

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA**

**ANTONIO NARRO**

**DIVISIÓN DE AGRONOMÍA**



**Estudios De Parámetros de Estabilidad en 30 Genotipos de  
Sorgo para Grano [*Sorghum bicolor* (L) Moench.]**

**Por**

**EDIÑO APARICIO SANDOVAL**

**TESIS**

**Presentada Como Requisito Parcial Para Obtener el**

**Título de:**

**INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN**

**Buenavista, Saltillo, Coahuila, México**

**Marzo del 2001**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

**ESTUDIOS DE PARÁMETROS DE ESTABILIDAD DE 30 GENOTIPOS DE  
SORGO PARA GRANO**  
*[Sorghum bicolor (L) Moench.]*

**Por:**

EDIÑO APARICIO SANDOVAL

**TESIS**

QUE SOMETE A CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR COMO

REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

*INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN*

**APROBADA**

EL PRESIDENTE DEL JURADO

---

ING. M.C LUIS ANGEL MUÑOZ ROMERO

---

BIOL. M.C ARMANDO RODRÍGUEZ G.  
VOCAL

---

ING. ALFREDO FERNÁNDEZ G.  
VOCAL

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

---

M.C REYNALDO ALONSO VELASCO

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO.  
MARZO DEL 2001

### **DEDICATORIA**

#### **A DIOS, NUESTRO CREADOR:**

Por darme la dicha de existir en este mundo lleno de aventuras, por ayudarme a encontrar la solución a los problemas, por iluminar mi camino en los momentos difíciles y por brindarme una razón más porque existir.

#### **A MIS PADRES:**

Pablo Aparicio Carreño

Martina Sandoval Sandoval

Por darme la oportunidad de estudiar y brindarme la confianza necesaria en los momentos difíciles para por fin realizar un sueño más.

### **A MIS HERMANOS:**

Ing. Jairzhino Maier

Florisel Idalia

Horacio

Por el gran cariño que siempre hay en la familia y que de una u otra manera me apoyaron para la realización de mi persona como profesional.

### **CON GRAN APRECIO A MI PRIMER SOBRINO:**

Zdenko Aldair

### **A MIS ABUELOS**

Hermelinda Carreño (+)

Blanca Sandoval

De manera especial a **Juan Manuel Arias Cabrera**, por ser participe en mis inicios en el mundo de la agronomía

**A la familia Martínez Casas**, en forma muy especial a Sonia, por su compañía y apoyo incondicional brindado durante mi estancia en la Universidad.

Para **Aidé Araceli Blanco Olivares**, por la compañía y atenciones brindadas durante mi permanencia en Saltillo.

A los compañeros de la generación XC de la especialidad de producción.

## **AGRADECIMIENTOS**

**A mi Alma Mater**, por acogerme en su seno, abriendo sus puertas para aprovechar lo máximo de ella y permitir realizarme como profesional, haciendo realidad un sueño tan anhelado.

**Al Ing. M.C Luis Angel Muñoz Romero**, a quien le hago mi más patente agradecimiento por permitirme realizar este trabajo y por la gran paciencia durante el desarrollo del mismo.

Al **Biol. M.C Armando Rodríguez García**, por ser participe en la realización de este trabajo haciendo las correcciones necesarias, para hacer del presente, un buen trabajo.

Al **Ing. Alfredo Fernández Gaytan**, por participar como jurado calificador.

En forma general a todos aquellos profesores, quienes durante mi formación aportaron sus conocimientos para que me formara como profesionista.

A los compañeros del dormitorio Porfirio No. 20, egresados en las generaciones LXXXVI, LXXXVIII, XC y en la nueva generación a Jaudiel Pliego García, por darme la oportunidad de convivir con ellos.

A la familia Reyes Reyna, por las grandes atenciones brindadas.

A los compañeros de la generación XC encargados del área de Agrotecnia, quienes me facilitaron el acceso para la realización del presente trabajo en menor tiempo.

Para todos aquellos que confiaron en mi y para los que no confiaban,  
brindo lo mejor de este trabajo.

## RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo, detectar híbridos estables con alto rendimiento en las tres localidades, para hacer recomendaciones a los productores para efectuar sus siembras con mejores híbridos y tengan una mayor producción y esta se vea reflejada en mayores ingresos.

En este experimento fueron utilizados 30 híbridos de sorgo, 25 de ellos fueron producidos por el programa de sorgo de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), y 5 son híbridos comerciales. Las localidades fueron Celaya, Guanajuato; Zaragoza, Coahuila y Reynosa, Tamaulipas.

El análisis estadístico utilizado fue el de bloques al azar en cada localidad para detectar significancias en cualquiera de las fuentes de variación.

Por presentar altas significancias los tratamientos se procedió a realizar una prueba de D. M. S (Diferencia Mínima Significativa), para ordenar a los híbridos de acuerdo a su rendimiento y conocer a sus progenitores hembras y machos de aquellos híbridos con más alto rendimiento.

Posteriormente se procedió a realizar un análisis estadístico para estimar



parámetros de estabilidad para conocer el comportamiento de los híbridos en cada uno de los ambientes y así poder clasificarlos.

Los resultados muestran que los mejores rendimientos de los híbridos en Zaragoza. Coah. son: A2 x IA28, AN35 x IA28, DEKALB D-65, AN34 x IA28 y AN39 x IA28. Cabe destacar que en la formación de estos híbridos, a excepción del testigo (DEKALB D-65), interviene en progenitor macho IA28.

En la localidad de Reynosa, Tamps. los mejores materiales fueron: AN39 x IA57 y AN35 x RTX433, superando al mejor testigo que fue MASTER 911.

En Celaya, Gto. los mejores híbrido fueron: A2 x IA28, AN34 x IA28 y IA36 x IA28, se puede observar que nuevamente aparece el progenitor restaurador IA28.

La localidad en donde los híbridos manifestaron su máximo potencial, fue en Celaya, lugar donde se obtuvo la media más alta, y la localidad con menor rendimiento fue Reynosa, Tamps.

Mediante el análisis de los parámetros de estabilidad se detectaron cinco

de seis situaciones posibles, producto de las combinaciones. Siendo los híbridos adaptados a los tres ambientes de prueba y consistentes: AN34 x IA9; AN35 x IA52; A2 x IA57 y A22 x RTX433. Estos materiales presentan un coeficiente de regresión igual a 1.0 ( $b_i = 0$ ).

Los híbridos adaptados a ambientes desfavorables y consistentes fueron: AN39 x IA52, AN39 x RTX433, IA36 x IA52 y A2 x IA9, estos materiales presentan un coeficiente de regresión menor a 1.0 ( $b_i < 1.0$ ), el único híbrido inconsistente correspondió al testigo MATER 911.

Dentro de los híbridos adaptados a ambientes favorables se encontraron los siguientes: AN34 x IA52, AN34 x IA52, MARFIL, A2 x IA28. Estos híbridos presentan un coeficiente de regresión mayor a 1.0 ( $b_i > 1.0$ ).

## INDICE

I.	Dedicatoria	I
II.	Agradecimientos	III
III.	Índice de contenido	V
IV.	Índice de cuadros	VI
	Índice de figuras	VIII
	Resumen	X
1.	Introducción	1
2.	Revisión de literatura	4
	Parámetros de estabilidad	4
	Adaptabilidad	18
	Interacción genotipo - medio ambiente	19
3.	Materiales y métodos	25
	Material genético	25
	Localidades	26
	Procedimiento experimental	28
	Toma de datos	28
	Análisis estadístico	29
4.	Resultados y discusión	36
5.	Conclusiones	53
		63

7.	Citas Bibliográficas	
8.	Apéndice	68

### INDICE DE CUADROS

Cuadro No.		Pag.
3.1	Análisis de varianza individual para el diseño bloques al azar.	30
3.2	Análisis de varianza para estimar parámetros de estabilidad.	34
3.3	Clasificación de ambientes para parámetros de estabilidad.	35
4.1	Análisis de varianza individual para la localidad de Zaragoza, Coah.	37
4.2	Análisis de varianza individual para la localidad de Reynosa, Tamps	37
4.3	Análisis de varianza individual para la localidad de Celaya, Gto.	38
4.4	Prueba de DMS y significancias en la variable rendimiento de 30 híbridos de sorgo evaluados en	40

Zaragoza, Coah.

4.5	Prueba de DMS y significancias en la variable rendimiento de 30 híbridos de sorgo evaluados en Reynosa Tamps.	41
4.6	Prueba de DMS y significancias en la variable rendimiento de 30 híbridos de sorgo evaluados en Celaya, Gto.	43
4.7	Medias de rendimiento por hectárea de sorgo grano evaluados en tres localidades e índices ambientales de 30 híbridos de sorgo.	44
4.8	Análisis de varianza para estimar los parámetros de estabilidad de 30 híbridos de sorgo evaluados en tres ambientes para la característica rendimiento por hectárea.	49
4.9	Rendimiento medio y parámetros de estabilidad.	50
4.10	Clasificación, según Carballo (1970) en la característica rendimiento por hectárea para los 30 híbridos estudiados.	51
4.11	Relación entre rendimiento medio observado y rendimiento medio predicho en cada ambiente	52

## INDICE DE FIGURAS

Fig. No.		Pág.
4.1	Líneas de regresión de la característica rendimiento de grano e índices ambientales de híbridos de sorgo estables.	55
4.2	Líneas de regresión de la característica rendimiento de grano e índices ambientales de híbridos de sorgo con buena respuesta en todos los ambientes, pero inconsistentes.	56
4.3	Líneas de regresión de la característica rendimiento de grano e índices ambientales de híbridos de sorgo con buena respuesta en todos los ambientes, pero inconsistentes.	57

4.4	Líneas de regresión de la característica rendimiento de grano e índices ambientales de híbridos de sorgo con buena respuesta en todos los ambientes, pero inconsistentes.	58
4.5	Líneas de regresión de la característica rendimiento de grano e índices ambientales de híbridos de sorgo con buena respuesta en todos los ambientes, pero inconsistentes.	59
4.6	Líneas de regresión de la característica rendimiento de grano e índices ambientales de híbridos de sorgo que responden mejor en ambientes desfavorables y consistentes.	60
4.7	Líneas de regresión de la característica rendimiento de grano e índices ambientales de híbridos de sorgo que responden mejor a ambientes desfavorables pero inconsistentes.	61
4.8	Líneas de regresión de la característica rendimiento de grano e índices ambientales de híbridos de sorgo que responden mejor a ambientes favorables y consistentes.	62

## RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo, detectar híbridos estables con alto rendimiento en tres localidades, para poder hacer recomendaciones a los productores para que estos efectúen sus siembras con mejores híbridos y tengan una mayor producción y se vea reflejada en mayores ingresos



económicos.

En este experimento fueron utilizados 30 híbridos de sorgo, 25 de ellos fueron producidos por el programa de sorgo de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), y 5 pertenecen a diferentes casas comerciales productoras de híbridos. Las localidades utilizadas fueron Celaya, Guanajuato; Zaragoza, Coahuila y Reynosa, Tamaulipas.

El análisis estadístico utilizado fue de bloques al azar para cada localidad lo que nos permitió detectar diferencias significativas entre los tratamientos

Los ANVA que presentarán diferencias significativas se procedió a realizar una prueba de D. M. S (Diferencia Mínima Significativa), para ordenar los híbridos de acuerdo a su rendimiento y conocer a sus progenitores femeninos y masculinos.

Posteriormente se procedió a realizar un análisis estadístico para estimar parámetros de estabilidad con la finalidad de conocer el comportamiento de los híbridos en cada uno de los ambientes donde fueron evaluados y así poder clasificarlos.

Los resultados muestran que los mejores rendimientos de los híbridos en Zaragoza. Coah. son: A2 x IA28, AN35 x IA28, DEKALB D-65, AN34 x IA28 y AN39 x IA28. Cabe destacar que en la formación de estos híbridos, a excepción del testigo (DEKALB D-65), interviene en progenitor macho IA28.

En la localidad de Reynosa, Tamps. los mejores materiales fueron: AN39 x IA57 y AN35 x RTX433, superando al mejor testigo que fue MASTER 911.

En Celaya, Gto. los mejores híbrido fueron: A2 x IA28, AN34 x IA28 y IA36 x IA28, se puede observar que nuevamente aparece el progenitor restaurador IA28.

La localidad en donde los híbridos manifestaron su máximo potencial, fue en Celaya, lugar donde se obtuvo la media más alta, y la localidad con menor rendimiento fue Reynosa, Tamps.

Mediante el análisis de los parámetros de estabilidad se detectaron cinco de seis situaciones posibles, producto de las combinaciones. Siendo los

híbridos adaptados a los tres ambientes de prueba y consistentes: AN34 x IA9; AN35 x IA52, A2 x IA57 y A22 x RTX433. Estos materiales presentan un coeficiente de regresión igual a 1.0 ( $b_i = 0$ ).

Los híbridos adaptados a ambientes desfavorables y consistentes fueron: AN39 x IA52, AN39 x RTX433, IA36 x IA52 y A2 x IA9, estos materiales presentan un coeficiente de regresión menor a 1.0 ( $b_i < 1.0$ ), el único híbrido inconsistente correspondió al testigo MASTER 911.

Dentro de los híbridos adaptados a ambientes favorables se encontraron los siguientes: AN34 x IA52, AN34 x IA52, MARFIL, A2 x IA28. Estos híbridos presentan un coeficiente de regresión mayor a 1.0 ( $b_i > 1.0$ ).

## INTRODUCCIÓN

El sorgo es uno de los cinco cereales de mayor importancia a nivel mundial, debido a que es un grano que interviene en la dieta alimenticia de muchos países de Africa y Asia, además de utilizarse en la alimentación de los animales y para uso industrial. Sus características de adaptación a condiciones adversas de precipitación lo hacen más valioso para aquellas áreas conocidas como trópicos semiáridos.

El cultivo de sorgo para grano ocupa el tercer lugar en área sembrada a nivel nacional con 589 mil hectáreas; por producción total es el segundo cultivo con 1.7 millones de toneladas, siendo superado únicamente por el maíz. En los últimos siete años no se ha satisfecho la demanda de este cereal, teniéndose que importar anualmente un promedio de 1.088 millones de toneladas, que equivale a un 64% de la producción nacional.

En México, el sorgo se siembra bajo condiciones de riego teniendo un porcentaje del 30% de la superficie total y de temporal un 70%, lo cual indica la gran importancia

socioeconómica que representa este cultivo para regiones de escasa precipitación.

Además de los altos rendimientos de los materiales seleccionados, al fitomejorador le interesa obtener información sobre la estabilidad de esas selecciones en diferentes ambientes para poder recomendar aquellos cultivares que posean un comportamiento consistente.

La estabilidad es el comportamiento de un genotipo y depende de su contribución relativa a la interacción genotipo-ambiente, cuando se le compara en un ensayo de evaluación con otros genotipos en varios ambientes.

Dos han sido los enfoques dados al estudio y medición de la estabilidad en el comportamiento; primeramente, surgen los métodos que se ubican en la estadística paramétrica y posteriormente aparecen los no paramétricos. Entre los dos enfoques, el paramétrico ha recibido mayor atención y ha sido de amplio uso en la práctica del fitomejoramiento genético de las plantas. Dentro de la técnica de la regresión se ubican la mayoría de los métodos paramétricos propuestos para medir y discriminar la estabilidad.

## **OBJETIVOS**

1. Estimación de los parámetros que permitan evaluar la estabilidad del rendimiento de los híbridos producidos por el programa de sorgo de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) y cinco híbridos comerciales.
2. Clasificar los híbridos según su potencial de rendimiento en cada una de las áreas experimentales, en base a los valores de sus parámetros de estabilidad.
3. Seleccionar híbridos estables que muestren un alto rendimiento.
4. Predecir el comportamiento en rendimiento de cada híbrido en cada una de las áreas de estudio.

## **HIPOTESIS**

1. Los híbridos producidos por el programa de sorgo de la UAAAN y los híbridos comerciales presentan diferentes parámetros de estabilidad.
2. Los híbridos evaluados manifiestan diferentes valores de estabilidad en cuanto a su rendimiento en las áreas evaluadas.
3. Se pueden seleccionar híbridos estables con alto rendimiento.
4. Se puede predecir el rendimiento de los híbridos evaluados.

## REVISIÓN DE LITERATURA

### Parámetros de estabilidad

Un híbrido estable es aquel que interacciona menos con el medio ambiente y no cambia su comportamiento por influencia de los factores de los ambientes en los cuales se está probando. El híbrido que reúna estas características y posea un alto rendimiento será un híbrido deseable.

Castellon (1976), menciona que los parámetros de estabilidad permiten predecir tendencias de respuesta con mayor seguridad que la media varietal por sí sola. También indica que dichos parámetros pueden auxiliar al investigador en la decisión de modificar o abandonar determinados sistemas de selección y concluye que uno a dos años de evaluación bastan si se aumentan los sitios de observación para definir con mayor precisión las variedades específicas para determinados ambientes.

Márquez (1974), menciona que algo estable es aquello que no cambia a través del tiempo y del espacio.

Bradshaw (1965), al estudiar la estabilidad de los caracteres, conjunta información que revela que el grado de estabilidad varía de un genotipo a otro, de donde infiere que está gobernada genéticamente y por lo tanto, puede ser factible aplicar la selección para conseguirla.

Chávez (1977), Estudio las correlaciones entre estimadores de estabilidad de 23



genotipos evaluados en ambientes bajo dos criterios de agrupamiento, considerando en primer termino al grupo de ambientes no discriminados que incluía al total de ambientes y la formación de tres grupos aleatorios dentro del total considerado. Encontró correlaciones altas y positivas entre la media y los  $B_i$ , entre los diferentes grupos, lo cual indica una repetitividad alta y posiblemente estos dos estimadores dependan del mismo control genético, en tanto que los valores de correlación de la media y  $B_i$  con las  $S^2_{di}$  fueron bajas y en ciertos casos con valores negativos altos lo cual indica no repetibilidad y que la respuesta a la estabilidad puede tener un control genético diferente de los otros dos estimadores.

Rowe y Andrew (1964), determinaron la estabilidad fenotípica para líneas de maíz y generaciones derivadas de ellas, obteniendo que las diferencias en estabilidad entre grupos genotípicos fueron asociados con diferencias de capacidad para explotar ambientes favorables. Los grupos más vigorosos heterocigotes fueron capaces de alto comportamiento bajo condiciones favorables y fueron desproporcionalmente reducidos en ambientes desfavorables.

El análisis de regresión mostró que los grupos segregantes fueron más estables en comportamiento que los grupos de líneas o híbridos. La varianza para desviaciones de regresión y la estimación de los componentes de varianza variedad x ambiente, indicaron que la estabilidad superior en las diversas poblaciones segregantes pueden ser debidas a interacciones de compensación de individuos dentro de estos grupos de variedades.

Scott (1967), realizó un estudio para determinar si las selecciones de líneas de maíz difieren por estabilidad de rendimiento cuando crecen en un número de ambientes. Menciona que antes de la selección de un carácter debe ser definido de alguna manera que facilite su medida; un híbrido seleccionado por estabilidad fue definido como:

- 1) El híbrido que exhiba la menor variación del rendimiento sobre todos los ambientes probados.
- 2) Un híbrido que no cambie su comportamiento en relación con otras variedades probadas en muchos ambientes.

Los resultados indicaron que la selección por estabilidad fue intensamente efectiva, lo cual sugiere que este carácter está bajo control genético.

Puente (1983), al evaluar líneas de sorgo en forma per-se para estabilidad de rendimiento, detectó materiales con baja estabilidad y alto rendimiento, a la vez que otros genotipos mostraron alta estabilidad y bajos rendimientos; por lo cual concluye que tanto la estabilidad como el rendimiento son características controladas por genes independientes, pudiéndose combinar ambas características por medio de cruzamiento en un genotipo determinado.

Finlay y Wilkinson (1963), considerando como índices, el coeficiente de regresión y el rendimiento de la variedad sobre ambientes, estimaron la estabilidad de materiales de cebada. Para cada uno de los materiales, se obtuvo una regresión lineal del rendimiento sobre la media en cada localidad y estación. Se observó que la relación entre el comportamiento de diversos genotipos en diferentes ambientes, por lo regular

es lineal, o bien, casi lineal. A la vez efectuaron una regresión del rendimiento sobre el índice ambiental, por lo que en función del rendimiento medio y un coeficiente de regresión, se determinó la adaptación de los materiales. Las variedades de adaptación general dependen de un coeficiente de regresión igual a 1.0, las cuales tienen los más altos promedios de rendimiento; los coeficientes de regresión que incrementan su valor por encima de 1.0, identifican materiales de alta sensibilidad a cambios ambientales, así como una amplia aceptación específica a ambientes favorables; coeficientes de regresión inferiores a 1.0 detectan variedades más estables bajo condiciones específicas de adaptación a ambientes desfavorables.

Carballo y Márquez (1970), clasifican a las variedades de acuerdo a los parámetros de estabilidad propuestos por Eberhart y Russell (1966); sin embargo estos autores proponen seis opciones probables para dicha clasificación.

El modelo para la interpretación del valor de los parámetros de estabilidad es el siguiente:

Valor del coeficiente de regresión ( $b_i$ )	Valor de las desviaciones de regresión ( $S^2 d_i$ )	Descripción
$b_i = 1.0$	$S^2 d_i = 0$	Variedad estable
$b_i = 1.0$	$S^2 d_i > 0$	Buena respuesta a todos los ambientes, pero inconsistente
$b_i < 1.0$	$S^2 d_i > 0$	Responde mejor a ambientes desfavorables y

		consistente
$b_i < 1.0$	$S^2 d_i = 0$	Responde mejor a ambientes desfavorables pero inconsistente
$b_i > 1.0$	$S^2 d = 0$	Responde mejor en ambientes favorables y consistente
$b_i > 1.0$	$S^2 d_i > 0$	Responde mejor en ambientes favorables pero inconsistente

---

Eberhart y Russell (1966), propusieron un modelo para estimar parámetros de estabilidad, mismo que permite conocer en forma segura el comportamiento de un genotipo bajo diferentes condiciones ambientales, el modelo es el siguiente:

$$Y_{ij} = M_i + B_{ij} + S_{ij}$$

Donde:

$Y_i$  = Media de la i-variedad en el j ambiente

$M_i$  = El comportamiento promedio de la i-variedad en todos los ambientes

$B_i$  = El coeficiente de regresión que mide la respuesta de la i-variedad en el j – ambiente

$ij$  = El índice ambiental obtenido con la media de todas las variedades

en el  $j$  - ambiente, menos la media general

$S_i$  = Desviación de regresión de la  $i$ -ésima variedad en el  $i$ -ésimo ambiente

Carballo (1970), en maíz encontró que la selección y recomendación de variedades para la zona del bajío es efectiva y realmente abarca esa amplitud de adaptación, sugiere que complementando el método utilizado integrando en un solo índice el rendimiento promedio y los parámetros de estabilidad, sería mucho más fácil la identificación de materiales.

Jowett (1972), al evaluar cruzas simples y triples de sorgo y calcular parámetros de estabilidad en los híbridos; indicó que en función de coeficientes de regresión, las cruzas simples y triples difieren entre sí. Por otro lado, parece ser que las cruzas triples son más estables que las cruzas simples con relación a las desviaciones de regresión, lo cual no es muy seguro.

Jensen (1952), reportó que las multilíneas de avena comparadas con variedades y/o líneas puras podrían poseer mayor estabilidad en la producción, mayor aceptación a diferentes ambientes y mayor protección contra enfermedades.

Palomo y Molina (1975), estimando parámetros de estabilidad para rendimiento en seis grupos de variedades de algodón en la Comarca Lagunera, encontraron las mejores variedades con aceptación a ambientes ricos y ambientes pobres, así como mejores con resistencia a *Verticillium* spp.

Plaisted y Peterson (1959), presentaron un método para analizar el comportamiento de la estabilidad del rendimiento cuando diversas variedades son probadas en un número de localidades dentro de un año. El procedimiento consiste en análisis combinados de varianza para todas las variedades y de resultar significativa la estimación variedad x localidad, se hace también para todas las combinaciones de pares de variedades, para las que, además se obtiene una estimación de la varianza variedad x localidad y posteriormente un promedio de dichas estimaciones para todos los pares teniendo una variedad en común. Considerando como variedad estable a la que contribuye con un valor promedio pequeño a la interacción variedad x localidad.

Sood (1989), estudio catorce variedades de Vigna mungo, con parámetros de estabilidad. Con respecto a rendimiento y maduración genotipo x ambiente, la interacción fue significativa para caracteres lineales y no lineales, los componentes fueron predominantes en genotipo x ambiente ( $G + E$ ) para el caso de rendimiento, así como los componentes lineales para más interacciones de madurez de  $G + E$ , HPBU-9 fue el genotipo más estable en rendimiento, cuando UH-2 fue altamente estable para madurez.

Reich y Atkins (1970), cultivaron ocho líneas padres, 16 híbridos en F1, 16 mezcla de dos componentes de líneas padres y mezcla de dos componentes híbridos en nueve ambientes durante dos años en Iowa. El criterio de los análisis de varianza y los análisis para estimar los parámetros de estabilidad fueron elaborados para obtener

información de rendimiento en grano y los componentes del rendimiento.

Los parámetros para rendimiento de grano indicaron que la población de la mezcla de híbridos fue la más productiva y estable, aunque ninguna de las poblaciones fue notablemente superior para todos los parámetros. La mezcla de los híbridos tuvieron un rendimiento medio en todos los ambientes y fueron los segundos entre los tipos de poblaciones en intervalos bajos en regresión, un promedio de coeficiente de regresión próxima a 1.0. la información para los componentes del rendimiento tienden colectivamente a mantener la conclusión de que las mezclas de las poblaciones de híbridos fueron más estables. Un híbrido fue el que tuvo más alta rendimiento en cada ambiente, excepto uno, donde las mezclas de los híbridos fue la más productiva.

A través de todos los ambientes, 22 de las 32 poblaciones de mezclas tuvieron más rendimiento que la media de sus componentes. Los rendimientos de 12 de las 16 mezclas de híbridos superaron el valor medio de sus componentes. Conjuntamente, las poblaciones heterogéneas rinden 102% más de la media de los componentes de las mezclas homogéneas, seis de las mezclas superaron la media de sus componentes de producción.

Finlay y Wilkinson (1963), usaron la técnica de regresión a partir de la transformación logarítmica de los datos originales para medir la estabilidad fenotípica de variedades de cebada.

Eberhart y Russell (1966), proponen usar, además del coeficiente de regresión,

el cuadrado medio residual de la regresión lineal como parámetro para medir la estabilidad.

Tai (1971), propone un método basado en el principio de análisis de relación estructural. Este método es casi similar al de Eberhart y Russell en el sentido de que usa dos parámetros para evaluar la estabilidad; un estadístico, que mide la respuesta lineal a los efectos ambientales y un segundo estadístico que mide la desviación de la respuesta lineal. Sin embargo, existen dos diferencias importantes entre ambos métodos:

La primera diferencia es que el método de Eberhart y Russell trabaja con toda la variación dentro de genotipos, es decir, fraccionan la suma de cuadrados debido a ambientes e interacción genotipo-ambiente en tres componentes; (a) ambiente (lineal), (b) interacción genotipo - medio ambiente (lineal) y (c) desviación del modelo de regresión, agrupando las dos primeras como la fuente de regresión, mientras que el método de Tai, trabaja solo con la suma de cuadrados de la interacción genotipo - medio ambiente.

La segunda es que la estimación de los parámetros en el método de Tai involucra una extensión la varianza y estos parámetros estiman el potencial genotípico de una variedad por su estabilidad en diferentes ambientes. Tanto Tai como los otros investigadores mencionados anteriormente utilizan índices ambientales calculados a partir del comportamiento de los mismos materiales o genotipos que están siendo evaluados. Aún cuando la técnica de la regresión lineal ha sido ampliamente utilizada, su validez ha sido cuestionada por varios autores.



Freeman y Perkins (1971), comentaron que cuando los índices ambientales no son independientes de los genotipos incluidos en el análisis, el método de la regresión lineal es estadísticamente inválido, ya que la suma de cuadrados para la regresión conjunta es la misma que el total de la suma de cuadrados para ambientes y no parte de éste. En relación a la medida de los efectos ambientales, ellos concluyeron que el uso de la misma especie, de la cual algunos genotipos son estudiados en su estabilidad, sería la mejor manera de estimar los índices ambientales. Así mismo sugieren que esos índices sean estimados por uno o más genotipos diferentes a los incluidos en el estudio de discriminación de la estabilidad. Ellos proponen un fraccionamiento de la suma de cuadrados de la interacción genotipo - medio ambiente en dos componentes, a saber; (a) heterogeneidad de las regresiones y (b) residual. La prueba de significancia de estos componentes deberían realizarse no con el cuadrado medio del error combinado, sino con el cuadrado medio del error entre repeticiones que equivale a la suma del anterior y la suma de cuadrados de repeticiones por ambiente.

Algunos autores, como Goldsworthy, 1974 y Lin et al. 1986, comentan que el coeficiente de regresión puede ser un útil parámetro para medir estabilidad, si la desviación de regresión es pequeña o que gran parte de la variación total de la producción sobre los ambientes sea explicada por la regresión lineal.

Hardwich y Wood (1972), demuestran que el método usual de la regresión de los genotipos sobre las medias ambientales da lugar a estimados sesgados de la pendiente de la línea de regresión. Ellos proponen como alternativas; el uso de la

regresión múltiple sobre niveles de variables ambientales o utilizar modelos más elaborados.

La aplicación del método de la regresión lineal origina un tercer estadístico, además del coeficiente de regresión y del cuadrado medio de la desviación de regresión, como lo es el coeficiente de determinación ( $r^2$ ); el cual puede ser utilizado como un índice de estabilidad. El primer investigador en sugerir y utilizar este estadístico como un parámetro de estabilidad fue Pinthus (1973), quien lo interpreta como la proporción de la variación en la producción que es atribuible a la regresión.

Bilbro y Ray (1976), estudiando la estabilidad, adaptación y el rendimiento de varios cultivares de algodón, usaron el coeficiente de regresión como una medida de adaptación. Ellos comentan que un parámetro lógico para evaluar la estabilidad debería medir la dispersión alrededor de la línea de regresión y que fuese posible su predicción o repetibilidad. Aún cuando ellos reconocen a un parámetro apropiados para medir la estabilidad, ellos sugieren el uso del coeficiente de determinación ( $r^2$ ) por las siguientes razones: (a) fácil de calcular, (b) independiente de la unidad de medida, (c) fácil de interpretar y (d) las diferencias entre dos valores de este estadístico puede ser estadísticamente probada.

Lin, et al. (1986), investigaron nueve parámetros de estabilidad y su relación con los métodos no paramétricos de un criterio a uno de múltiples criterios. Ellos

clasifican los parámetros en tres tipos: (1) aquellos que consideran un genotipo estable si su varianza entre ambientes es pequeña, (2) los que consideran un genotipo estable si su respuesta lineal es paralela a la respuesta promedio de todos los genotipos y (3) los que consideran un genotipo estable si su desviación de regresión es pequeña. Los parámetros tipo 2 y 3 pueden ser obtenidos por la técnica de regresión lineal, mientras que los de tipo 1 se obtienen por el análisis de varianza. Los mismos autores mencionan que la varianza de un genotipo entre ambientes puede ser utilizado como una medida de estabilidad, mientras que Francis y Kannenberg (1978) usaron el coeficiente de variabilidad de cada genotipo con este mismo propósito.

Los métodos que de una u otra forma fraccionan la varianza de la interacción genotipo - medio ambiente para usar el componente correspondiente a cada genotipo como una medida de estabilidad, han sido incluidos por Lin, et al (1986), dentro del tipo 2, es decir, que lo enmarcan dentro de la técnica de regresión. Pero para el cálculo de estos parámetros no es necesario efectuar al análisis de regresión.

Plaisted y Peterson (1959), utilizan el promedio de los componentes de varianza de la interacción genotipo - medio ambiente de todos los pares de genotipos que incluyen el *i*ésimo genotipo como una medida de estabilidad de ese genotipo. Posteriormente, Plaisted (1960), propone efectuar análisis de la varianza excluyendo un genotipo por vez y que la varianza de la interacción genotipo - medio ambiente sea utilizada como índice de estabilidad del genotipo excluido.

Wricke (1962), fracciona la suma de cuadrados de la interacción genotipo -

medio ambiente por una fórmula para obtener la contribución de cada cultivar. Este parámetro, que él denota por  $W_i$ , está relacionado con los parámetros de Eberhart y Russell.

Singh (1989), estudió 66 genotipos de garbanzo, que crecieron en nueve microambientes creados para diferentes combinaciones de fechas de siembra, ambientes y dosis de fertilización durante tres años, agrupó la información de nueve caracteres en los ambientes que fueron analizados estadísticamente por  $D^2$  (varianza), formando grupos de genotipos basándose en la  $D^2$  estimada. La unión de los análisis de regresión reveló alta significancia de dos genotipos diferentes. La estabilidad de cada genotipo fue construido fuera de las bases de los parámetros de estabilidad, coeficientes de regresión ( $b_i$ ) y desviación de regresión.

Arjunam, et al. (1997), evaluaron 68 genotipos de cacahuate para características agronómicas durante la época lluviosa de 1994 en Vriddhachalam. Los genotipos sobresalientes fueron seleccionados en ambientes variables, desde el segundo experimento comprendiendo diferentes estados de crecimiento. Los genotipos ICC576 y TAG24 fueron mejores bajo condiciones de riego, ICGV86635, DH43 y ICG2716 funcionaron mejor bajo condiciones de temporal, ICG221 funcionó mejor en ambientes de estrés.

Waes y Bockstole (1997), estudiaron 150 variedades de maíz de espigas grandes durante cuatro años en diferentes regiones agrícolas de Bélgica. Para grano de

maíz, la consistencia de espigas fue buena en general a través de los años y localidades, el rendimiento estuvo influenciado por localidad y año. Las líneas para ensilaje de maíz también fueron muy consistentes en las localidades. En rendimiento de materia seca estuvo influenciado por localidad. La digestibilidad y el contenido de almidón fueron consistentes en los años. La mayoría de las variedades de maíz para grano y ensilaje tuvieron una estabilidad de moderada a buena.

### **Adaptabilidad**

Wilsie (1962), indica que la adaptación puede definirse como el valor de sobrevivencia de un organismo bajo las condiciones que prevalecen en el hábitat en el que se desarrolla, Brewbaker (1967), por su parte, considera la adaptación como sinónimo de potencial de reproducción.

Allard (1967), define la adaptabilidad como el proceso por el cual individuos o parte de ellos, poblaciones o especies, cambian de forma o función al cambiar de ambientes, de tal manera que sobreviven mejor bajo determinadas condiciones ambientales.

Matsuo (1975), señala que la adaptabilidad es la capacidad de un organismo para sobrevivir y reproducirse en ambientes fluctuantes, enfatizando que es una habilidad genética de los organismos la cual determina la estabilización de las interacciones genético-ambientales por medio de reacciones genéticas y fisiológicas de los organismos. Por lo tanto, la adaptabilidad es una habilidad genética de las

variedades cultivadas para producir un rendimiento alto y estable en ambientes diferentes.

### **Interacción genotipo - medio ambiente**

Es sabido que la expresión de los caracteres de un híbrido está influenciado por su contenido genético y su interacción con el medio ambiente. Esta interacción sirve para clasificar a las zonas de producción de adaptación a ciertos híbridos de producción.

Comstock y Moll (1963), mencionan en su trabajo relativo a la interacción genético ambiental, que el desarrollo del fenotipo es influenciado por causas genéticas y no genéticas y que estos factores actúan independientemente; por lo tanto este interjuego entre el efecto de lo genético y no genético sobre el desarrollo es lo que se conoce como interacción genotipo - medio ambiente. Uno de los efectos importantes de esta interacción es que las inferencias se vuelven complicadas.

Hernández (1987), Menciona que la interacción genotipo - ambiente (GA) puede definirse como la “falla” de los genotipos para compararse similarmente en diferentes ambientes. Todo fitomejorador entiende que la expresión del fenotipo es un reflejo de la interacción del genotipo y el ambiente y que, además, estos dos componentes no son independientes entre sí. Dicho de otra manera, el fenotipo de un individuo (F) está dado por el efecto genético (G), un efecto ambiental (A) y un efecto de interacción entre el genotipo y el ambiente (GA).

Bucio (1966), reporta que la expresión fenotípica, depende principalmente de un factor genético, por lo que cualquier cambio, cualitativo o cuantitativo de uno o más factores producirá un efecto fenotípico diferente; por tal motivo se les ha denominado factores de variabilidad.

Shukla (1972), propone un método práctico para dividir la interacción genotipo - medio ambiente en componentes atribuibles a cada uno de los genotipos incluidos en el estudio y que él denomina varianza de estabilidad.

Patanothai y Atkins (1974), estudiaron los efectos genéticos y la respuesta del rendimiento de cruza simples de tres líneas de sorgo en nueve ambientes durante tres años. Los resultados indicaron que las variaciones en la media de rendimiento entre las fuentes de variación fueron atribuibles grandemente a efectos genéticos de aditividad y dominancia. La interacción de los efectos genéticos con el ambiente (lineal) son explicados por una acción génica aditiva siendo de menor importancia los efectos de dominancia.

Los resultados no indicaron que los efectos epistáticos y del citoplasma fueran factores significativos en determinar la respuesta diferencial en los ambientes. Las desviaciones de regresión pueden ser explicados por un pequeño grado de efectos genéticos de dominancia, sin embargo, los resultados señalan que la herencia de las desviaciones son complejas. Los híbridos de las tres líneas tuvieron pequeñas

desviaciones de regresión, relacionando esta capacidad de amortiguamiento con la heterogeneidad de la población.

Stuber, et al. (1973) y Moll y Stuber (1974) señalan que coeficientes de correlación altos y positivos son indicadores del poco efecto de las interacciones genotipo-ambiente, así mismo agregan que dichos efectos parecen variar en especies diferentes, pues no se ha detectado ningún patrón general que pueda ser asociado con tipos o tratamientos específicos.

Alato, et al (1990), tuvieron un avance interesante para estimar el efecto de la selección sobre tratamientos cuantitativos en poblaciones naturales, usaron la selección fenotípica para la asociación entre conveniencia y el valor fenotípico de cada tratamiento, los análisis estadísticos fueron aclarados por la introducción de nuevos métodos que pueden estimar selecciones en dirección y estabilidad fenotípica y selecciones para correlacionar cantidad (número) de caracteres.

Rasmusson y Lambert (1961), probaron un grupo de variedades de cebada en diversos ambientes, comprendiendo localidades y años. En este estudio la interacción variedad x localidad fue pequeña, lo cual indica que las variedades respondieron similarmente, de tal manera que se puede reducir el número de sitios de prueba. La componente variedad x año fue menos consistente que en localidades. La interacción variedad x localidad x año resultó altamente significativa, mencionan que esto fue una



respuesta diferente al medio ambiente que no es explicada por cualquiera de los dos grupos, localidades o años.

Abou-El-Fittoh, et al. (1966), estudiaron la similitud de ambientes en cuanto a la interacción genotipo-ambiente, se refiere en un grupo de variedades de algodón, con la finalidad de minimizar dentro de grupos la interacción genotipo x localidad. De las metodologías utilizadas la desviación de coeficiente fue la más eficiente y empleada preliminarmente para la zonificación de la faja aldonera de los Estados Unidos.

Horney y Frey (1957), estimaron la componente de interacción genotipo x localidad de nueve ambientes por cinco años de un grupo de variedades de avena. Esta interacción fue reduciendo de 11, 21, 30 y 40% cuando el área de prueba fue dividida dentro de dos, tres, cuatro y cinco subáreas respectivamente.

Martínez et al. (1970), sugieren el uso de poblaciones heterogéneas y heterocigóticas para reducir la interacción genotipo - ambiente.

Ganga (1970), cultivó cinco híbridos y una variedad local en 18 localidades durante dos años. Las interacciones de genotipo x localidad y genotipo x localidad x año fue altamente significativa, cuando se estudió la interacción de genotipo x año no hubo significancia.

Imabayashi et al. (1997), estimaron la interacción genotipo-ambiente del

rendimiento de grano de arroz con alta aceptación. La interacción del rendimiento genotipo x año y genotipo x localidad fue significativa. Por otro lado, la interacción genotipo x estado de madurez y genotipo x cantidad de fertilizante no fue significativa. Los coeficientes de regresión obtenidos por los métodos de Finlay - Wilkinson para evaluación de adaptabilidad fueron los mismos en cultivares nuevos y los ya adaptados. Encontraron una diferencia insignificante entre los cultivares nuevos y los ya adaptados. No hubo correlación significativa entre rendimiento y adaptabilidad. Los resultados muestran que las diferencias en rendimiento difieren bajo diferentes condiciones ambientales como en años y localidades, las pruebas de rendimiento conducidos bajo diferentes años y localidades fueron esenciales. Los cultivares nuevos tuvieron la misma adaptabilidad y habilidad para rendimiento, así como alta aceptación los cultivares ya adaptados.

Juárez (1977), En un estudio sobre interacción genotipo - ambiente en sorgo, encontró, basado en la significancia de los parámetros propuestos por Eberhart y Russell (1966), que la interacción genotipo x localidades fue de mayor importancia que la de genotipo x año; así mismo utilizando la misma metodología analizó el efecto del número de ambientes en la significancia de dichos parámetros encontrando que 10 ambientes pueden considerarse una muestra aceptable para obtener estimaciones confiables de la media de rendimiento y los parámetros  $B_i$  y  $S^2_{di}$ .

## **MATERIALES Y METODOS**

### **Material genético**

En el presente trabajo fueron utilizados 25 híbridos producidos por el programa de sorgo de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) y 5 híbridos comerciales

- |                |                   |
|----------------|-------------------|
| 1. AN34 x IA9  | 16. AN39 x IA57   |
| 2. AN34 x IA28 | 17. AN39 x RTX433 |
| 3. AN34 x IA52 | 18. MARFIL (T)    |
| 4. AN34 x IA57 | 19. IA36 x IA9    |

- |                     |                      |
|---------------------|----------------------|
| 5. AN34 x RTX433    | 20. IA36 x IA28      |
| 6. PIONEER 8313 (T) | 21. IA36 x IA52      |
| 7. AN35 x IA9       | 22. IA36 x IA57      |
| 8. AN35 x IA28      | 23. IA36 x RTX433    |
| 9. AN35 x IA52      | 24. ASGROW OSAGE (T) |
| 10. AN35 x IA57     | 25. A2 x IA9         |
| 11. AN35 x RTX433   | 26. A2 x IA28        |
| 12. MASTER 911 (T)  | 27. A2 x IA52        |
| 13. AN39 x IA9      | 28. A2 x IA57        |
| 14. AN39 x IA28     | 29. A2 x RTX433      |
| 15. AN39 x IA52     | 30. DEKALB D-65 (T)  |

### **Localidades**

Estos materiales fueron evaluados en las siguientes localidades: Celaya, Guanajuato, Zaragoza, Coahuila y Reynosa, Tamaulipas.

### **Reynosa, Tamaulipas**

Esta región se localiza en los 26°05' de latitud norte y a los 98°18' de longitud oeste, ubicada a una altura sobre el nivel de mar de 34 metros, presentando una temperatura media anual de 17.4°C, con una precipitación total anual de 425.5 milímetros.

El clima que presenta, es seco estepario y muy cálido. Distinguiéndose con facilidad dos estaciones, la de verano y la de invierno; en la primera, la temperatura llega hasta 40°C en los meses de mayo – agosto y en la segunda, el termómetro baja hasta menos de 18°C.

En esta región la siembra se efectuó el 5 de marzo de 1999.

## Zaragoza, Coahuila

Se encuentra ubicado en las coordenadas 100°50' 10" longitud oeste y a 28°28' 31" latitud norte a una altura de 400 metros sobre el nivel del mar, con una precipitación total anual de 374.6 milímetros, con una temperatura de 21.4°C. Esta región presenta subtipos de clima semisecos templados en la parte este, sureste y noreste; en el centro del municipio y en sus partes este y oeste se presentan precipitaciones pluviales en el rango de 400 – 500 mm anuales; con un régimen de lluvias durante los meses de abril, mayo, junio, julio, agosto, septiembre, octubre, noviembre y escasas en el mes de diciembre.

En esta región la siembra se efectuó el 21 de abril de 1999.

## Celaya, Guanajuato

Esta región se encuentra ubicada a los  $100^{\circ}48'58''$  de longitud oeste del meridiano de Greenwich y a los  $20^{\circ}31'24''$  de latitud norte, una altura de 1752 metros sobre el nivel del mar, presenta una precipitación pluvial total de 557.2 milímetros, con una temperatura media de  $19.4^{\circ}\text{C}$ , la región presenta clima templado.

En esta región la siembra se efectuó el 24 de abril de 1999.

### **Procedimiento Experimental**

El diseño experimental utilizado en cada localidad de prueba fue el bloques al azar con tres repeticiones. Cada híbrido fue sembrado en una parcela de un surco de cinco metros de largo y una distancia de 0.80 m entre surcos.

Las labores culturales para del terreno consistieron en un barbecho, dos rastras y el surcado

Una vez que el terreno presentó la humedad necesaria se procedió a la siembra, la cual se hizo en forma manual a chorrillo, se realizaron deshierbes durante las primeras dos etapas vegetativas del cultivo, para evitar que hubiera competencia en él.

La dosis de fertilización fue basándose en la siguiente a la fórmula 160-80-00,

aplicando la mitad de nitrógeno al momento de la siembra y todo el fósforo y la otra mitad del nitrógeno en el segundo cultivo.

### **Toma de datos**

De cada uno de los híbridos se tomaron datos del rendimiento en cada uno de los ambientes utilizados en la evaluación. Para tal efecto, se cosecharon y desgranaron todas las panojas de la parcela útil, la cual constó de tres metros de longitud por tratamiento, procediendo a registrar su peso; posteriormente se multiplico por un factor de conversión para determinar su peso en toneladas por hectárea de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$R.T.H. = P.P.U \times F.C$$

$$F.C. = 10000 \text{ m}^2$$

$$A.P.U$$

DONDE:

R. T. H = Rendimiento en toneladas por hectáreas

P. P. U = Peso de parcela útil

F. C = Factor de conversión

10000 m<sup>2</sup> = Área total de una hectárea

A.P.U = Área de parcela útil.

## Análisis estadístico

Se efectuaron análisis de varianza individual de los caracteres de estudio de acuerdo al diseño experimental bloques al azar con tres repeticiones en cada localidad teniendo como modelo estadístico:

$$y_{ij} = \mu + T_i + B_j + E_{ij}$$

Donde:

$\mu$  = Media general

$T_i$  = Efecto del i-ésimo tratamiento

$B_j$  = Efecto del j-ésimo bloque

$E_{ij}$  = Error experimental

$\mu$  = Valor observado del i-ésimo tratamiento  
del j-ésimo bloque

El análisis de varianza individual (bloques al azar) para cada variable fue utilizado para detectar diferencias entre los híbridos en cada una de las localidades consideradas.

Cuadro 3..1 Análisis de varianza individual para el diseño bloques al azar

Fuentes de variación	G. L	S. C	C. M	F. C
		r		



Bloques	$r - 1$	$\sum_{i=1}^r \frac{y_{.i}^2}{t} - \frac{y_{..}^2}{tr}$	$\frac{S.C.r}{r-1}$	$\frac{C.M.r}{C.M.E.E}$
Tratamientos	$t - 1$	$\sum_{i=1}^t \frac{y_{i.}^2}{r} - \frac{y_{..}^2}{tr}$	$\frac{S.C.t}{t-1}$	$\frac{C.M.t}{C.M.E.E}$
Error experimental	$(r-1)(t-1)$	$S.C. tot. - (S.C.r + S.C.t)$		$\frac{S.C. tot.}{(r-1)(t-1)}$
<b>Total</b>		$\sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^t y_{ij}^2 - \frac{y_{..}^2}{tr}$	$rt - 1$	

---

Se efectuaron las comparaciones de medias de acuerdo a la prueba de rango múltiple D. M. S donde:

$$D. M. S = t \alpha / 2, g.l. E.E( 2CMEE / r$$

g.l E.E = Grados libertad del error experimental

C.M.E.E = Cuadrado medio del error experimental.

r = Repeticiones.

Se efectuaron análisis para estimar estabilidad de acuerdo al procedimiento de Eberhart y Russell con el modelo:

$$Y_{ij} = \mu_i + B_i I_j + d_{ij}$$

Donde:

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

$\mu_i$  = Es la media de la i-ésima variedad, sobre todos los ambientes.

$B_i$  = Es el coeficiente de regresión que mide la respuesta de la  $i$ ésima variedad en los diversos ambientes.

$I_j$  = Es el índice ambiental obtenido como la media de todas las variedades en el  $j$ ésimo ambiente, menos la general.

$d_{ij}$  = Desviación de la regresión de la  $i$ ésima variedad en el  $j$ -ésimo ambiente.

$$\text{Coeficiente de regresión} = \sum y_{ij} / I_j$$

$$\text{Desviación de regresión} = S^2_{di} = d_{ij} / n - 2 - S^2_e / r$$

$$\text{En el cual: } \sum d_{ij} = \sum y^2_{ij} - \frac{y_i^2}{n} - \sum y_{i.j} + \frac{j^2}{\sum I_j^2}$$

$y_j S^2_e / r$  Es el estimador del error conjunto (llamado así por Eberhart y Russell) en donde "r" es el número de repeticiones,  $S^2_e$  se calcula como un promedio ponderado de los errores de todos los experimentos.

Para predecir el comportamiento de cada variedad en cada uno de los ambientes se utilizó la siguiente fórmula:

$$Y = x_i + b_i I_j$$

Donde:

$Y$  = Rendimiento estimado de la  $i$ -ésima variedad en el  $j$ -ésimo ambiente.

$x$  = Estimador de la media varietal.

$B_i$  = Coeficiente de regresión de la variedad.

$I_j$  = Índice ambiental

El análisis de varianza propuesto por Eberhart y Russell incluye pruebas de significancia para las siguientes hipótesis planteadas:

1. La significancia entre medias varietales donde  $H_0: M_1 = M_2 \dots M_v$ ; fue practicada mediante la prueba de F.

$$F = CM_1/CM_3$$

2. La hipótesis de que no existen diferencias genéticas entre variedades para su regresión sobre los índices ambientales.  $H_0: B_1 = B_2 \dots B_v$ , fue practicada mediante la prueba de F.

$$F = CM_2/CM_3$$

3. Para probar la significancia de las desviaciones de regresión para cada variedad se efectúa la siguiente prueba:

$$F = (\sum_j [S^{dij} / n-2] / \text{error conjunto})$$

4. Para probar la hipótesis de que cualquier coeficiente de regresión no difiere de la unidad, se aplica la siguiente prueba de T.

$$T = b_i - 1 / S_{b_i}$$
$$S_{b_i} = S_{d_i} / \sum I_{ij}^2$$



Cuadro 3.2 Análisis de varianza para estimar parámetros de estabilidad  
Eberhart y Russell (1966)

Fuentes de variación	G.I	S.C	C.M
<b>Total</b>		<b><math>nv - 1</math></b> $\sum_i \sum_j$	<b><math>\sum \sum y^2_{ij} - Fc</math></b>
Variedades (V)	$v - 1$	$1/n \sum y^2_{i.} - Fc$	C.M1
Localidades (L)	$v(n-1)$	$\sum_i \sum_j y^2_{ij} - \sum_i y^2_{i.} / n$	
Ambiente Lineal	1	$1/v (\sum_j y_{.j} I_j)^2 / \sum_j I_j^2$	
V x A (Lineal)	$v - 1$	$\sum_i (\sum_j y_{ij} I_j)^2 / \sum_j I_j^2 - S.C_L (Lineal)$	C.M2
Desviación conjunta	$v(n-2)$	$\sum_i \sum_j d^2_{ij}$	C.M3
Variedad 1	$n - 2$	$\sum_j y^2_{ij} - \frac{(y_{i.})^2}{n} - (\sum_j y_{ij} I_j)^2 / \sum_j I_j^2$	
Variedad v	$n - 2$	$\sum_j y^2_{vj} - \frac{(y_{v.})^2}{n} - (\sum_j y_{vj} I_j)^2 / \sum_j I_j^2$	
Error conjunto	$n(r-1)(v-1)$		$\sum C.M \text{ error de cada experimento} / r n$ C-M4

Cuadro 3.3 Clasificación de ambientes para una mejor interpretación de los parámetros de estabilidad, Carballo (1970)

<b>Categoría</b>	<b>Bi</b>	<b>Sdi</b>	<b>Clasificación</b>
a	= 1	= 0	Variedad estable
b	= 1	> 0	Buena respuesta en todos los ambientes, inconsistente
c	< 1	= 0	Responde mejor a ambientes desfavorables, consistente
d	< 1	> 0	Responde mejor a ambientes desfavorables, inconsistente
e	> 1	= 0	Responde mejor a ambientes favorables, consistente
f	> 1	> 0	Responde mejor a ambientes favorables, inconsistente

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del presente trabajo fueron obtenidos de los experimentos realizados en el año de 1999 en tres localidades (Celaya, Guanajuato; Reynosa, Tamaulipas y Zaragoza, Coahuila), donde fueron evaluados 30 genotipos: 25 híbridos experimentales del programa de sorgo de la UAAAN y 5 testigos, en donde la característica a evaluar fue rendimiento de grano.

Para dar una interpretación más adecuada a los resultados obtenidos en el presente trabajo, se procedieron a realizar en primer lugar análisis de varianza individuales que nos permitiera detectar diferencias entre los diferentes tratamientos y posteriormente se efectuó un análisis de parámetros de estabilidad para conocer su respuesta a los ambientes de prueba.

En los cuadros 4.1, 4.2 y 4.3 se presentan los resultados de los análisis de varianza para cada una de las localidades en estudio. Se puede observar que en todos ellos se presentan diferencias altamente significativas para la fuente de variación tratamientos, mostrando que los materiales bajo estudio tuvieron un comportamiento diferente, lo que indica que su potencial de rendimiento depende de sus diferencias genéticas.

Los coeficientes de variación encontrados en cada una de las localidades en estudio indican la confiabilidad de los datos obtenidos.

Cuadro 4.1 Análisis de varianza individual para la localidad de Zaragoza, Coah.

F.V	G. 1	S.C	C.M	F.C
Bloques	2	0.2882	0.1441	0.9057
Tratamientos	29	170.6727	5.8852	36.9905**
Error experimental	58	9.2282	0.1591	
Total	89	180.189		

C. V = 8.52

\* Significativo al nivel de 0.05 de probabilidad

\*\* Significativo al nivel de 0.01 de probabilidad

Cuadro 4.2 Análisis de varianza individual para la localidad de Reynosa, Tamaulipas.

F. V	G. 1	S. C	C. M	F. C
Bloques	2	0.0237	0.0118	0.3986
Tratamientos	29	84.3201	2.9075	98.2263**
Error experimental	58	1.7167	0.0296	
Total	89	86.0605		

C. V = 4.17

\* Significativo al nivel de 0.05 de probabilidad

\*\* Significativo al nivel de 0.01 de probabilidad



Cuadro 4.3 Análisis de varianza individual para la localidad de Celaya, Guanajuato

F. V	G. l	S. C	C. M	F. C
Bloques	2	0.4587	0.2293	0.6720
Tratamientos	29	229.0883	7.8995	23.1524**
Error experimental	58	19.7915	0.3412	
Total	89	249.3385		

C. V = 11.43

\* Significativo al nivel de 0.05 de probabilidad

\*\* Significativo al nivel de 0.01 de probabilidad

#### Comparación de medias por D. M. S

Debido a que en el análisis individual se detectaron diferencias altamente significativas en los 30 tratamientos fue necesario hacer una comparación de rango múltiple por el método D. M. S (Diferencia Mínima Significativa).

En el cuadro 4.4 se presentan los resultados en la localidad de Zaragoza, Coah. para la variable rendimiento y el valor de la D. M. S para los 30 híbridos en estudio, en donde se puede observar que sus híbridos muestran diferencias en cuanto a su potencial a un nivel de probabilidad de 0.05. los híbridos que destacan son: A2 x IA28 con un rendimiento promedio de 6.74 ton/ha; AN35 x IA28 con 6.49 ton/ha; DEKALB con 6.18 ton/ha; AN34 x IA28 con 6.18 ton/ha; ; MASTER 911 con 6.17 ton/ha y AN39 x IA28 con 6.10 ton/ha. Los rendimientos más bajos y estadísticamente iguales entre ellos

fueron superados por siete híbridos, siendo los cuatro últimos los híbridos IA36 x IA52; AN34 x IA52, AN36 x IA9 y IA36 x IA57; con rendimientos promedios de 2.54 ton/ha; 2.44 ton/ha; 2.38 ton/ha y 2.33 ton/ha, respectivamente

Cuadro 4.4 Prueba de D. M. S y significancias en la variable rendimiento para los 30 híbridos de sorgo evaluados en Zaragoza, Coah.

Híbrido No.	Rendimiento medio (ton./ha.)	Genealogía	Agrupación
26	6.74	A2 x IA28	A
8	6.49	AN35 x IA28	AB
30	6.18	DEKALB D-65 (T)	ABC
2	6.18	AN34 x IA28	ABC
12	6.17	MASTER 911 (T)	ABC
14	6.10	AN39 x IA28	ABCD
24	5.90	ASGROW OSAGE (T)	BCDE
20	5.79	IA36 x IA28	CDEF
25	5.51	A2 x IA9	DEFG
29	5.49	A2 x RTX43	DEFG
10	5.44	AN35 x IA57	EFGH
18	5.37	MARFIL (T)	EFGHI
28	5.21	A2 x IA57	FGHIJ
17	5.17	AN39 x RTX433	FGHIJ
11	5.05	AN35 x RTX433	GHIJ
27	5.03	A2 x IA52	GHIJK
9	4.86	AN35 x IA52	GHIJKL
16	4.83	AN39 x IA57	HIJKL
6	4.77	PIONEER 8313 (T)	IJKL
15	4.58	AN39 x IA52	JKL
7	4.39	AN35 x IA9	KL
13	4.32	AN39 x IA9	L
1	3.23	AN34 x IA9	M
4	2.76	AN34 x IA57	MN
5	2.75	AN34 x RTX433	MN
23	2.66	IA36 x RTX433	MN
21	2.54	IA36 x IA52	N
3	2.44	AN34 x IA52	N
19	2.38	IA36 x IA9	N
22	2.23	IA36 x IA57	N

D.M S = 0.6513

Significancia al nivel de 0.05

Se puede observar que los cuatro híbridos experimentales más sobresalientes y que compiten con los 2 mejores testigos comerciales tienen como progenitor macho

común a la línea IA28, mientras que los materiales de más bajo rendimiento en esta localidad tienen como progenitor hembra a las líneas androestériles IA36 y AN34.

En la localidad de Reynosa, Tamaulipas, los resultados de la prueba de rango múltiple (DMS) se presentan en el cuadro 4.5 en donde dos híbridos experimentales, AN39 x IA57 y AN35 x RTX433 ocupan los primeros lugares en posición con rendimientos medios de 5.82 ton/ha y 5.56 ton/ha respectivamente, superando al mejor testigo MASTER 911 con rendimiento de 5.00 ton/ha el cual ocupa el 8° lugar en la tabla de medias.

Esta es la localidad que presenta un valor de la media general más baja (4.12 ton/ha) que las otras localidades, lo que significa que en promedio los híbridos rinden menos en ésta localidad que en las restantes, debiéndose tal vez a que las condiciones del ambiente en que se desarrollaron los genotipos fueron menos favorables en este ambiente de prueba.

**Cuadro 4.5 Prueba de D. M. S y significancias en la variable  
rendimiento para**

los 30 híbridos de sorgo evaluados en Reynosa, Tamps.

---

Híbrido No.	Rendimiento medio (ton/ha)	Genealogía	Agrupación
16	5.82	AN39 x IA57	A
11	5.56	AN35 x RTX4	A
26	5.24	A2 x IA28	B
2	5.13	AN34 x IA28	B
20	5.10	IA36 x IA28	B
9	5.08	AN35 x IA5	B
25	5.06	A2 x IA9	BC
12	5.00	MASTER 911 (T)	BC
10	4.97	AN35 x IA57	BCD
17	4.78	AN39 x RTX433	CDE
14	4.71	AN39 x IA28	DE
15	4.63	AN39 x IA52	EF
6	4.56	PIONEER 8313 (T)	EF
27	4.41	A2 x IA52	FG
23	4.36	IA36 x RTX433	FG
28	4.15	A2 x IA57	GH
13	3.95	AN39 x IA9	HI
18	3.78	MARFIL (T)	IJ
24	3.76	ASGROW OSAGE (T)	IJ
29	3.59	A2 x RTX43	JK
4	3.53	AN34 x IA57	JKL
8	3.40	AN35 x IA28	KL
3	3.30	AN34 x IA52	LM
5	3.30	AN34 x RTX433	LM
7	3.15	AN35 x IA9	M
21	3.05	IA36 x IA52	M
22	3.03	IA36 x IA57	M
1	2.64	AN34 x IA9	N
30	2.28	DEKALB D-65 (T)	O
19	2.28	IA36 x IA9	O

D. M. S = 0.2809

Significancia al nivel de 0.05

Podemos observar que del siguiente grupo estadísticamente igual, destacan tres híbridos experimentales que ocuparon los primeros lugares en la localidad de Zaragoza,

Coah.: A2 x IA28, AN34 x IA28 y IA36 x IA28, en donde nuevamente el progenitor restaurador IA28 es común en las tres hembras. Por otra parte de los materiales que ocupan los últimos lugares en rendimiento se encuentran cinco de ellos que en la localidad de Zaragoza, Coah., también fueron los que mostraron los más bajos rendimientos.

La localidad que presenta los más altos rendimientos producidos es la de Celaya, Guanajuato, con una media general de 5.114 ton/ha (cuadro 4.6) esto es debido a que las condiciones del ambiente de esta localidad permite la buena expresión del potencial genético. De los híbridos en estudio, destacan por su posición dentro de la tabla dos híbridos que son estadísticamente iguales: A2 x IA28 y AN35 x RTX433, con rendimientos promedio de 8.84 ton/ha y 7.27 tos/ha respectivamente, cabe mencionar que el primero de ellos es un híbrido experimental que se encuentra ocupando siempre los primeros lugares dentro de la tabla de medias en las tres localidades.

Dentro de la siguiente agrupación estadística se reportan 7 híbridos en donde nuevamente aparecen las líneas que tienen el progenitor IA28 que son las hembras AN34 y AN35.

En general podemos decir que los ambientes influyen de manera decisiva entre la expresión fenotípica, siendo la mejor localidad la de Celaya, Gto., en donde se obtuvieron los rendimientos más altos y las otras dos localidades tuvieron un comportamiento similar, siendo ligeramente más favorable el ambiente de Zaragoza, Coah.

---

Cuadro 4.6 Prueba de D. M. S y significancias en la variable rendimiento para los 30 híbridos de sorgo evaluados en Celaya, Gto.

---

No.	Híbrido (ton/ha)	Rendimiento medio	Genealogía	Agrupación
26	8.84	A2 x IA28	A	
11	7.27	AN35 x RTX433	AB	
13	6.89	AN39 x IA9	B	
2	6.82	AN34 x IA28	B	
23	6.72	IA36 x RTX433	BC	
7	6.65	AN35 x IA9	BC	
18	6.58	MARFIL (T)	BC	
8	6.43	AN35 x IA28	BCD	
29	6.21	A2 x RTX433	CDE	
14	5.57	AN39 x IA28	DEF	
20	5.55	IA36 x IA28	DEF	
22	5.55	IA36 x IA57	DEF	
30	5.50	DEKALB D-65 (T)	DEF	
12	5.41	MASTER 911 (T)	EFG	
25	5.40	A2 x IA9	EFG	
28	5.28	A2 x IA57	EFG	
4	5.15	AN34 x IA57	FGH	
5	4.90	AN34 x RTX433	FGHI	
9	4.73	AN35 x IA52	FGHIJ	
17	4.49	AN39 x RTX433	GHIK	
15	4.32	AN39 x IA52	HIJK	
19	4.28	IA36 x IA9	HIJK	
24	3.99	ASGROW OSAGE (T)	IJK	
1	3.93	AN34 x IA9	JKL	
27	3.88	A2 x IA52	JKL	
16	3.75	AN39 x IA57	KLM	
21	3.03	IA36 x IA52	LMN	
10	2.82	AN35 x IA57	MN	
6	2.23	PIONEER 8313 (T)	N	
3	1.25	AN34 x IA52	O	

D. M. S =0.9538

Significancia al nivel de 0.05

Cuadro 4.7 Media de la variable rendimiento por hectárea en tres localidades e índices ambientales para 30 híbridos de sorgo.

Híbrido No.	Reynosa	Zaragoza	<b>Celaya</b>	Yi
1	2.64	3.23	3.93	3.27
2	5.13	6.18	6.82	6.04
3	3.30	2.44	1.25	2.33
4	3.53	2.76	5.15	3.81
5	3.30	2.75	4.90	3.65
6	4.56	4.77	2.23	3.85
7	3.15	4.34	6.65	4.71
8	3.40	6.49	6.43	5.44
9	5.08	4.86	4.73	4.89
10	4.97	5.44	2.82	4.41
11	5.56	5.05	7.27	5.96
12	5.00	6.17	5.41	5.53
13	3.95	4.32	6.89	5.05
14	4.71	6.10	5.57	5.46
15	4.63	4.58	4.32	4.51
16	5.82	4.83	3.75	4.80
17	4.78	5.15	4.49	4.81
18	3.78	5.37	6.58	5.24
19	2.22	2.38	4.28	2.96
20	5.10	5.79	5.55	5.48
21	3.05	2.54	3.03	2.87
22	3.03	2.23	5.55	3.61
23	4.36	2.66	6.72	4.58
24	3.76	5.90	3.99	4.55
25	5.06	5.51	5.40	5.32
26	5.24	6.74	8.84	6.94
27	4.41	5.03	3.88	4.44
28	4.15	5.21	5.28	4.88
29	3.59	5.46	6.21	5.09
30	2.28	6.18	5.50	4.65
y.j	123.54	140.76	153.42	
I.j	- 0.520	0.044	0.476	

### Parámetros de Estabilidad

Las fuentes de variación para estimar parámetros de estabilidad se presentan en



el cuadro 4.8 en donde se puede apreciar que existen diferencias altamente significativas para la fuente de variación "variedades", lo que indica que existe un comportamiento diferente de los híbridos al ser probados en diferentes medios ambientes.

La clasificación de los híbridos hecha de acuerdo a sus valores de parámetros de estabilidad (cuadro 4.9) calculados de acuerdo al modelo de Eberhart y Russell (1966) nos proporcionan la herramienta para seleccionar aquellos materiales que por sus valores de regresión y sus desviaciones de regresión, sean los más deseables para ser sugeridos en siembras para las condiciones en los que fueron probados. Al emplear éstos parámetros de selección, Baller (1969), Carballo (1970) y Tai (1971), mencionan que el valor que representa  $S^2_{di}$  es el parámetro que tiene mayor importancia en la discriminación de variedades por estabilidad.

En el presente estudio se encontraron cinco de las seis situaciones posibles producto de la conjugación de los dos parámetros de estabilidad, cuyos resultados se presentan en el cuadro 4.10 y de donde podemos agrupar a los híbridos de acuerdo a su respuesta a los ambientes de prueba de la siguiente manera:

I. Híbridos adaptados a todos los ambientes.

Se encuentran 4 híbridos con un coeficiente de regresión  $b_i=1.0$

y consistentes:

AN34 x IA9; AN35 x IA52, A2 x IA57 y A2 x RTX433.

Los híbridos con coeficiente de regresión  $b_i=1.0$  pero inconsistentes que se reportan en éste trabajo son en total 16: las combinaciones de la hembra AN34 con los machos IA28, IA57 y RTX433; la línea AN35 con las restauradoras IA9, IA28, IA57 y RTX433; el progenitor femenino AN39 con las líneas IA9 y IA28; la hembra IA36 con los machos IA9, IA57, RTX433 y la cruce A2 x IA52 y los testigos PIONEER 8313, ASGROW OSAGE y DEKALB D-65.

## II. Híbridos adaptados a ambientes desfavorables.

Bajo ésta situación fueron detectados 6 híbridos con un coeficiente de regresión  $b_i < 1.0$ , de los cuales 5 mostraron ser consistentes y corresponden a las cruces: AN39 x IA52, AN39 x RTX433, IA36 x IA28, IA36 x IA52 y A2 x IA9. Solamente una cruce mostró ser inconsistente y corresponde al testigo MASTER 911.

## III. Híbridos adaptados a ambientes favorables.

En ésta categoría se encuentran los híbridos que presentan un coeficiente de regresión  $b_i > 1.0$ , reportándose en éste estudio 4 híbridos mostrando todos ser consistentes: AN34 x IA52, AN39 x IA57, MARFIL y A2 x IA28.

El análisis de los resultados obtenidos muestra que los híbridos más rendidores se

encuentran adaptados a ambientes más favorables, mientras que los híbridos considerados como estables presentan rendimientos medios por debajo de los híbridos mejores. Como ejemplo tenemos a la cruza AN34 x IA9 que ocupa el lugar 24 en la tabla de medias (cuadro 4.6) en la localidad de Celaya, Gto.; la posición 23 en Zaragoza, Coah.; y el lugar 28 en Reynosa, Tamps. Rowe y Andrew (1964), Perkins y Jenkins (1968), reportan en sus trabajos que los materiales de rendimiento más bajo fueron más estables que los de rendimiento alto. Por otra parte Pathanothai y Atkins (1974) mencionan que la respuesta de los híbridos a su adaptación a los ambientes depende de los genes de aditividad, en nuestro estudio los progenitores masculinos IA28 y RTX433 que forman parte de los híbridos más prometedores y con buena respuesta a todos los ambientes (cuadro 4.4, 4.5 y 4.6) demostraron ser los de más alto valor aditivo, reportado por Cadenas (2000).

Cuadro 4.8 Análisis de varianza para estimar los parámetros de estabilidad de 30 híbridos de sorgo evaluados en tres ambientes para la característica rendimiento por hectárea.

FV	Gl	S.C	CM	FC
Total	89	176.3278	1.981	4.4249
Variedades	29	89.4910	3.086 CM1	3.1618**
Residual ambiental	60	86.8368	1.447	
Ambiente lineal	1	0.0166		
Var x amb.(lineal)	29	57.5313	1.984 CM2	2.033**
Desviación ponderada	30	29.2889	0.976 CM3	
Var1	1	0.0131	0.0131	0.072
Var2	1	0.9036	0.9036	4.989**
Var3	1	0.0600	0.0600	0.331
Var4	1	1.8871	1.8871	10.420**
Var5	1	1.4051	1.4051	7.758**
Var6	1	1.5503	1.5503	8.560**
Var7	1	0.4157	0.4157	2.295*

Var8	1	1.2517	1.2517	6.911**
Var9	1	0.0003	0.0003	0.001
Var10	1	1.8873	1.8873	10.421**
Var11	1	1.4485	1.4485	7.998**
Var12	1	0.5830	0.5830	3.219**
Var13	1	1.1112	1.1112	6.136**
Var14	1	0.5405	0.5405	2.984**
Var15	1	0.0104	0.0104	0.057
Var16	1	0.0220	0.0220	0.125
Var17	1	0.1892	0.1892	1.044
Var18	1	0.0000	0.0000	00.00
Var19	1	0.6714	0.6714	3.707**
Var20	1	0.1255	0.1255	0.693
Var21	1	0.1649	0.1649	0.910
Var22	1	3.2871	3.2871	18.150**
Var23	1	6.1106	6.1106	33.741**
Var24	1	2.6771	2.6771	14.782**
Var25	1	0.0440	0.0440	0.243
Var26	1	0.1922	0.1922	1.061
Var27	1	0.5611	0.5611	3.098**
Var28	1	0.1170	0.1170	0.646
Var29	1	0.0990	0.0990	0.546
Var30	1	2.8583	2.8583	15.783**
Error ponderado	174	0.1811		

\* Significativo al nivel de 0.05

\*\* Significativo al nivel de 0.01

Cuadro 4.9 Rendimiento medio y parámetros de estabilidad

Híbrido	Genealogía	Rendimiento	Coef. Regresión (bi)	Desv. Regresión (S <sup>2</sup> di)
1	AN34 x IA9	3.27	1.283	-0.168
2	AN34 x IA28	6.04	1.106	0.722**
3	AN34 x IA52	2.33	2.032>	-0.121
4	<b>AN34 x IA57</b>		1.477	1.706**
	<b>3.81</b>			
5	AN34 x RTX 433	3.65	1.477	1.224**
6	<b>PIONEER 8313 (T)</b>		2.203	1.369**
	<b>3.85</b>			

7	AN35 x IA9	1.415	0.234*
	4.71		
8	AN35 x IA28	3.163	1.070**
	5.44		
9	AN35 x IA52	0.353	-0.180
	4.89		
10	AN35 x IA57	2.010	1.706**
	4.41		
11	AN35 x RTX433	1.587	1.267**
	5.96		
12	MASTER 911	5.53	0.495<
13	AN39 x IA9	2.838	0.401**
	5.05		0.930**
14	AN39 x IA28	0.942	0.359**
	5.46		
15	AN39 x IA52	0.300 <	-0.170
	4.51		
16	AN39 x IA57	2.062 >	-0.159
	4.80		
17	AN39 x RTX433	0.245 <	0.008
	4.81		
18	MARFIL (T)	2.812 >	-0.181
	5.24		
19	IA36 x IA9	2.000	0.490**
	2.96		
20	IA36 x IA28	0.489 <	-0.055
	5.48		
21	IA36 x IA52	0.064 <	-0.016

		2.87		
22	IA36 x IA57		2.333	3.106**
		3.61		
23	IA36 x RTX433	4.25	2.101	5.929**
24	ASGROW OSAGE (T)	4.55	0.409	2.496**
25	A2 x IA9	5.32	0.365<	-0.137
26	A2 x IA28	6.94	3.567>	0.011
27	A2 x IA52	4.44	0.451	0.380**
28	A2 x IA57	4.88	1.173	-0.064
29	A2 x RTX433	5.09	2.664	-0.821
30	DEKALB D-65 (T)	4.65	3.415	2.677**

\* Significativo al nivel de 0.05

\*\* Significativo al nivel de 0.01

Cuadro 4.10 Clasificación según Carballo (1970) en la característica rendimiento por hectárea para los 30 híbridos estudiados.

Híbrido	Clasificación	Descripción
AN34 x IA9	A	Estable
AN34 x IA28	B	Buena respuesta en todos los ambientes, inconsistente
AN34 x IA52	E	Responde mejor en ambientes favorables, consistente
AN34 x IA57	B	Buena respuesta en todos los ambientes, inconsistente
AN34 x RTX433	B	Buena respuesta en todos los ambientes, inconsistente
PIONEER 8313	B	Buena respuesta en todos los ambientes, inconsistente
AN35 x IA9	B	Buena respuesta en todos los ambientes, inconsistente
AN35 x IA28	B	Buena respuesta en todos los ambientes, inconsistente
AN35 x IA52	A	Estable
AN35 x IA57	B	Buena respuesta en todos los ambientes, inconsistente
AN53 x RTX433	B	Buena respuesta en todos los ambientes, inconsistente
MASTER 911	D	Responde mejor en ambientes desfavorables, inconsistente
AN39 x IA9	B	Buena respuesta en todos los ambientes, inconsistente
AN39 x IA28	B	Buena respuesta en todos los ambientes, inconsistente
AN39 x IA2	C	Responde mejor en ambientes desfavorables,

AN39 x IA57	E	consistente
AN39 x RTX433	C	Responde mejor en ambientes favorables, consistente
MARFIL	E	Responde mejor en ambientes desfavorables, consistente
IA36 x IA9	B	Responde mejor en ambientes favorables, consistente
IA36 x IA28	C	Buena respuesta en todos los ambientes, inconsistente
IA36 x IA52	C	Responde mejor en ambientes desfavorables, consistente
IA36 x IA57	B	Responde mejor en ambientes desfavorables, consistente
IA36 x RTX433	B	Buena respuesta en todos los ambientes, inconsistente

Continuación...

---

ASGROW OSAGE	B	Buena respuesta en todos los ambientes, inconsistente
A2 x IA9	C	Responde mejor en ambientes desfavorables, consistente
A2 x IA28	E	Responde mejor en ambientes favorables, consistente
A2 x IA52	B	Buena respuesta en todos los ambientes, inconsistente
A2 x IA57	A	Estable
A2 x RTX433	A	Estable
DEKALB D-65	B	Buena respuesta en todos los ambientes, inconsistente

---

Para una mejor interpretación de los resultados, se presentan las gráficas en donde están agrupados y clasificados todos y cada uno de los híbridos, según la categoría en la que se encuentran.

Cuadro 4.11 Relación entre rendimiento medio observado y rendimiento medio predicho en cada ambiente.

Híbrido	Reynosa		Zaragoza		Celaya	
	Obtenido	Predicho	Obtenido	Predicho	Obtenido	Predicho
AN4 x IA9	2.64	2.60	3.23	3.32	3.93	3.88
AN34 x IA28	5.13	5.46	6.18	6.08	6.82	6.56
AN34 x IA52	3.30	1.27	2.44	2.41	1.25	3.29
AN34 x IA57	3.53	3.04	2.76	3.87	5.15	4.51
AN34 x RTX43	3.30	2.88	2.75	3.71	4.90	4.35
Pioneer 8313	4.56	2.70	4.77	3.94	2.23	4.89
AN35 x IA9	3.15	3.97	4.34	4.77	6.65	5.38
AN39 x IA28	3.40	3.79	6.49	5.57	6.43	6.94
AN39 x IA52	5.08	4.70	4.86	4.90	4.73	5.05
AN39 x IA57	4.97	3.36	5.44	4.49	2.82	5.36
AN39 x RTX433	5.56	5.13	5.05	6.02	7.27	6.71
Master 911	5.00	5.27	6.17	5.55	5.41	5.76
AN39 x IA9	3.95	3.57	4.32	5.17	6.89	6.40
AN39 x IA28	4.71	4.97	6.10	5.50	5.57	5.90
AN39 x IA52	4.63	4.35	4.58	4.52	4.32	4.65
AN39 x IA57	5.82	3.73	4.83	4.89	3.75	5.81
AN39 x TRX433	4.78	4.68	5.15	4.82	4.49	4.92
Marfil	3.78	3.78	5.37	5.36	6.58	6.58
IA36 x IA9	2.22	1.92	2.38	3.05	4.28	3.91
IA36 x IA28	5.10	5.22	5.79	5.50	5.55	5.71
IA36 x IA52	3.05	2.83	2.54	2.87	3.03	2.90
IA36 x IA57	3.03	2.39	2.23	3.71	5.55	4.72
IA36 x RTX433	4.36	3.49	2.66	4.67	6.72	5.58
Asgrow Osage	3.76	4.33	5.90	4.57	3.99	4.74
A2 x IA9	5.06	5.13	5.51	5.33	5.40	5.49
A2 x IA28	5.24	5.08	6.74	7.09	8.84	8.64
A2 x IA52	4.41	4.20	5.03	4.46	3.88	4.65
A2 x IA57	4.15	4.27	5.21	4.93	5.28	5.44
A2 x RTX433	3.59	3.70	5.46	5.21	6.21	6.36
Dekalb D-65	2.28	2.87	6.18	4.80	5.50	6.27



## CONCLUSIONES

Basándose en los resultados obtenidos, se llegó a las siguientes conclusiones:

1. La metodología utilizada para caracterizar los híbridos en estudio fue efectiva, ya que permitió la agrupación en 5 de las 6 situaciones posibles.
2. Se detectaron diferencias altamente significativas para la fuente de variación tratamientos (rendimiento de grano) en cada una de las tres localidades.
3. El 55.5% de los híbridos sometidos a estudio mostraron buena respuesta a todos los ambientes, considerando a 4 de ellos híbridos estables y los 16 restantes inconsistentes.
4. Se sugiere para la localidad de Zaragoza, Coah. las cruzas A2 x IA28, AN35 x IA28, AN39 x IA28, IA36 x IA28, para la localidad de Celaya, Gto. A2 x IA28, AN34 x IA28, AN34 x IA28 y AN35 x RTX433 y para Reynosa, Tamps. A2 x IA28, AN34 x IA28, IA36 x IA28, AN35 x RTX433 y AN39 x IA5

Los híbridos de categoría “A” generalmente tuvieron rendimientos menores.

6. Estadísticamente los resultados son confiables, pero para tener mayor seguridad sobre la estabilidad de los híbridos, sería conveniente evaluarlos durante más tiempo, abarcando varios ciclos productivos.



Fig. 4.1 LINEAS DE REGRESIÓN DE LA CARACTERÍSTICA RENDIMIENTO DE GRANO E INDICES AMBIENTALES DE HÉRDOS DE SORGO ESTABLES

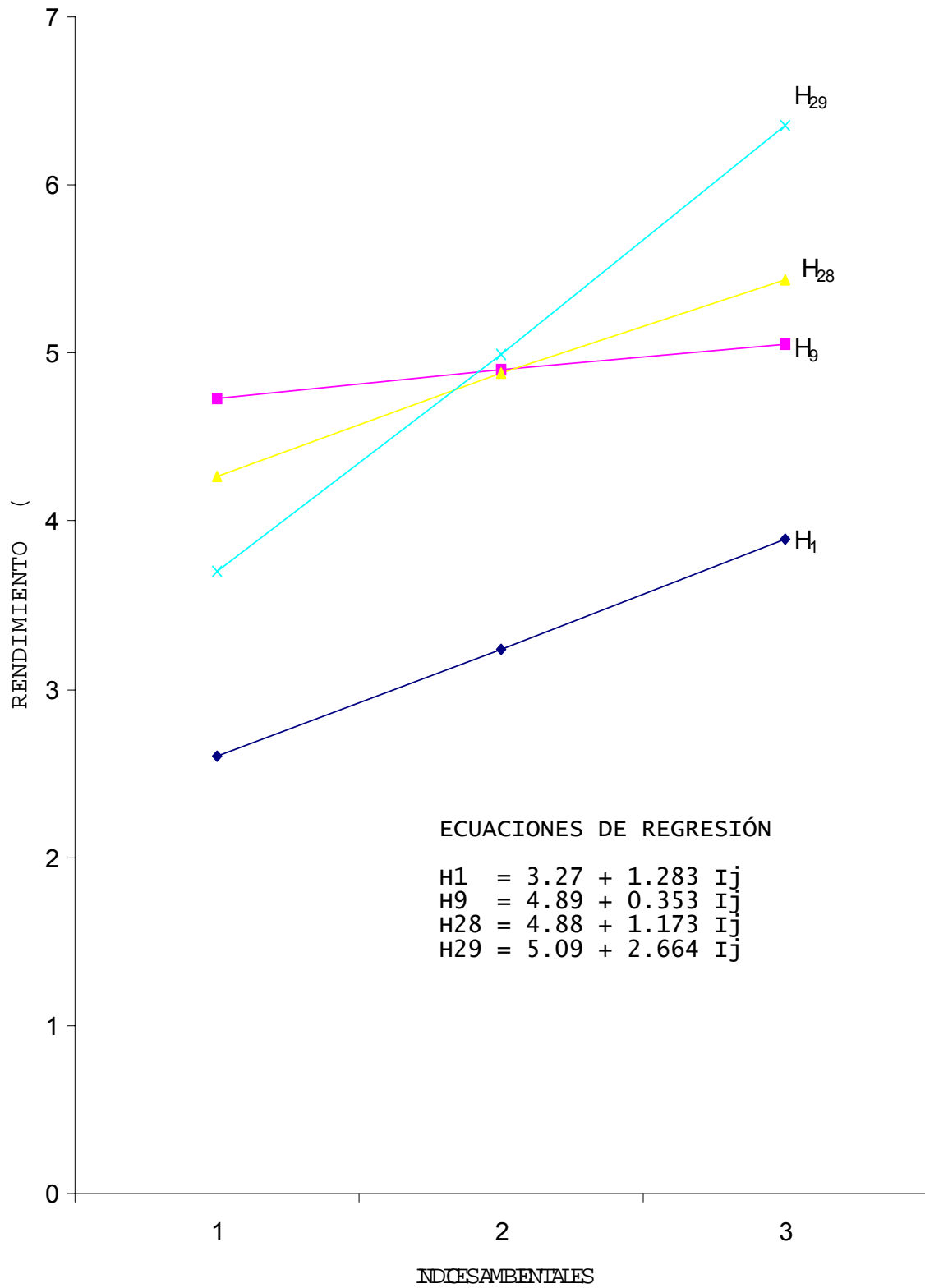


Fig. 4.2 LINEAS DE REGRESIÓN DE LA CARACTERÍSTICA RENDIMIENTO DE GRANO E ÍNDICES AMBIENTALES DE HÉRDOS DE SORGO CON BUENA RESPUESTA EN TODOS LOS AMBIENTES PERO INCONSISTENTES

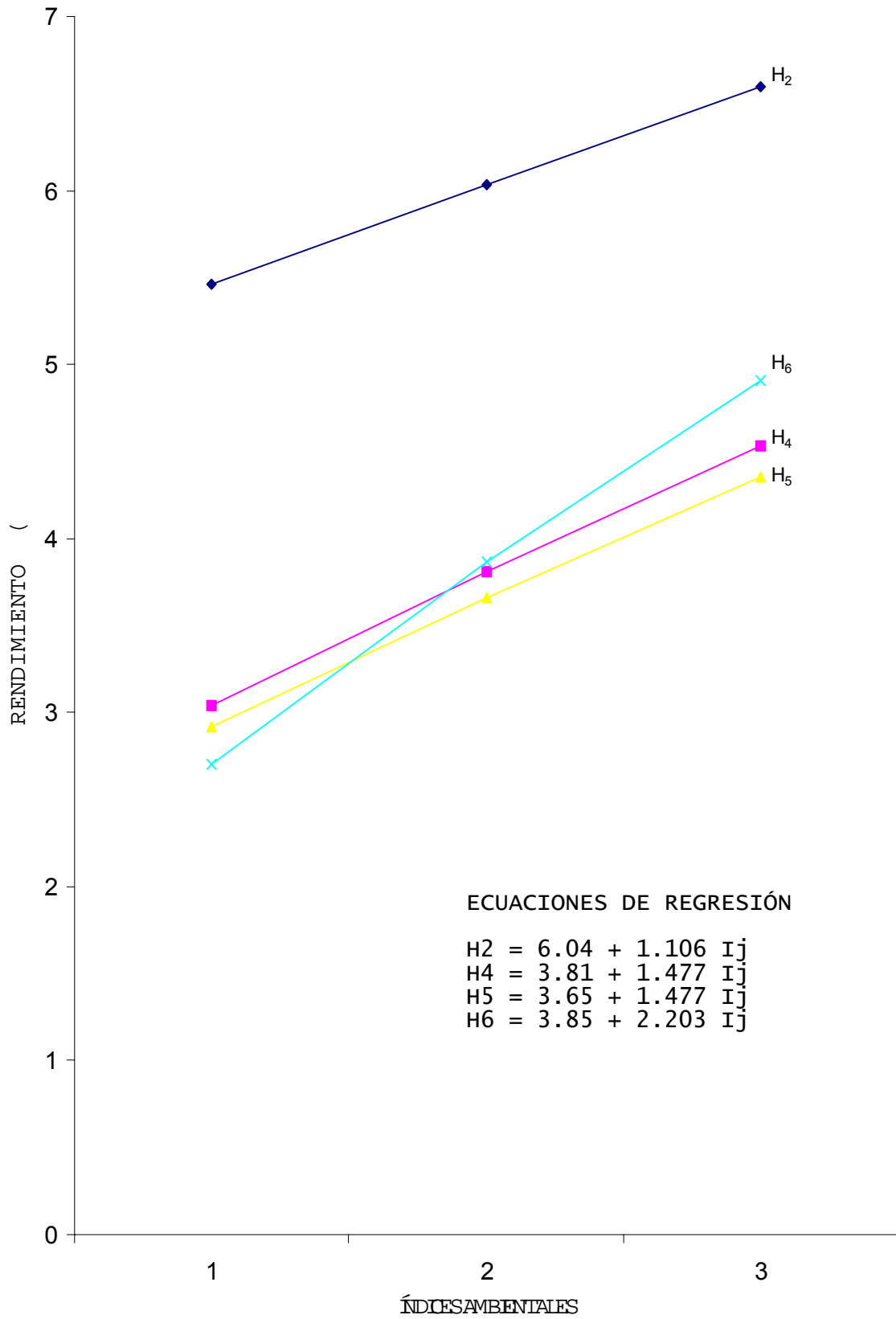


Fig. 4.3 LINEAS DE REGRESIÓN DE LA CARACTERÍSTICA RENDIMIENTO DE GRANO E ÍNDICES AMBIENTALES DE HÉRDOS DE SORGO DE BUENA RESPUESTA EN TODOS LOS AMBIENTES PERO INCONSISTENTES

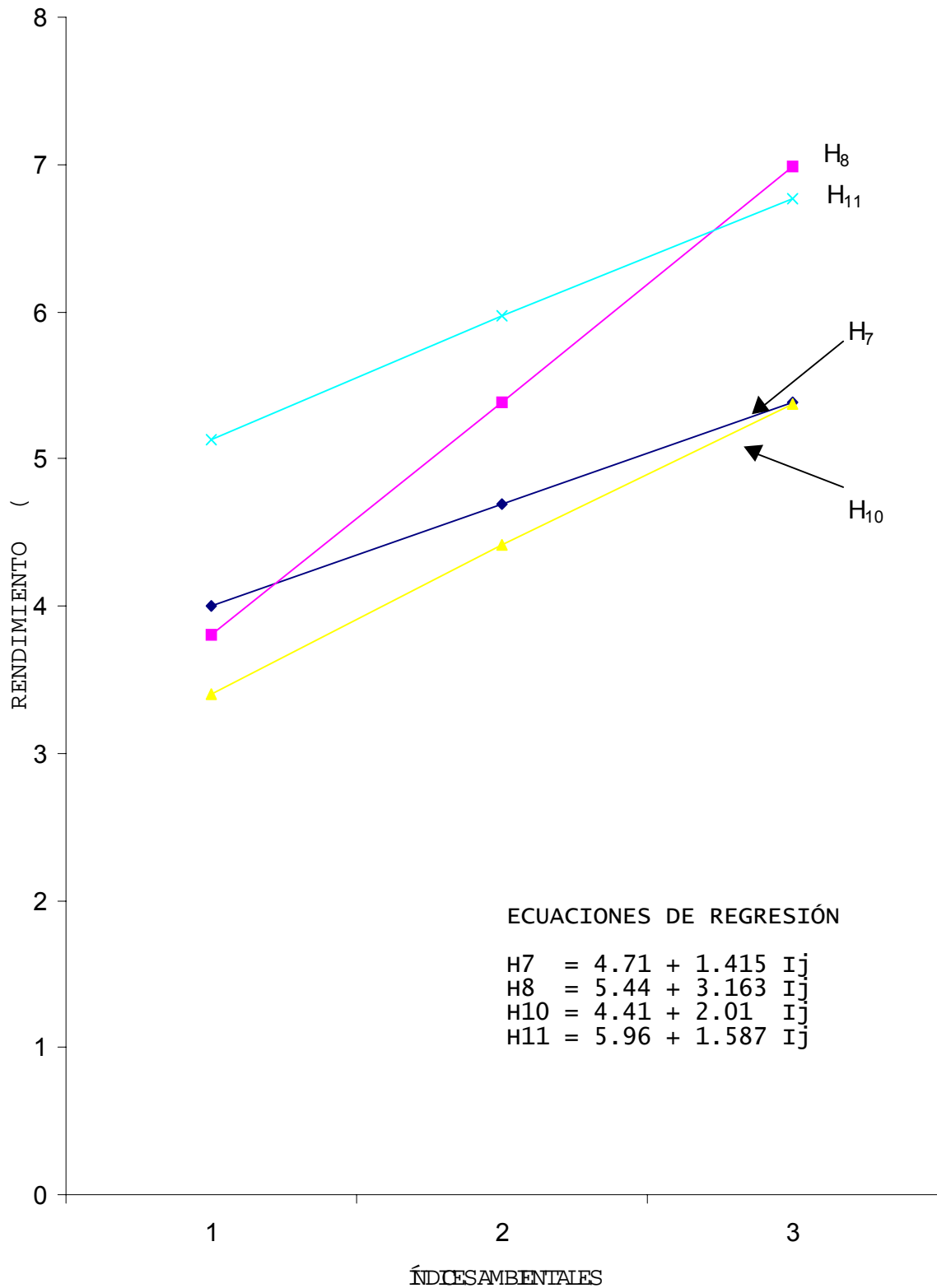


Fig. 4.4 LINEAS DE REGRESIÓN DE LA CARACTERÍSTICA RENDIMIENTO DE GRANO E ÍNDICES AMBIENTALES DE HÉRDOS DE SORGO CON BUENA RESPUESTA EN TODOS LOS AMBIENTES PERO INCONSISTENTES

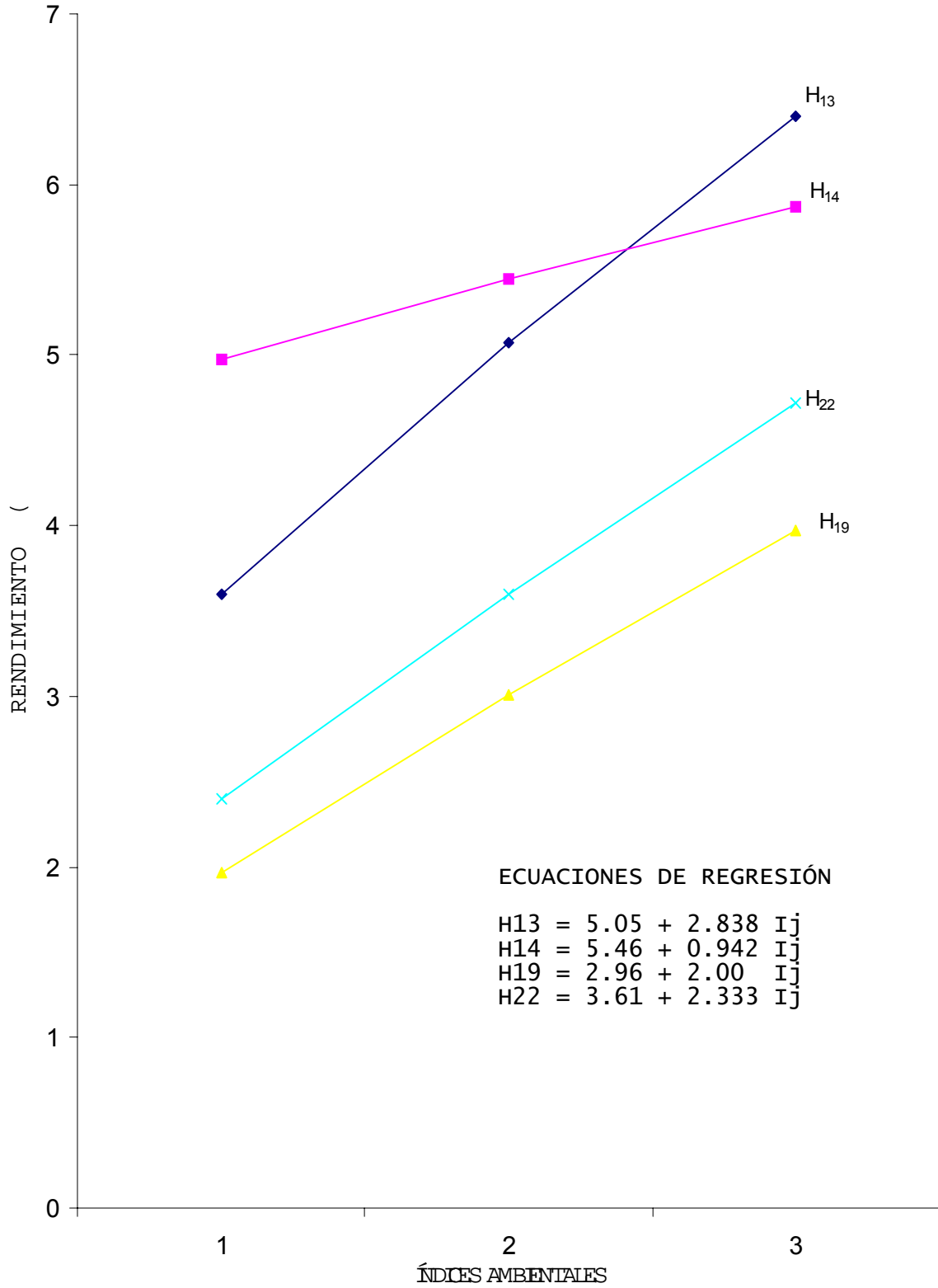


Fig. 4.5 LINEAS DE REGRESIÓN DE LA CARACTERÍSTICA RENDIMIENTO DE GRANO E ÍNDICES AMBIENTALES DE HÉRDOS DE SORGO CON BUENA RESPUESTA EN TODOS LOS AMBIENTES PERO INCONSISTENTES

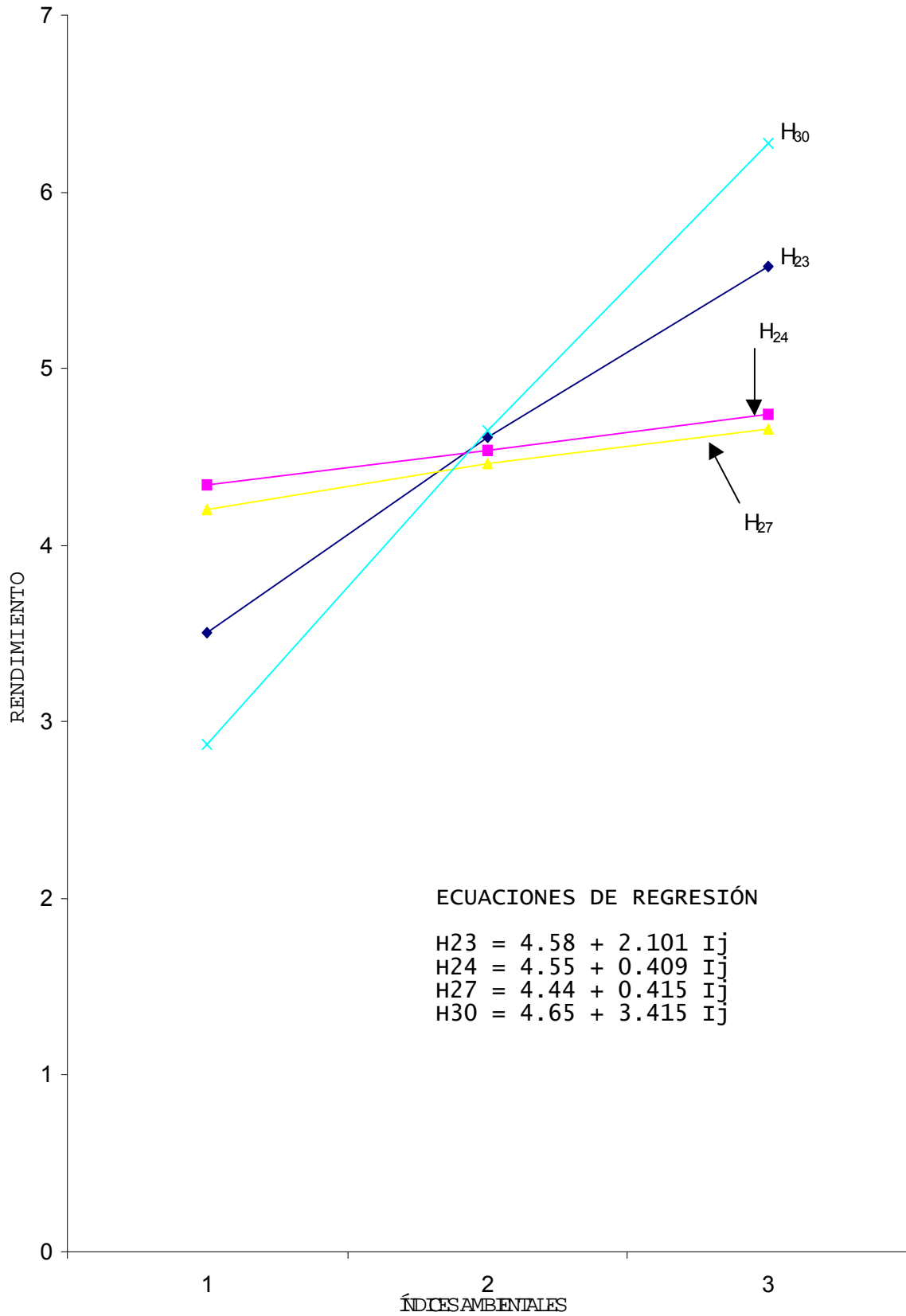




Fig. 4.6 LINEAS DE REGRESIÓN DE LA CARACTERÍSTICA RENDIMIENTO DE GRANO E ÍNDICES AMBIENTALES DE HÉRDOS DE SORGO EN AMBIENTES DESFAVORABLES Y CONSISTENTES

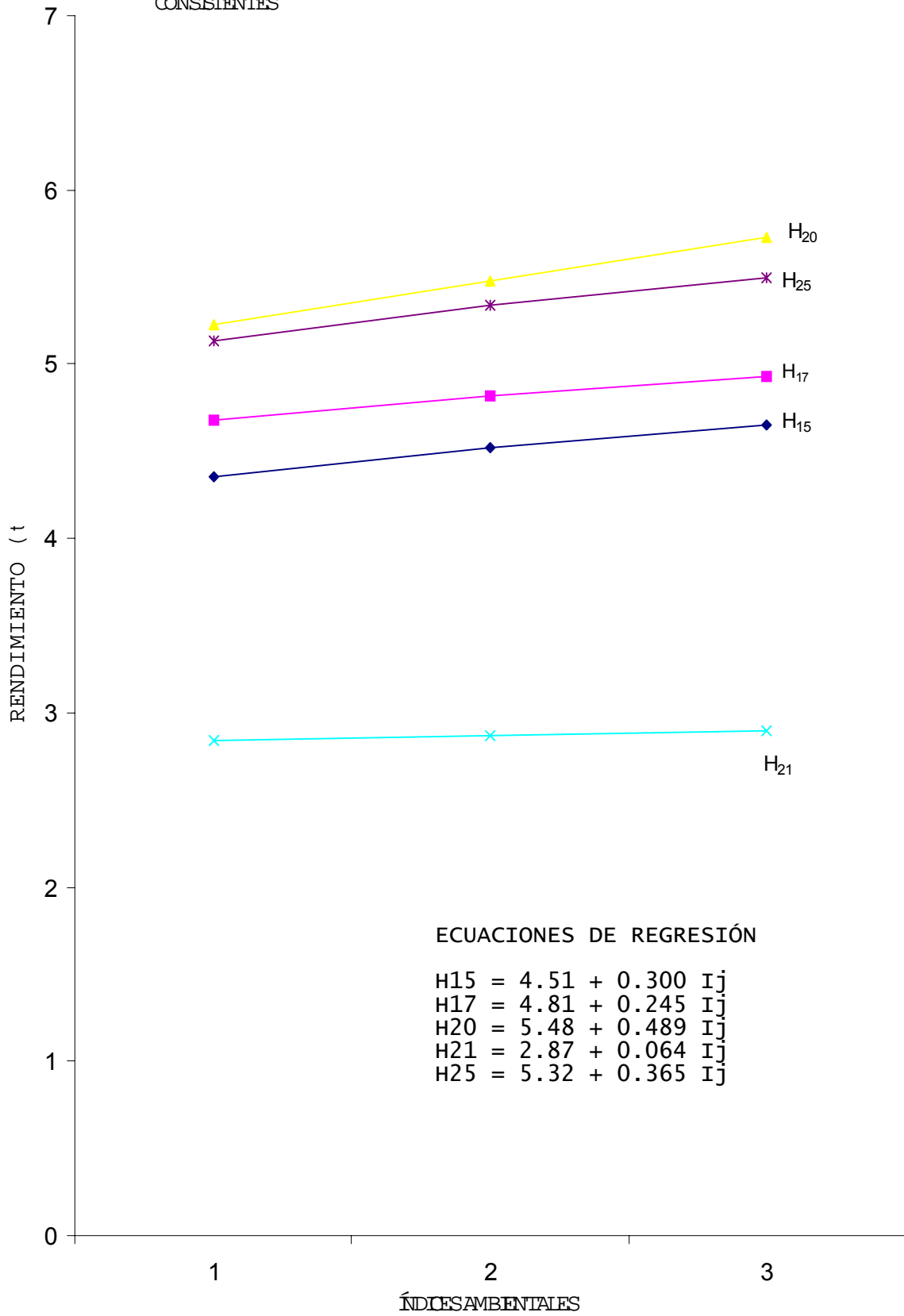


Fig. 4.7 LINEAS DE REGRESIÓN DE LA CARACTERÍSTICA RENDIMIENTO DE GRANO E ÍNDICES AMBIENTALES DE HÉRDOS DE SORGO MEJORES EN AMBIENTES DESFAVORABLES E INCONSIENTES

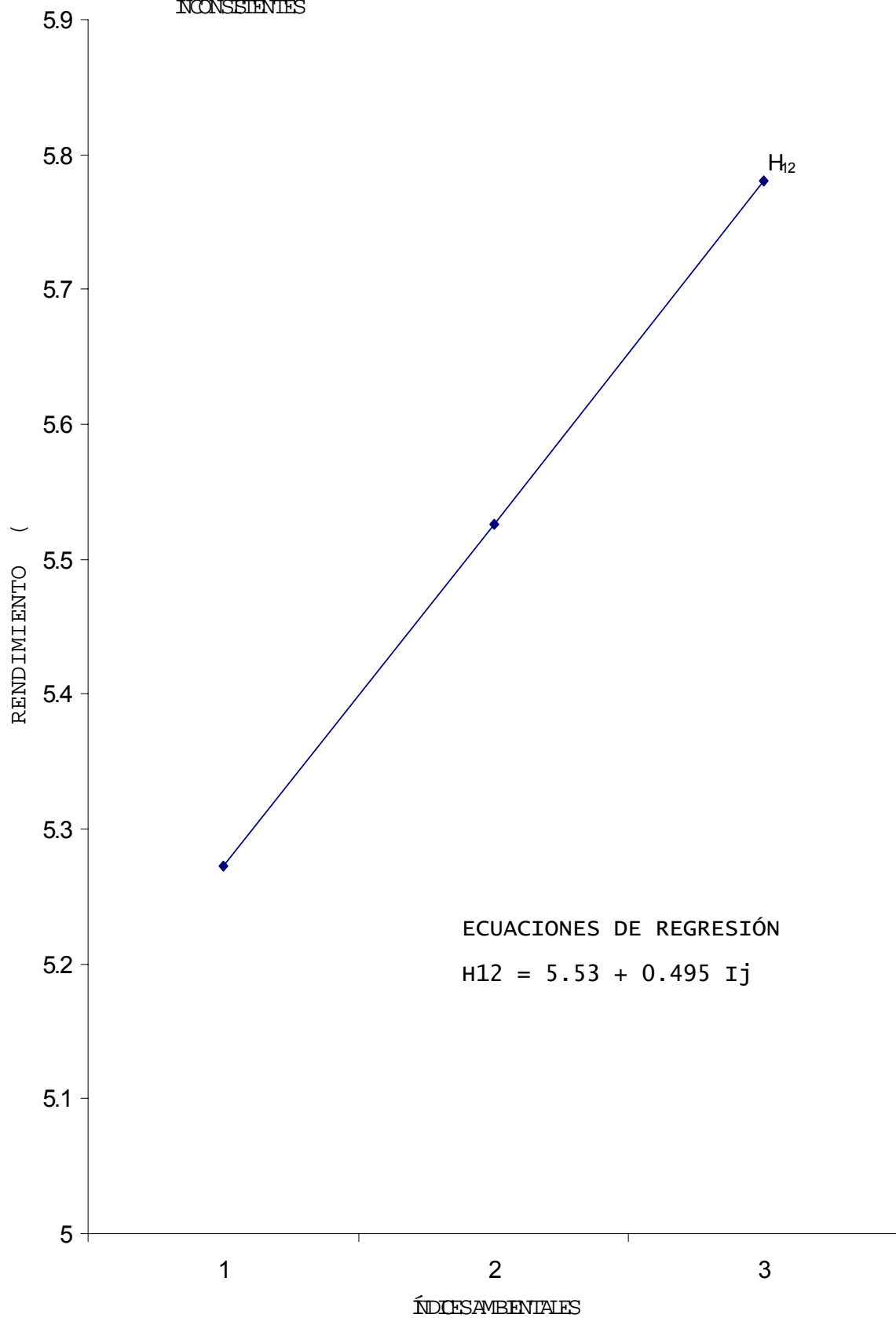
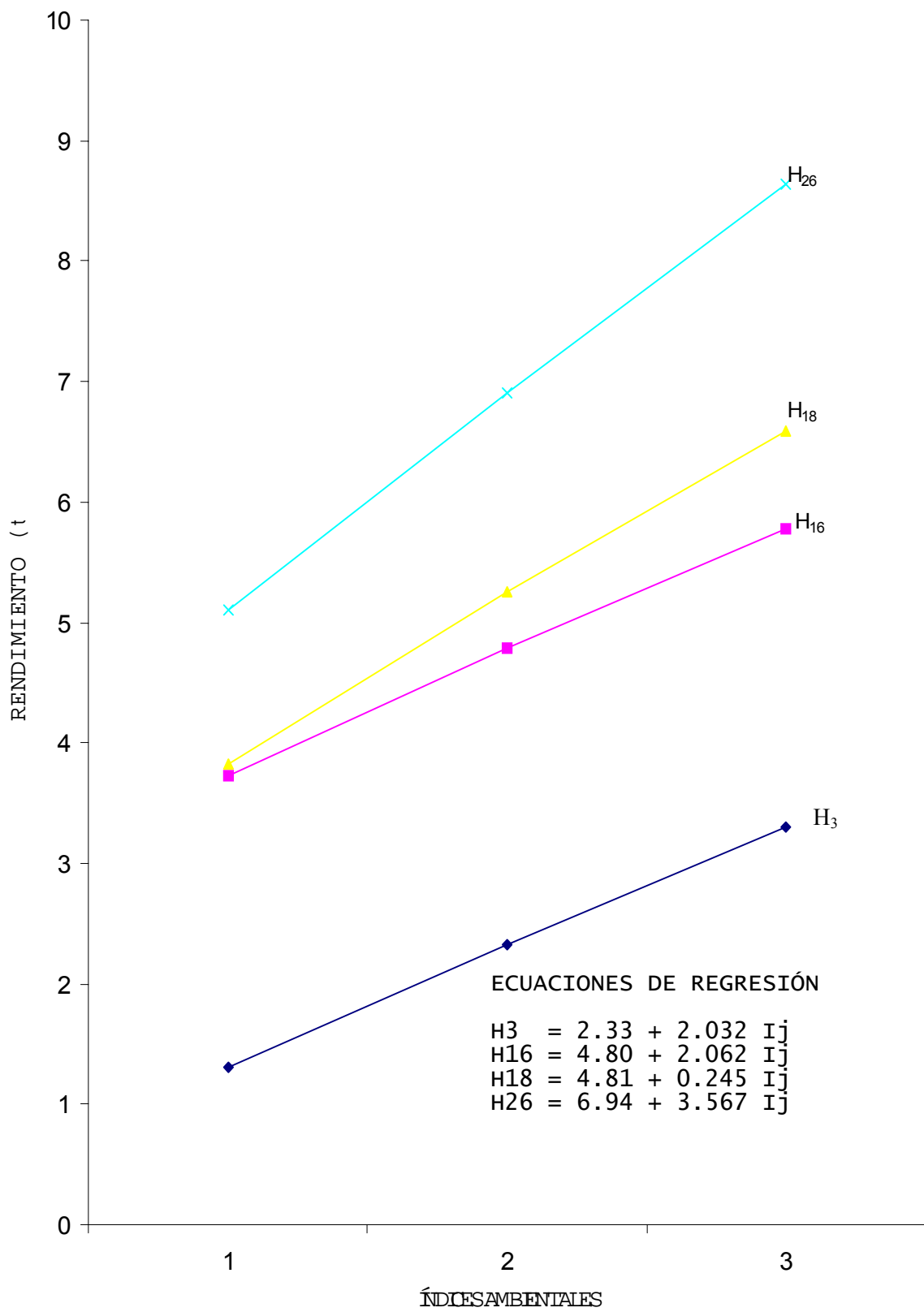


Fig. 4.8 LINEAS DE REGRESIÓN DE LA CARACTERÍSTICA RENDIMIENTO DE GRANO E ÍNDICES AMBIENTALES DE SORGO EN MEJORES AMBIENTES Y CONSISTENTES



## CITAS BIBLIOGRAFICAS

- Abou-El-Fittoh, H., Rawling, J. O. y Miller, P. A. 1969. Clasificación de ambiente con aplicación a algodón. *Crop. Sci.* 9:135-140.
- Allard, R. W. 1967. Principio de la mejora genética de las plantas. 1ª edición en español. Ed. Omega. Barcelona, España, 125 p.
- Allard, R. W. and A. D. Bradshaw 1964. Implications of genotype environmental interactions in applied plant breeding. *Crop. Sci.* 4: 503-507.
- Arjunan, A 1997. Selection of groundnut genotypes for irrigated and rainfed environments, *Indian Journal of plant physiology* (1997)2(2) 118-122 (En, 6 ref), Tamil Nadu Agricultural University, Regional Research Station, Vriddhachalam 606 001, India.
- Bilbro, J. D., Ray, L. L. Environmental stability and adaptation of several cotton cultivars. *Crop Science* (1979) 16(6) 821-824 (En, Gref.) Tex. A. & M. Univ. AGRIC. Res. & Extension centre, Lubbock. USA.
- Bradshaw, A. D. 1965. Evolutionary significance of phenotypic plasticity in plants. *Adv. Genet.* 13: 115-155.
- Brewbaker, J. L. & Gorrez, D. 1967. Genetics of self - incompatibility in the monocot genera, Ananas (pineapple) and Gatseria. *Amer. J. Bot.* 1967:54: 611 - 16.
- Bucio, A. L. 1966. Environment and genotype-environmental components of variability I. Inbred lines. *Heredity* 21: 387-397.
- Carballo, Carballo. A. 1970. Comparación de variedades de maíz del bajío y de la Mesa Central por su rendimiento y estabilidad. Tesis de M.C. C.P ENA. Chapingo México.
- Carballo, C. A. y F. Márquez S. 1972. Comparación de variedades de maíz del Bajío y la Mesa Central por su rendimiento y estabilidad. Rama de genética. Colegio de post-graduados. Chapingo México.
- Castellón, O. J. J. 1976. Uso de los parámetros de estabilidad como criterio de selección en maíces cristalinos de la Sierra de Chihuahua. Tesis profesional. Guadalajara, Jalisco. 65 p.

- Chávez, Ch. S. 1977. Estabilidad del rendimiento de grano de avena (*Avena sativa* L.) en diferentes agrupamientos ambientales. Tesis M.C. Colegio de post-graduados. Chapingo, México.
- Comstock, R. E., and Moll, R. H. 1963. Genotype environment interaction. Symposium on statistical genetics and plants breeding. NAS-VRC. Pub. 982, 164-196.
- Eberhart, S. A. and W. A. Russell. 1966. Stability parameters for comparing varieties. *Crop. Sci.* 6: 36-40.
- Finlay, K. W and G. N Wilkinson. 1963. The analysis of adaptation in a plant Breeding programe. *Aust. J. Agric. Res.* 14: 742-754.
- Francis, T. R.; Kannenberg, L. W. 1978. Yield sStability Studies in Short - Season maize. ( Abstract). *Canadian Journal of Plant Science* (1978) 58 (2) 580 (En. *Crop. Sci. Dep.*, Guelp Univ., Ont., Canada.
- Freeman, G. H., Perkins, J. M. 1971. Enviromental and Genotype – Environmental components of variability. VIII. Relations between genotypes grown in different environments and measures of these environments. *Heredity* (1971) 27(1) 15 – 23 (En, 12, ref) Nat. Veg. Res. Sta., Wellesbourne, Uk
- Ganga Prasada Rao, N. 1970. Genotype x environment interaction in grain sorghum hybrids. *Indian Journal of Genetics E Plant Breeding* (1970) 30(1) 75-80 (En, 8 ref.) Div. Genet., Indian Agric. Res. Inst., New Delhi.
- Goldsworthy, P. R., Palmer, A. F. E.; 1973. Colegrove. M.C. the growthand yield of highland and Ioland tropical maize. In *Agroonmy Abstracts* Madison, USA; American Society of Agronomy, (1973) 33 (En) CIMMYT, Londres, México.
- Hardwick, R. C, Wood, J. T. Regression methods for studying genotype – environment interactions. *Heredity* (1972) 28(2) 209 – 222 (En, 32, ref.) National Veg. Res. Sta., Wellesbourne, Warwick, UK.
- Hernández, S.A. 1987. Introducción al mejoramiento genético de cereales de grano pequeño, SARH-INIFAP. México, D.F. Tema didáctico No. 3. pp. 73-80.
- Horner, T. W. and K. J. Frey. 1957. Methods for determining natural áreas for oat varietal recomendations. *Agron. J.* 49: 313-315.

- Imabayashi, S. 1997. Genotype x environment interactions for early-maturing rice cultivars with high palatability in northern Kyushu, I. Yield, Japanese Journal of crop science (1997)664 538- 544 (ja, en 21 ref) Fukuoka Agricultural Research Center, Chikushino, Fukuoka 818, Japan
- Jensen, N. F. Embrugo culture of barley Species hybrids cytological Studies of *Hordeum sativum* x *Hordeum bulbosum*. J. Hered. 1951:42:125-34
- Jowett, D. 1972. Yield stability parameters for sorghum in east Africa. Crop. Sci (12):314-317.
- Juárez, E. R. 1977. Estudio de la interacción genotipo medio ambiente a la selección y recomendación de híbridos para sorgo para grano. tesis M.C. Colegio de post-graduados, ENA. Chapingo. México.
- Lin, C. S., M. R. Binns and L. A. Letrovith, 1986. Stability analysis: where do we stand? Crop. Sci. 26 (5): 894:899.
- Márquez, S. F. 1974. El problema de la interacción genético ambiental en genotecnia vegetal. Chapingo, México. Ed. Patena.
- Martínez, W., O. M. C. Terregoza y B. R. Martínez. 1970. Estabilidad fenotípica de poblaciones heterócigotas en maíces de clima frío. Fitotecnia Latinoamericana 71-84.
- Matsuo, T. 1975. Adaptability in plants H. I. B. P. Synthesis.
- Palomo, G. A y M. R. Prado. 1975. Estimación de los parámetros de estabilidad y su aplicación en investigación en el cultivo del algodónero. Comarca Lagunera. CIANE. 1975.
- Patanothai, A y Atkins, R. E. 1974. Genetic effects for mean yield and for yield reponses to environments in three way and single cross híbrids grain sorghum. Crop. Sci. 14: 485-488.
- Perkins, J. M & Jinks. J. L. Environmental and genotype - environmental components of variability. III. Múltiple lines and cross. Heredity. 1968:23:339 - 56.
- Pinthus, M. J. 1973. Estimate of genotypic value:a proposed method. Euphytica (1973) 22(1) 121-123 (En, 3 ref.) Hebrew Univ. Jerusalem, Fac. Agric. Rehovot, Israel.
- Plasteid, R. L y Peterson L. C. 1959. Technique for evaluating the ability of selections to yield consistently in different locations or seasons. American Potato Journal 36: 381-385.

- Puente, M. J. L. 1983. Evaluación de líneas per-se y su estabilidad para rendimiento de sorgo para grano en tres ambientes temporales. Tesis M. C. Especialidad fitomejoramiento. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Rasmusson, D. C y Lambert, J. W. 1961. variety x environment interactions in barley variety test. *Crop. Sci.* 1: 261-262.
- Reich, V. H, and P. E. Atkins. 1979. Yield stability of four population types of grain sorghum (*Sorghum bicolor* L. moench) in different environments. *Crop. Sci.* 5: 453-567.
- Rowe, P. R., y Andrew, R. H. 1964. Phenotype stability of yield in maize. *Crop. Sci.* 7: 59-551.
- Scott, G. E. 1967. Selecting for stability of yield in maize. *Crop. Sci.* 7: 549-551.
- Secretaría de Gobernación y Gobierno del Estado de Coahuila. Los Municipios de Coahuila. Colección: Enciclopedias de los Municipios de México, 1988.
- Secretaría de Gobernación y Gobierno del Estado de Tamaulipas. Los Municipios de Tamaulipas. Colección: Enciclopedias de los Municipios de México, 1988.
- Secretaría de Gobernación y Gobierno del Estado de Guanajuato. Los Municipios de Guanajuato. Colección: Enciclopedias de los Municipios de México, 1988.
- Singh, V., Singh, F. 1989. Selection criteria for yield in Chickpea (*Cicer arietinum*) *Indian Journal of Agricultural Sciences* (1989) 59(1) 32-35 (En, 5 ref.) Meerut Univ., Meerut, Uttar Pradesh 250005, India.
- Sood, B, C; Saini, G. C. 1989. Stability for yield and maturity in mash [*Vigna mungo* (L) Hepper]. *Indian Journal of genetics & plant breeding* (1989) 49(3) 309-311 (En, 2, ref.) Department of Plant Breeding. Himachal Pradesh Krishi Vishva Vidyalaya, Palampur 176 062, Gujarat, India.
- Stuber, C. W.; R. H. Moll, 1974. Epistasis in maize (*Zea mays* L.): IV. Crosses among lines selected for superior intervariety single cross performances. *Crop Science* (1974) 14(2) 314-317 (En, 8 ref.) NC State Univ. Raleigh, USA.

- Shukla, T.C, 1972. Phenotypic variation and its heritable components in quantitative yield-contributing characters in rice (*Oriza sativa* L) Indian journal of Agricultural Sciences (1972)42(8) 660-663 (En, 11 ref) Central Rice Res. Sta. Raipur. M.P.
- Tai, G. C. C. 1971. Genotypic stability analysis and its application to potato regional trials. *Crop*. 11: 184-190.
- Waes, J. Van. 1996. The role of environmental conditions on quantitative and qualitative characteristics of silage and corn maize varieties. In proceeding in the XVII th conference of genetics, biotechnology and breeding of maize and sorghum held at Thessalowiki, Greece, 20-25 october 1996 .
- Wilsie, C. P. 1962. Crop adaptation and distribution. W. H. Freeman and Co. San Francisco and London, 448 p.
- Wricke, G. 1962. Uber eine methode zur erfassung der okologische streubreite in feldversuchen *Z. Pflanzl. Zucht.* 47: 92



## APENDICE

APENDICE A.1 Ecuaciones de regresión para predecir el comportamiento de los 30 híbridos en los tres ambientes.

$$\hat{y} = x_i + b_i I_j$$

H11=	3.27	+	1.283	x	(-0.520)	=	2.60
H12=	3.27	+	1.283	x	0.044	=	3.23
H13=	3.27	+	1.28	x	0.476	=	3.88
H21=	6.04	+	1.103	x	(-0.520)	=	5.46
H22=	6.04	+	1.106	x	0.044	=	6.09
H23=	6.04	+	1.106	x	0.476	=	6.57
H31=	2.33	+	2.032	x	(-0.520)	=	1.27
H32=	2.33	+	2.032	x	0.044	=	2.42
H33=	2.33	+	2.032	x	0.476	=	3.30
H41=	3.81	+	1.477	x	(-0.520)	=	3.04
H42=	3.81	+	1.477	x	0.044	=	3.87
H43=	3.81	+	1.477	x	0.476	=	4.51
H51=	3.65	+	1.477	x	(-0.520)	=	2.88
H52=	3.65	+	1.477	x	0.044	=	3.71
H53=	3.65	+	1.477	x	0.476	=	4.35
H61=	3.85	+	2.203	x	(-0.520)	=	2.70
H62=	3.85	+	2.203	x	0.044	=	3.95
H63=	3.85	+	2.203	x	0.476	=	4.89
H71=	4.71	+	1.415	x	(-0.520)	=	3.97
H72=	4.71	+	1.415	x	0.044	=	4.77
H73=	4.71	+	1.415	x	0.476	=	6.95
H81=	5.44	+	3.163	x	(-0.520)	=	3.79
H82=	5.44	+	3.163	x	0.044	=	5.58
H83=	5.44	+	3.163	x	0.476	=	6.94
H91=	4.89	+	0.353	x	(-0.520)	=	4.71
H92=	4.89	+	0.353	x	0.044	=	4.90
H93=	4.89	+	0.353	x	0.476	=	5.06
H101=	4.41	+	2.01	x	(-0.520)	=	3.36
H102=	4.41	+	2.01	x	0.044	=	4.49
H103=	4.41	+	2.01	x	0.476	=	5.37
H111=	5.96	+	1.587	x	(-0.520)	=	5.13
H112=	5.96	+	1.587	x	0.044	=	6.03
H113=	5.96	+	1.587	x	0.476	=	6.71
H121=	5.53	+	0.495	x	(-0.520)	=	5.27
H122=	5.53	+	0.495	x	0.044	=	5.55
H123=	5.53	+	0.495	x	0.476	=	5.76
H131=	5.05	+	2.838	x	(-0.520)	=	3.57
H132=	5.05	+	2.838	x	0.044	=	5.17
H133=	5.05	+	2.838	x	0.476	=	6.40
H141=	5.46	+	0.942	x	(-0.520)	=	4.97
H142=	5.46	+	0.942	x	0.044	=	5.50
H143=	5.46	+	0.942	x	0.476	=	5.91
H151=	4.51	+	0.300	x	(-0.52)	=	4.35
H152=	4.51	+	0.300	x	0.044	=	4.52
H172=	4.81	+	0.245	x	0.044	=	4.82
H173=	4.81	+	0.245	x	0.476	=	4.93
H181=	4.81	+	0.245	x	(-0.520)	=	3.78
H182=	4.81	+	0.245	x	0.044	=	5.36

H183= 4.81 + 0.245 x 0.476 = 6.58  
 H191= 2.96 + 2.00 x (-0.520) = 1.92  
 H192= 2.96 + 2.00 x 0.044 = 3.05  
 H193= 2.96 + 2.00 x 0.476 = 3.91  
 H201= 5.48 + 0.489 x (-0.520) = 5.22  
 H202= 5.48 + 0.489 x 0.044 = 5.50  
 H203= 5.48 + 0.489x 0.476 = 5.71  
 H211= 2.87 + 0.064 x (-0.520) = 2.84  
 H212= 2.87 + 0.064 x 0.044 = 2.87  
 H213= 2.87 + 0.064 x 0.476 = 2.90  
 H221= 3.61 + 2.333 x (-0.520) = 2.39  
 H222= 3.61 + 2.333 x 0.044 = 3.71  
 H223= 3.61 + 2.33 x 0.476 = 4.72  
 H231= 4.58 + 2.101 x (-0.520) = 3.49  
 H232= 4.58 + 2.10 x 0.044 = 4.67  
 H233= 4.58 + 2.101 x 0.476 = 5.58  
 H241= 4.55 + 0.409 x (-0.520) = 4.34  
 H242= 4.55 + 0.409 x 0.044 = 4.57  
 H243= 4.55 + 0.409 x 0.476 = 4.74  
 H251= 5.32 + 0.365 x (-0.520) = 5.13  
 H252= 5.32 + 0.365 x 0.044 = 5.33  
 H253= 5.32 + 0.036 x 0.476 = 5.49  
 H261= 6.94 + 3.567 x (-0.520) = 5.08  
 H262= 6.94 + 3.567 x 0.044 = 7.09  
 H263= 6.94 + 3.567 x 0.476 = 8.64  
 H271= 4.44 + 0.451 x (-0.520) = 4.20  
 H272= 4.44 + 0.415 x 0.044 = 4.46  
 H273= 4.44 + 0.415 x 0.476 = 4.65  
 H281= 4.88 + 1.173 x (-0.520) = 4.27  
 H282= 4.88 + 1.173 x 0.044 = 4.93  
 H283= 4.88 + 1.173 x 0.476 = 5.44  
 H291= 5.09 + 2.664 x (-0.520) = 3.70  
 H292= 5.09 + 2.664 x 0.044 = 5.21  
 H293= 5.09 + 2.664 x 0.476 = 6.34  
 H301= 4.65 + 3.415 x (-0.520) = 2.87  
 H302= 4.65 + 3.415 x 0.044 = 4.80  
 H303= 4.65 + 3.415 x 0.476 = 6.27