.199	0.152
Coefficiente de variación		29.63%	11.06%	9.48%	6.59%	13.91%	24.23%	10.0%	13.09%

\* Significativo al 5% de probabilidad

\*\* Significativo al 1% de probabilidad

Cuadro 10.A. Parámetros estimados y rangos (R) asignados cuando son considerados todos los ambientes menos el genotipo de mayor media de rendimiento.

GENOTIPOS	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R													
$\bar{X}$	$\bar{X}_p$	s	s <sup>2</sup>	c.v.	wi <sup>2</sup>	$\sigma_i^2$	$\theta_i$	$\theta_{(i)}$	r <sup>2</sup>	bi	s <sup>2</sup> di	$\beta_i$	$\delta_i^2$	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	Vi																		
1	2.89	2	3.49	2	1.33	2	1.76	2	45.89	3	0.64	4	0.11	4	0.1	4	0.09	2	0.96	2	0.91	2	0.04	4	-0.09	2	0.09	4	3.51	2	3.18	1	0.53	2
2	3.05	3	3.66	3	1.49	4	2.23	4	46.94	4	0.31	2	0.04	2	0.07	2	0.11	4	0.98	4	1.04	4	-0.01	2	0.04	4	0.05	2	3.67	4	3.67	4	0.61	4
3	3.24	6	3.78	5	1.34	3	1.8	3	41.39	1	0.44	3	0.07	3	0.09	3	0.1	3	0.97	3	0.93	3	0.01	3	-0.07	3	0.06	3	3.47	1	3.22	2	0.54	3
4	3.12	4	3.77	4	1.57	5	2.46	5	50.17	5	0.16	1	0.01	1	0.06	1	0.11	5	1	6	1.1	5	-0.05	1	0.1	5	0	1	3.92	5	3.92	6	0.64	5
5	2.74	1	3.24	1	1.25	1	1.57	1	45.74	2	0.94	6	0.18	6	0.13	6	0.08	1	0.94	1	0.85	1	0.05	5	-0.15	1	0.11	5	3.53	3	3.53	3	0.5	1
6	3.19	5	3.87	6	1.69	6	2.85	6	52.98	6	0.93	5	0.18	5	0.13	5	0.08	1	0.99	5	1.17	6	0.04	4	0.17	6	0.09	4	4.03	6	3.8	5	0.68	6

Cuadro 11.A. Cuadrados medios de los análisis de varianza en cada uno de los ocho ambientes cuando es suprimido el genotipo de menor media de rendimiento.

CUADRADOS MEDIOS									
F.V.	G.L.	AMB I AGS. 87-88	AMB II E.ZAPATA 86-87	AMB III NAVIDAD 87-88	AMB IV ZARAGOZA 87-88	AMB V NAVIDAD 87	AMB VI E.ZAPATA 87	AMB VII NAVIDAD 86-87	AMB VIII SN.ISIDRO86-87
Bloques	2	0.305	0.251	0.704*	0.138	0.131*	0.059	0.309	2.696**
Genotipos	5	0.323	1.014**	0.103	0.145	0.070	0.387	0.175	0.094
Error	10	0.284	0.145	0.152	0.102	0.022	0.140	0.165	0.181
Coefficiente de variación		28.30%	9.23%	9.27%	6.96%	15.28%	23.98%	8.89%	13.90%

\* Significativo al 5% de probabilidad

\*\* Significativo al 1% de probabilidad

Cuadro 12.A. Parámetros estimados y rangos (R) asignados cuando son considerados todos los ambientes menos el genotipo de menor media de rendimiento.

GENOTIPOS	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R													
$\bar{X}$	$\bar{X}_p$	s	s <sup>2</sup>	c.v.	wi <sup>2</sup>	σi <sup>2</sup>	θi	θ <sub>(i)</sub>	r <sup>2</sup>	bi	Sdi <sup>2</sup>	βi	δi <sup>2</sup>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	Vi																		
1	2.89	1	3.42	1	1.33	1	1.76	1	45.89	2	0.87	6	0.16	6	0.12	6	0.07	1	0.95	1	0.88	1	0.06	5	-0.12	1	0.11	5	3.51	2	3.18	1	0.53	1
2	3.05	2	3.66	2	1.49	3	2.23	3	48.94	4	0.28	2	0.04	2	0.07	2	0.1	5	0.98	5	1.01	4	0	2	0.01	4	0.05	2	3.67	3	3.67	3	0.61	4
3	3.24	5	3.78	4	1.34	2	1.8	2	41.39	1	0.5	3	0.08	3	0.09	3	0.09	4	0.97	3	0.9	2	0.01	3	-0.1	2	0.06	3	3.47	1	3.22	2	0.54	2
4	3.12	3	3.78	3	1.57	5	2.46	5	50.17	5	0.1	1	0	1	0.05	1	0.11	6	1	6	1.07	5	-0.04	1	0.07	5	0.01	1	3.92	4	3.92	5	0.64	5
6	3.19	4	3.87	6	1.69	6	2.85	6	52.98	6	0.67	4	0.12	4	0.1	4	0.08	3	0.98	4	1.14	6	0.01	4	0.14	6	0.06	4	4.03	6	3.8	4	0.69	6
7	3.24	6	3.84	5	1.5	4	2.25	4	46.21	3	0.7	5	0.13	5	0.1	5	0.08	2	0.95	2	1	3	0.07	6	0	3	0.12	6	3.97	5	3.95	6	0.6	3

