



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

**INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION EN CIENCIAS
AGRICOLAS**

CAMPUS MONTECILLO

**POSTGRADO DE RECURSOS GENETICOS Y PRODUCTIVIDAD
GENETICA**

**IDENTIFICACION DE MEGA-AMBIENTES Y GENOTIPOS
IDEALES DE CEBADA BASADO EN VEINTISIETE AÑOS
DE DATOS DE RENDIMIENTO EN LOCALIDADES DE
TODO EL MUNDO**

EDUARDO HERNANDEZ SEGUNDO

T E S I S

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

DOCTOR EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MEXICO


2009

La presente tesis titulada: **Identificación de mega-ambientes y genotipos ideales de cebada basado en veintisiete años de datos de rendimiento en localidades de todo el mundo**, realizada por el alumno **Eduardo Hernández Segundo** bajo la dirección del Consejo Particular indicado ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**DOCTOR EN CIENCIAS
RECURSOS GENETICOS Y PRODUCTIVIDAD
GENETICA**


CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



Dr. José Apolinar Mejía Contreras

DIRECTOR DE TESIS




Dr. Richard Trethowan

ASESOR



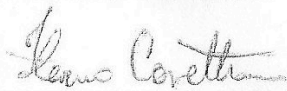
Dr. Aquiles Carballo Carballo

ASESOR




Dr. Maarten Van Ginkel

ASESOR



Dr. Flavio Capettini

ASESOR



Dr. Mateo Vargas Hernández

Montecillo, Texcoco, México, 21 de agosto de 2009.

IDENTIFICACION DE MEGA-AMBIENTES Y GENOTIPOS IDEALES DE CEBADA BASADO EN VEINTISIETE AÑOS DE DATOS DE RENDIMIENTO EN LOCALIDADES DE TODO EL MUNDO

Eduardo Hernández Segundo, Doctor

Colegio de Postgraduados, 2009

La presente investigación fue basada en información recabada durante veintisiete años de mejoramiento por el programa de cebada ICARDA-CIMMYT; derivada de la siembra del ensayo internacional IBYT (International Barley Yield Trial) en 77 países, 251 localidades, 750 experimentos y 750 genotipos. Este estudio tuvo como principales propósitos observar la diversidad genética de la cebada para adaptarse a una gran gama de ambientes contrastantes, identificar los mega-ambientes en el mundo para el cultivo de la cebada (*Hordeum Vulgare L.*), identificar las mejores localidades en todo el mundo para hacer mejoramiento genético de la cebada, así como identificar por su gran estabilidad y rendimiento, a los mejores genotipos a través de años y localidades, al mismo tiempo este estudio permitió contabilizar el avance genético de líneas liberadas al mundo, en términos del incremento en rendimiento y resistencia a enfermedades a través de los años. Los resultados indicaron que el cultivo de la cebada tiene una amplia adaptabilidad a una gran variedad de ambientes, destacando aquellos donde las condiciones ambientales no son aptas para otros cultivos y ofreciendo por ende una alternativa viable para agricultores pobres del planeta. Este estudio permitió identificar tres grandes mega-ambientes diferenciados en gran parte por su temperatura y precipitación, al mismo tiempo se identificó una localidad clave ó representativa de cada mega-ambiente; las tres localidades que mejor representan a los tres mega-ambientes son: Leída, España; Boulifa, Túnez y Setif, Argelia. Estas tres localidades se encuentran entre los 36 y 41 grados de latitud norte y las tres comparten un clima tipo mediterráneo en común. Se identificaron veintisiete genotipos; uno por cada año de estudio, los cuales mostraron los mejores rendimientos y estabilidad a través de localidades, cada uno de estos genotipos se propone para cada mega-ambiente identificado.

Palabras clave: análisis de patrones, mega-ambientes, genotipo por ambiente, Cebada

**IDENTIFICACION DE MEGA-AMBIENTES Y GENOTIPOS IDEALES DE
CEBADA BASADO EN VEINTISIETE AÑOS DE DATOS DE RENDIMIENTO
EN LOCALIDADES DE TODO EL MUNDO**

**Eduardo Hernández Segundo, Doctor
Colegio de Postgraduados, 2009**

This research was based on information gathered during twenty-seven years of breeding by the ICARDA-CIMMYT barley program, derived from the planting of the international barley yield trial (IBYT) in 77 countries, 251 locations, 750 experiments and 750 genotypes. This study had as main purpose to observe the genetic diversity of barley adaptation to a wide range of contrasting environments, identify the mega-environments in the world for growing barley (*Hordeum vulgare* L.), to identify the best locations throughout the world for genetic improvement of barley, as identified by their high stability and performance improved genotypes through the years and locations, while this analysis allowed us to visualize the progress of released lines for yield and diseases resistant through years. The results indicated that the barley crop has a wide adaptability to a variety of environments, highlighting those where environmental conditions are not suitable for other crops and thus offering a viable alternative, especially in marginalized areas for the poor producers of the world. This study allowed to identify three main mega-environments differentiated largely by precipitation and temperature at the same time identify a representative location of each key or mega-environment, the three areas that best represent the three mega-environments are Leida, Spain, Boulifa; Tunisia and Setif, Argelia. These three sites are between 36 and 41 degrees north latitude and all three have in common a Mediterranean climate. Twenty-seven genotypes were identified, one for each year of study, which showed the best performance and stability through villages, each of these genotypes is proposed for each identified mega-environment.

Keywords: pattern analysis, mega-environments, genotype by environment, Barley

AGRADECIMIENTOS

Al pueblo Mexicano que a través del Consejo de Nacional de Ciencia y Tecnología hicieron posible mis estudios apoyándome económicamente.

Al Dr. Apolinar Mejía Contreras por todo su tiempo extra invertido para la revisión y seguimiento de mi tesis, además de sus apreciables consejos y sugerencias para mi estudio doctoral. Muchas veces tuve que ir a su casa para hablar de mi tesis y eso lo agradezco mucho.

Al Dr. Aquiles Carballo, quien durante el tiempo que lo conozco ha demostrado ser un excelente profesor y un buen amigo.

Al Dr. Richard Trethowan por su ejemplo a seguir como un investigador con mucha visión y un talento increíble para la investigación en mejoramiento genético.

Al Dr. Maarten van Ginkel que sin su apoyo durante mi estancia de trabajo en el CIMMYT no hubiera podido concluir mis estudios de doctorado, además de ser un excelente ser humano, el a sido como un ejemplo en mi vida laboral por su tenacidad para conducir una investigación científica. También quiero agradecer su apoyo para la realización de mi estancia doctoral en Australia, que además de apoyarme a conseguir casa, apoyo económico y lugar donde aprender, me dio muchos consejos sobre lo que es la esencia de una investigación.

Al Dr. Flavio Capettini, quien apoyo el proyecto de utilizar los datos del programa de cebada para conducir mi estudio.

A Celia Rocha, por apoyarme incondicionalmente para el trámite y correcciones a mi tesis, ya que estando lejos del Colegio de Postgraduados es necesario tener un buen amigo para apoyar en todos los tediosos trámites que conlleva una tesis.

Al Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) por todas sus facilidades para desarrollar mi tesis, además de contar con un ejemplar personal laboral tiene laboratorios de primera calidad, principalmente al laboratorio de información de cultivos (CRIL).

DEDICATORIA

Con mucho cariño y amor a mi esposa Georgina Hernández, que sin su paciencia y apoyo no hubiera podido concluir mis estudios doctorales, para concluir mi tesis gaste mucho tiempo que correspondía a mi familia.

A mis hijos Max Edward, Eduardo, Samy y Jesús Antonio, que han servido como inspiración para seguir con inquietud en desarrollarme profesionalmente y cada día ser mejor padre.

A mis padres: María Félix Segundo y Jesús Hernández, quienes me educaron con su ejemplo y me enseñaron que todo logro conlleva muchas veces a sacrificar algo muy querido.

A mis hermanos y amigos: María Luisa, Juan Carlos, José Manuel, Jesús Alberto, Felipe y Liliana

A mis amigos y compañeros: Francisco Cervantes, Antonino Gutiérrez, Fabián Vázquez y Víctor Valenzuela, Jesús Perales (Cachis), Hugo Ramírez (Ranita), Jaime (Patrón), Juan Aguilar y muchos otros que escapan por este momento de mi mente.

INDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN GENERAL	i
GENERAL SUMMARY	ii
INDICE DE CUADROS	vi
INDICE DE FIGURAS	vii
CAPITULO I. INTRODUCCION GENERAL	1
OBJETIVOS	3
HIPOTESIS	3
CAPITULO II. IDENTIFICACION DE MEGA-AMBIENTES PARA CEBADA BASADO EN VEINTISIETE AÑOS DE DATOS DE RENDIMIENTO MUNDIALES	4
RESUMEN	4
SUMMARY	5
INTRODUCCION	6
OBJETIVOS	7
MATERIALES Y METODOS	7
Agrupación de sitios y construcción de dendogramas	11
Análisis de patrones	11
Modelo Multiplicativo Móvil (MMM) para agrupar sitios dentro de grupos sin ó mínima interacción cruzada (IC)	12
Datos Climáticos	12
RESULTADOS	12
Análisis de patrones para lugares representados en dos ó más años	12
Asociación entre sitios	19
DISCUSIÓN	28
LITERATURA CITADA	31
CAPITULO III. RECOMENDACION DE GENOTIPOS ESTABLES Y DE ALTO RENDIMIENTO BASADO EN VEINTISIETE AÑOS DE DATOS PARA CEBADA	35
RESUMEN	35
SUMMARY	36
INTRODUCCION	37
MATERIALES Y METODOS	39
Análisis Estadístico	42
RESULTADOS Y DISCUSION	43
Selección de los mejores genotipos por año de estudio	48
Comparación del mejor genotipo contra el testigo local	50
Recomendación de genotipos por mega-ambiente	51
CONCLUSIONES	53
LITERATURA CITADA	54
CAPITULO IV. DISCUSION GENERAL	56
CONCLUSIONES GENERALES	59
LITERATURA GENERAL CITADA	60
APENDICE	62

INDICE DE CUADROS

	Pág.
CAPÍTULO II	
Cuadro 1. Información general para años, genotipos, repeticiones y número de ensayos.	10
Cuadro 2. Lista de localidades usadas en el análisis MMM para los 27 años, latitud, longitud, altitud y el grupo correspondiente, Grupo 1 (G1), Grupo 2 (G2) y Grupo 3 (G3) asociado con el análisis de patrones.	16
Cuadro 3. País, Localidad, Fecha de siembra y cosecha (meses), Temperatura media (°C), Precipitación acumulada (mm) y rendimiento (t/ha)	19
Cuadro 4. Resumen de enfermedades reportadas para los sitios identificados por el análisis de patrones. Grupo (G), País, Localidad, BYDV (Enanismo amarillo de la cebada), PM (Oidio); BSG (Barley Stripe Graminearum); HS <i>Helminthosporium Sativum</i> en la hoja; NB (Helmintosporiosis); SR (Roya del tallo);BLR (Roya de la cebada en la hoja); SRL (Roya rallada en la hoja); SS (Roya rallada en la espiga); S (Escaldadura).	26
CAPÍTULO III.	
Cuadro 1. Número de ensayos del IBYT, Año de estudio, Número de genotipos, Número de repeticiones y Número de ensayos o experimentos.	41
Cuadro 2. Región del mundo, País y Número de localidades	42
Cuadro 3. Análisis de varianza para cada año de estudio	44
Cuadro 4. Porcentaje del total de suma de cuadrados, explicado por los seis componentes principales	47
Cuadro 5. Genotipos seleccionados	48
Cuadro 6. Recomendación de genotipos para cada mega-ambiente	53
CAPÍTULO IV	

Cuadro 1. Resumen de información general para cada mega-ambiente (ME), Localidad Clave o representativa de cada ME, País, Temperatura, Precipitación, Rendimiento, Ciclo de cultivo, Latitud y Longitud **57**

APENDICE

Cuadro 1A. Lista de localidades usadas en el análisis MMM para los 27 años, latitud, longitud, altitud y el grupo correspondiente **62**

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
CAPÍTULO II	
Figura 1. Dendograma construido a partir del análisis de patrones, representando la asociación de sitios sembrados en dos o más años (segunda línea de fusión)	14
Figura 2. Mapa de localidades, agrupadas por el análisis de patrones para aquellos sitios que reportaron por lo menos dos veces datos de rendimiento para el IBYT. Los sitios clave o representativos de cada grupo son: Leida (La Carrerada), España (sitio clave1); Boulifa, Túnez (sitio calve 2) y Setif, Argelia (sitio clave 3).	15
Figura 3. Precipitación media durante el ciclo de cultivo para cada una de las localidades clave ó representativas, basado en información ambiental de cincuenta años (1950 al 2000)	18
Figura 4. Temperatura media durante el ciclo de cultivo para cada una de las localidades clave ó representativas, basado en información ambiental de cincuenta años (1950 al 2000)	18
CAPÍTULO III	
Figura 1. Relación entre la suma de cuadrados correspondiente a genotipo; SC (G) y suma de cuadrados debida a la interacción genotipo por ambiente; SC (GA)	46
Figura 2. Rendimiento anual a través de años; el mejor genotipo contra el testigo local	51
Figura 3. Genotipo asociado a cada mega-ambiente	52
APENDICE	
Figura 1A. Grafica de estabilidad para el año 1979	71
Figura 2A. Grafica de estabilidad para el año 1980	72
Figura 3A. Grafica de estabilidad para el año 1981	73
Figura 4A. Grafica de estabilidad para el año 1982	74

Figura 5A. Grafica de estabilidad para el año 1983	75
Figura 6A. Grafica de estabilidad para el año 1984	76
Figura 7A. Grafica de estabilidad para el año 1985	77
Figura 8A. Grafica de estabilidad para el año 1986	78
Figura 9A. Grafica de estabilidad para el año 1987	79
Figura 10A. Grafica de estabilidad para el año 1988	80
Figura 11A. Grafica de estabilidad para el año 1989	81
Figura 12A. Grafica de estabilidad para el año 1990	82
Figura 13A. Grafica de estabilidad para el año 1991	83
Figura 14A. Grafica de estabilidad para el año 1992	84
Figura 15A. Grafica de estabilidad para el año 1993	85
Figura 16A. Grafica de estabilidad para el año 1994	86
Figura 17A. Grafica de estabilidad para el año 1995	87
Figura 18A. Grafica de estabilidad para el año 1996	88
Figura 19A. Grafica de estabilidad para el año 1997	89
Figura 20A. Grafica de estabilidad para el año 1998	90
Figura 21A. Grafica de estabilidad para el año 1999	91
Figura 22A. Grafica de estabilidad para el año 2000	92
Figura 23A. Grafica de estabilidad para el año 2001	93
Figura 24A. Grafica de estabilidad para el año 2002	94
Figura 25A. Grafica de estabilidad para el año 2003	95
Figura 26A. Grafica de estabilidad para el año 2004	96
Figura 27A. Grafica de estabilidad para el año 2005	97

INTRODUCCION GENERAL

La Cebada (*Hordeum Vulgare, L.*) es el cuarto cultivo mas sembrado en el mundo, después del Arroz, Trigo y Maíz; con gran adaptación a una amplia variedad de condiciones ambientales que van desde los círculos árticos hasta las altas montañas (Alam, A. K. M. M, et al., 2006; Harlan, 1976; Vivar, 2001), los primeros registros de su cultivo datan de 10,000 años antes de Cristo en el Medio Este (Zohary y Hopf, 2000) y su origen ha sido revelado por varios estudios avanzados de arqueología y moleculares, los cuales ubican su centro de origen en el creciente fértil e incluye los países: Egipto, Siria, Arabia Saudita, Israel, Cisjordania, Franja de Gaza, Libano, Jordania, Iraq y Turquía.

Desde la domesticación de muchos cultivos que hoy en día son básicos para la alimentación humana, el incremento del rendimiento es una característica clave para muchos programas de mejoramiento genético de cereales (Harlan et al., 1973), atribuída su importancia por el constante crecimiento de la población mundial. El programa de mejoramiento de cebada ICARDA-CIMMYT (Centro Internacional de investigación agrícola en áreas áridas-Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo) localizado en México, ha enfocado esfuerzos para aumentar el rendimiento de la cebada a nivel mundial, para esto, cada año se agrupan dentro del ensayo internacional de cebada (IBYT) entre 25 y 50 genotipos con las mejores características de resistencia a enfermedades y rendimiento, los cuales son enviados a diferentes países del mundo, especialmente aquellos países en vías de desarrollo (Vivar, 2001). El IBYT es enviado a cooperadores que conforman la red de agricultores del CIMMYT en todo el mundo de acuerdo a solicitud de semilla, ésta es entonces enviada con la única condición de regresar información general del experimento, tales como rendimiento y enfermedades.

Como el programa de mejoramiento de cebada ICARDA-CIMMYT es desarrollado bajo las condiciones de México y enviado a todo el mundo, se hace necesario un estudio de identificación de mega-ambientes (ME), entendiendo éste, como área de tierra no necesariamente continua (Braun 1996), basado en la interacción genotipo por ambiente (IGA) que por la gran variabilidad de ambientes a las que

es enviado el IBYT. El IGA es grande (Crossa, et al. 1996), la clasificación en mega-ambientes ha permitido al CIMMYT distribuir de manera exitosa el germoplasma de trigo (Braun, et al., 1996) y de esta forma hacer eficiente el mejoramiento; por incrementar la heredabilidad genética y concentrar esfuerzos en aquellos ambientes con mayor deficiencia económica (Calhoun et al., 1994; Rajaram et al., 1994).

Cuando el rendimiento de grano de un genotipo en particular es significativamente diferente de un ambiente a otro (Russell, et al., 2003) es traducido al lenguaje estadístico como existencia de IGA, lo cual indica que se puede identificar un genotipo para una localidad específica ó para un grupo de localidades ó mega-ambientes (Cornelius et al., 1992, Crossa, 1993 y 1995, Crossa y Cornelius, 1997, Azzalini y Cox, 1984, Gail y Simon, 1985).

Por su naturaleza existen dos tipos de datos derivados de experimentos sembrados en varias localidades. a) Datos balanceados; son experimentos que contienen el mismo número de genotipos y estos son los mismos sembrados a través de localidades o años de estudio, b) Datos desbalanceados; son experimentos que contienen diferente número de genotipos y estos son los mismos para localidades sembradas el mismo año pero diferentes genotipos sembrados entre años.

Para el primer caso: datos balanceados existe en la literatura una gran gama de análisis multivariados para identificar mega-ambientes; tales como análisis de conglomerados, componentes principales, modelo AMMI, SREG, etc. (Cross y Cornelius 1977, Crossa et al., 1996). Para el caso de datos desbalanceados existe el análisis de patrones que ha demostrado ser muy bueno para agrupar localidades entre grupos con estadísticas y ambientes similares (DeLacy y Cooper 1990; DeLacy y Lawrence 1988; DeLacy et al., 1998; Lillemo et al., 2004; Lillemo et al., 2005; Trethowan et al., 2001 y Trethowan et al., 2003).

Objetivos

- 1) Estudiar la interacción genotipo por ambiente para clasificar en bio zonas o mega-ambientes, las diferentes regiones del mundo, donde actualmente se siembra la cebada.
- 2) Analizar la información de veintisiete años de investigación agrícola en mejoramiento genético de cebada para identificar genotipos con mayor estabilidad y rendimiento a través de localidades sembradas en todo el mundo.
- 3) Identificar los mejores lugares en el mundo para hacer mejoramiento del cultivo de la cebada, con la finalidad de que el germoplasma producido en estos lugares sea adaptado a grandes áreas del mundo.

Hipótesis General

La respuesta de adaptación de genotipos específicos de cebada a diferentes áreas no necesariamente continuas de tierra obedece a que existen diferentes respuestas del genotipo por ambiente que pudieran estar marcando la existencia de mega-ambientes mundiales para este cultivo. Y pudiera ser que tenga mejor respuesta a ambientes con clima tipo mediterráneo.

IDENTIFICACION DE MEGA-AMBIENTES PARA CEBADA BASADO EN VEINTISIETE AÑOS DE DATOS MUNDIALES DE RENDIMIENTO

E. Hernández-Segundo*, F. Capettini, R. Trethowan, M. van Ginkel, A. Mejía, A. Carballo, J. Crossa, M. Vargas and A. Balbuena-Melgarejo

RESUMEN

El conocimiento de mega-ambientes es fundamental para los programas de mejoramiento, y así destinar mejor el germoplasma desarrollado. Los objetivos de este estudio son identificar la asociación entre localidades para identificar mega-ambientes para la cebada, y dentro de éstos, las mejores localidades para hacer un mejoramiento exitoso del germoplasma. Veintisiete años de rendimiento del experimento internacional en rendimiento de cebada (IBYT) conducido por el programa de mejoramiento de cebada ICARDA-CIMMYT, que consiste de 750 experimentos de rendimiento con dos repeticiones, representando 235 localidades en 75 países, fueron analizados usando análisis de patrones para agrupar sitios a través de años que representan ambientes de selección similares. El modelo multiplicativo móvil (MMM) fue empleado para agrupar sitios dentro de cada año. Ambientes agrupados en tres grupos principalmente, las distancias Euclidianas al cuadrado fueron usados para identificar una localidad representativa de cada grupo o mega-ambiente (ME). Las localidades del Grupo 1 fueron caracterizadas como ambientes fríos y con precipitación media; las localidades del Grupo 2 como ambientes cálidos y secos; y el Grupo 3 de ambientes generalmente fríos con altos promedios de precipitación. Las localidades clave o representativas de cada uno de los tres grupos fueron Leída, España; Boulifa, Túnez; y Setif, Argelia. Estas tres localidades representativas están ubicadas en el hemisferio norte entre los 36 y 41 grados de latitud. Los resultados de este estudio demuestran que la adaptación global de la cebada es posible y puede ser mejorada por mejoramiento genético y selección para adaptación dentro de los tres principales mega-ambientes identificados en este estudio.

Palabras clave: IBYT, ensayo internacional de rendimiento de cebada; MMM, modelo multiplicativo móvil, SED, Distancia Euclidiana e IC, interacción cruzada.

MEGA-ENVIRONMENT IDENTIFICATION, BASED ON TWENTY-SEVEN YEARS OF GRAIN YIELD DATA WORLDWIDE

E. Hernández-Segundo*, F. Capettini, R. Trethowan, M. van Ginkel, A. Mejía, A. Carballo, J. Crossa, M. Vargas and A. Balbuena-Melgarejo

SUMMARY

Knowledge of target environments in breeding programs is important to better direct the development of germplasm. The objectives of this study were to identify associations among barley growing environments to identify mega-environments to select the best locations to breed barley. Twenty-seven years of grain yield data from the International Barley Yield Trial (IBYT) conducted by the ICARDA-CIMMYT barley breeding program, consisted of 750 grain yield trials with two replications representing 235 locations in 75 countries, were analyzed using pattern analysis to group sites across years that represent similar selection environments. The shifted multiplicative model (SHMM) was employed to group sites within each year. Environments clustered into three main groups and squared Euclidian distances were used to identify a representative location within each cluster. Group-1 locations were characterized as being cool with intermediate precipitation; Group 2 locations were warmer and drier; and Group 3 sites were generally cool with the highest average precipitation. The respective representative key locations for each of the three groups were Leída, Spain; Boulifa, Tunisia; and Setif, Argelia. All three key locations are located in the Northern Hemisphere between 36 and 41 grades of latitude. The results of this study showed that the global adaptation of barley is possible and can be improved by breeding and selection for adaptation within the three main identified mega-environments.

Keywords: IBYT, International Barley Yield trial, Shifted multiplicative model (SHMM), Euclidian distance (ED), Cross interaction (CI).

Key words: IBYT, international barley yield trial, MMM, multiplicative mobile model; SED, Euclidean square distance and IC, cross interaction

INTRODUCCIÓN

La Cebada (*Hordeum vulgare L.*) es el cuarto cereal mas sembrado en el mundo, después del Trigo (*Triticum aestivum L.*), Arroz (*Oryza Sativa L.*), y Maíz (*Zea mays L.*); también la cebada es un importante componente para la producción de cerveza (Wenshen, 2004), este también es un importante cultivo alimenticio para la gente pobre que vive en áreas marginadas, las cuales son definidas como aquellas regiones en países subdesarrollados que reciben menos de 300 mm de precipitación (Granado, 2005). Este también es el cultivo mas ampliamente adaptado en todo el mundo, a los ambientes inhóspitos, ya que puede ser encontrado desde el círculo ártico hasta las regiones de las altas montañas del ecuador (Harlan, 1976; Vivar, 2001).

El programa de mejoramiento de cebada ICARDA-CIMMYT, localizado en México, desarrolla germoplasma de cebada mejorado para ayudar a la sostenibilidad de países en vías de desarrollo en Latino América. La mayoría del germoplasma mejorado es adaptado a áreas de alta productividad en el mundo y tiene resistencia a múltiples enfermedades (Vivar y McNab, 2001). Durante más de 30 años, el programa ha desarrollado genotipos que segregan por generaciones entre dos ambientes contrastantes de México, uno se encuentra cerca de Toluca en el centro de México y el otro cerca de Ciudad Obregón al noroeste de México (Braun et al., 1996). El germoplasma producido se distribuye a todo el mundo a través de la red internacional de colaboradores del CIMMYT. El ensayo internacional de rendimiento de cebada (IBYT) (International Barley Yield Trial) se distribuye cada año y se compone de 25 a 50 genotipos élite, identificados por el programa de mejoramiento; los materiales son enviados a petición de los científicos de los programas nacionales, repartidos en los cinco continentes y los datos sobre el rendimiento y enfermedades de las líneas se envían al CIMMYT. Este germoplasma y el intercambio de información permite a los mejoradores identificar genotipos resistentes a las razas de patógenos que no están presentes en México (Vivar y McNab, 2001).

Una de las tareas principales del fitomejorador es desarrollar genotipos adaptados a diferentes ambientes; tal objetivo puede ser alcanzado por dos métodos

diferentes: 1) El desarrollo de genotipos con una gran capacidad de adaptación a través de todos los ambientes (Eberhart y Russell, 1966; Shukla, 1972), ó 2) El desarrollo de genotipos con adaptación específica a regiones ó ambientes.

Estadísticamente la adaptación de un genotipo a un ambiente específico es definida usando la interacción genotipo por ambiente. Esta interacción puede ser particionada dentro de cambios debido a la escala ó al rango. La presencia de interacción cruzada (IC) para el cambio de rango indica que algunos genotipos están específicamente más adaptados a ciertos ambientes que a otros. Se han realizado varios estudios para definir los mejores modelos y calcular la significancia estadística de la IC (Cornelius et al., 1992; Crossa, 1993 y 1995; Crossa y Cornelius, 1997; Cox y Azzalini, 1984; Gail y Simon, 1985). Cuando existe IC, ésta se observa como un cambio de rango de los genotipos a través de los ambientes probados (Russell et al., 2003). En general, las variedades procedentes de programas de mejoramiento para ambientes específicos tienen un cierto grado de similitud genética (Finlay y Wilkinson 1963). Con el fin de reducir la IC con el ambiente.

Braun et al. (1996), propusieron la clasificación de las regiones de producción en mega-ambiente (ME) y definieron estos como una región para un cultivo ó especie vegetal (no necesariamente continua), donde las condiciones ambientales son relativamente homogéneas en factores bióticos y abióticos. Esta clasificación de ME es muy útil para los programas de mejoramiento del CIMMYT para alcanzar los objetivos de distribuir germoplasma mejorado a varias regiones del mundo, aumentar la heredabilidad durante la selección y en última instancia la eficiencia del programa de mejoramiento genético (Brown et al., 1983; Peterson y Pfeifer, 1989; Abdalla et al., 1996; Gauch y Zobel, 1997). El programa de trigo del CIMMYT ha identificado 12 diferentes ME que representan el área total de trigo sembrado en el mundo (Braun, et al., 1996), esta clasificación mejora la eficiencia en la selección y la elección del germoplasma a las zonas de producción (Calhoun et al., 1994; Rajaram et al., 1994), sin embargo, para la cebada aún no se ha realizado un estudio de identificación de mega-ambientes.

Los Genotipos adaptados a un determinado ME tienen factores morfológicos y fisiológicos en común. Sin embargo, esto puede no ser cierto para el caso de los materiales que se adaptan a través de muchos ambientes o con amplia estabilidad, lo cual dá al fitomejorador un gran desafío si el objetivo del programa de mejoramiento es la obtención de genotipos con amplia adaptación (Finlay y Wilkinson, 1963). Uno de los principales objetivos del programa de mejoramiento de cebada ICARDA-CIMMYT, es generar germoplasma con amplia adaptación para mejorar la vida de los agricultores pobres del mundo.

Hay dos tipos de conjuntos de datos generados por un programa de mejoramiento y que pueden ser usados para agrupar localidades dentro de ME, estos son a) Los mismos genotipos sembrados en todas las localidades dentro de un año ó años y b) Genotipos que son los mismos para todas las localidades y dentro del mismo año pero diferentes a través de años. Para el primer caso el modelo multiplicativo móvil (MMM) es recomendado por Cornelius y Crossa (1992 1997). Para el segundo caso el análisis de patrones o conglomerados es recomendado por DeLacy y Lawrence (1988). Ambos MMM y análisis de patrones agrupan sitios bajo la hipótesis de inexistencia o mínima IC.

El modelo multiplicativo móvil (MMM) identifica los grupos de ambientes donde la distancia entre dos ambientes es igual a la suma de cuadrados de los residuales, después de que el modelo es ajustado a la media genotípica en esos ambientes (Cornelius, 1992; Cornelio y Crossa, 1997).

El análisis de patrones (DeLacy y Lawrence, 1988) y MMM (Cornelius et al., 1992; Crossa et al., 1993, 1996) ha sido utilizado para identificar asociaciones entre localidades del mundo para trigo duro (Abdalla et al., 1997) y harinero (Trethowan et al., 2001 y 2003, Lillemo et al., 2004 y 2005). Estos análisis también han identificado a localidades representativas de cada mega-ambiente, lo que permite a los programas de mejoramiento la selección del germoplasma en localidades óptimas (Cesarelli et al., 1998).

OBJETIVOS

- 1) Identificar las asociaciones entre ambientes donde fue probado el IBYT para determinar los mega-ambientes para este cultivo
- 2) Identificar las localidades representativas de cada mega-ambiente

MATERIALES Y METODOS

Localidades y genotipos

Los genotipos incluidos en el IBYT que comprenden el período entre 1979 y 2005 (Cuadro 1), fueron mejorados en México por Enrique Rodríguez (1976-1984), Hugo Vivar (1984-2000) y Flavio Capettini (2000-2005), utilizando el método de mejoramiento descrito por Braun et al. (1996). Las generaciones segregantes fueron seleccionadas entre el Centro de Investigaciones Agrícolas del Noroeste (CIANO) (27° 20' de latitud norte y 38 m de altitud sobre el nivel del mar), una región árida, ubicada al noroeste de México cerca de Ciudad Obregón Sonora, y la estación de investigación del CIMMYT con alta precipitación, ubicada en Toluca estado de México, ubicada geográficamente en los valles altos (19°16'N y 2640 m de altitud sobre el nivel del mar).

Cada ensayo del IBYT, fue distribuido cada año a nivel mundial a solicitud de cada cooperador por año, este fue formado con semilla multiplicada en Mexicali al noroeste de México. La semilla de cada ensayo fue empacada, tratada con vitavax y distribuida al mundo desde México. Un diseño experimental bloques al azar con tres o cuatro repeticiones fue generado para cada ensayo antes de 1990. Después de esta fecha, fueron utilizados diseños α -latice (Barreto et al., 1997) con dos repeticiones. El mejorador de cebada seleccionó las mejores 25 o 50 líneas elite para ser distribuidas en el mundo (Cuadro 1) y los ensayos fueron sembrados utilizando prácticas agronómicas locales. Las mejores 24 líneas identificadas por el fitomejorador del programa fueron incluidas en cada ensayo, dejando una entrada para el testigo local, excepto para los ciclos de cultivo de 1981 a 1983, en donde se incrementó el número de genotipos a 49 (Cuadro 1).

Cuadro 1. Información general para años, genotipos, repeticiones y número de ensayos.

IBYT	Año	# Genotipos	# Repeticiones	# Ensayos
1	1979	25	4	35
2	1980	25	4	25
3	1981	50	3	40
4	1982	50	3	37
5	1983	50	3	35
6	1984	25	4	29
7	1985	25	4	26
8	1986	25	4	39
9	1987	25	4	35
10	1988	25	4	34
11	1989	25	4	47
12	1990	25	4	44
13	1991	25	4	37
14	1992	25	4	51
15	1993	25	4	14
16	1994	25	4	23
17	1995	25	4	20
18	1996	25	3	27
19	1997	25	2	15
20	1998	25	2	31
21	1999	25	2	30
22	2000	25	2	17
23	2001	25	2	10
24	2002	25	2	11
25	2003	25	2	12
26	2004	25	2	12
27	2005	25	2	14
Total	27	750	86	750

El rendimiento de grano fue la variable analizada dentro de cada año y localidad, usando el modelo lineal general (GLM) y el modelo mixto (SAS, 1988). Los genotipos fueron considerados como efectos fijos y las repeticiones y subbloques dentro de repeticiones como efectos aleatorios y las medias ajustadas fueron calculadas y utilizadas en todos los subsecuentes modelos multiplicativo móviles (MMM) y el análisis de patrones, para examinar la agrupación de las localidades. Los sitios que reportaron datos incompletos ó demostraron efectos de genotipos no significativos no se consideraron para ambos análisis, dejando un total de 750 reportes de ensayos o experimentos de rendimiento individuales en

representación de 235 lugares geográficamente diferentes. Los genotipos que conformaron el IBYT fueron desarrollados principalmente para condiciones favorables, pero muchos colaboradores también los cultivaron bajo temporal y condiciones de sequía.

Agrupación de sitios y construcción de dendogramas

Análisis de patrones

El análisis de patrones utilizado fue recomendado por DeLacy y Cooper (1990); utilizado por Abdalla et al. (1996), Trethowan et al. (2001 y 2003), y Lillemo et al. (2004, 2005). Este tipo análisis fue aplicado solo a los sitios en donde se tuvieron por lo menos dos años de datos reportados para el IBYT por cada localidad. El paquete estadístico usado para correr el análisis de patrones fue SEQRET (DeLacy et al., 1998), el cual agrupó las localidades a través de años. Las medias del rendimiento fueron estandarizadas (media=0 y desviación estándar=1) dentro de cada localidad para cada año y la relación entre las localidades de prueba fue hecha por la ordenación sitio x sitio x año dentro de las matrices, los datos resultantes fueron centrados por los sitios usados para calcular las distancias Euclidianas. La proximidad entre localidades fue basada en la disimilitud entre los sitios dentro del mismo año y a través de diferentes años, esta fue medida como el cuadrado de la distancia Euclidiana (SED). La suma incremental de cuadrados y el procedimiento aglomerativo jerárquico fue utilizada para la clasificación de sitios y la SED fue utilizada como medida de disimilitud. El análisis de Patrones utiliza el efecto de sitio para ajustar la variabilidad entre los sitios y clasificar las localidades, con la medida de la aglomeración y el método de la suma incremental SED.

Modelo Multiplicativo Móvil (MMM) para agrupar sitios dentro de grupos sin ó mínima interacción cruzada (IC)

Para examinar las asociaciones globales entre localidades de prueba en base al rendimiento reportado, fue usado el modelo multiplicativo móvil (MMM), el cual es un procedimiento que agrupa los sitios sin efecto de interacción cruzada (IC)

(Crossa et al, 1993). Este procedimiento se aplicó a cada uno de los 27 años de IBYT, dando por resultado 27 dendogramas, mostrando la asociación de cada sitio dentro de cada año . El método y el modelo utilizado fue el mismo descrito por Trethowan et al. (2001 y 2003) y Lillemo (2005). Los niveles de fusión para el 50, 60 y 70% de la suma de cuadrados fueron calculados y las asociaciones entre sitios, se determinó como el número de veces que los sitios se agrupan, dividido por el número total de posibles agrupaciones. Estos tres niveles de fusión fueron subsecuentemente comparados entre ellos para determinar el mejor nivel de aproximación con el resultado dado por el análisis de patrones.

Datos Climáticos

Los datos climáticos diarios de cada lugar donde fue sembrado el IBYT, fueron tomados del Centro Nacional de Datos Climáticos, la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica, Asheville, NC, EE.UU www.ncdc.noaa.gov

Los datos climáticos para cada localidad de prueba fueron tomados de la estación meteorológica más cercana; dentro de un rango de 100 km con una altitud similar. Los valores mínimos, máximos y el promedio para la temperatura y precipitación fueron considerados para el período que comprendió el ciclo de cultivo para cada localidad identificada por el análisis de patrones. Una gráfica fue hecha para temperatura y precipitación para cada uno de los tres lugares representativos de cada grupo, identificado por el análisis de patrones, con el fin de comparar los comportamientos.

RESULTADOS

Análisis de patrones para lugares representados en dos ó más años

El dendrograma construido a partir del análisis de patrones para las localidades donde el IBYT fue sembrado en dos o más años, distinguió tres grupos principales; se utilizó el segundo nivel de fusión para separar cada megaambiente y es mostrado en la Figura 1. La distribución geográfica de los sitios dentro de cada grupo es representada por la Figura 2. La agrupación de sitios es distinguida principalmente por la temperatura y precipitación durante el ciclo de

cultivo. Para cada grupo ó mega-ambiente determinado por el análisis de patrones se identificó un sitio representativo, el cual fué calculado utilizando la distancia mínima Euclidiana. Estos son leída (La Carrerada), España; Boulifa (KEF-INRA), Túnez y Setif (ITGC), Argelia, para los grupos o megaambientes (ME) 1, 2, y 3, respectivamente.

Cada uno de los tres grupos (G1-G3) puede ser distinguido por la temperatura y la precipitación durante el período de crecimiento del cultivo. Como puede ser observado en el Cuadro 2, el grupo 2 es el más homogéneo en términos de duración del ciclo de cultivo y variación en el rendimiento entre localidades y este agrupa sitios cálidos con riego y con un ciclo de cultivo considerablemente largo de seis meses. Las localidades comprendidas en este grupo reportan los más altos rendimientos, en promedio 4.7 t/ha (Cuadro 2).

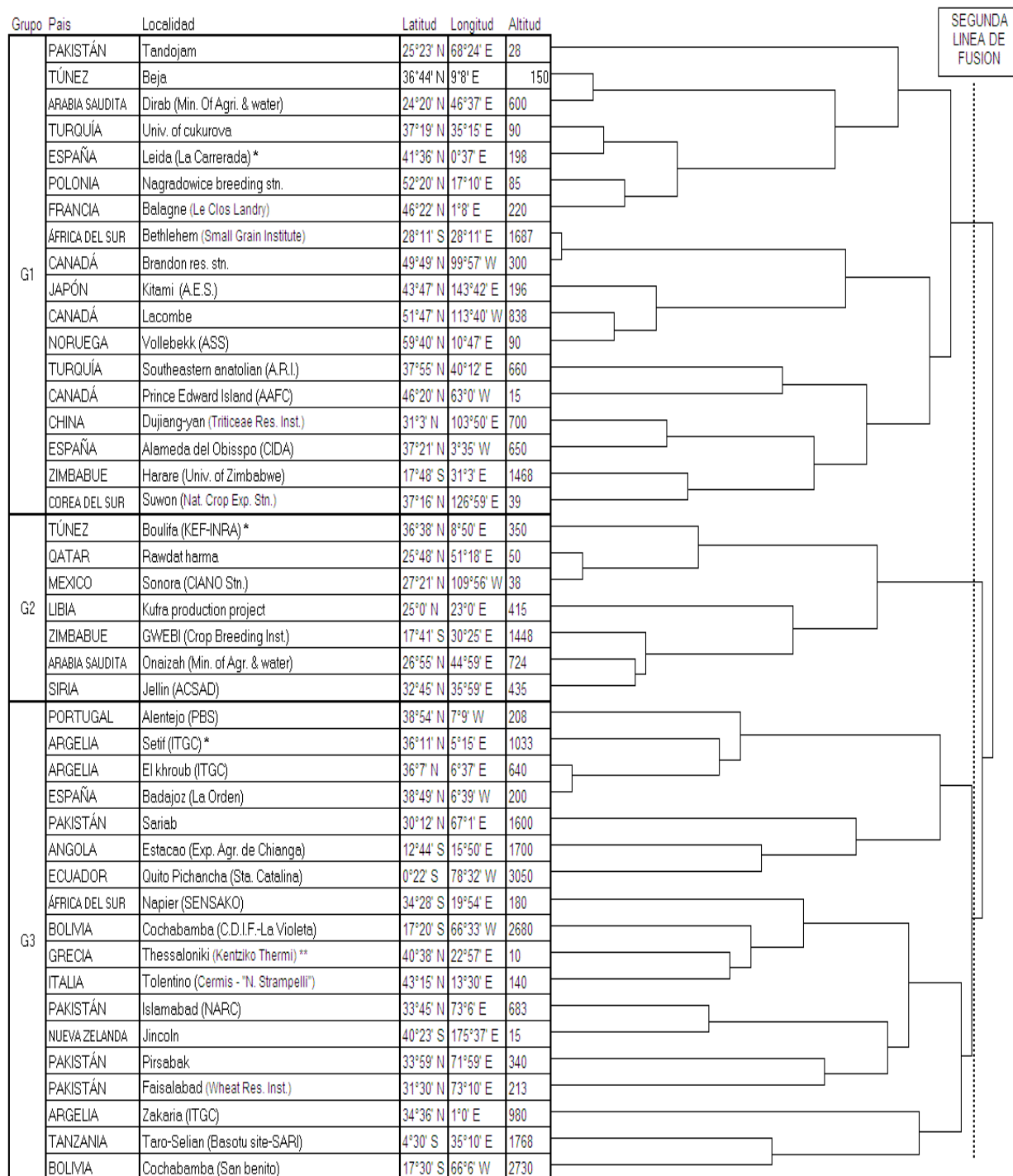


Figura 1. Dendrograma construido a partir del análisis de patrones, representando la asociación de sitios sembrados en dos ó más años (segunda línea de fusión). Los sitios representativos de cada grupo están marcados con un asterisco (*) y el sitio que representa a todas las localidades con dos asteriscos (**).

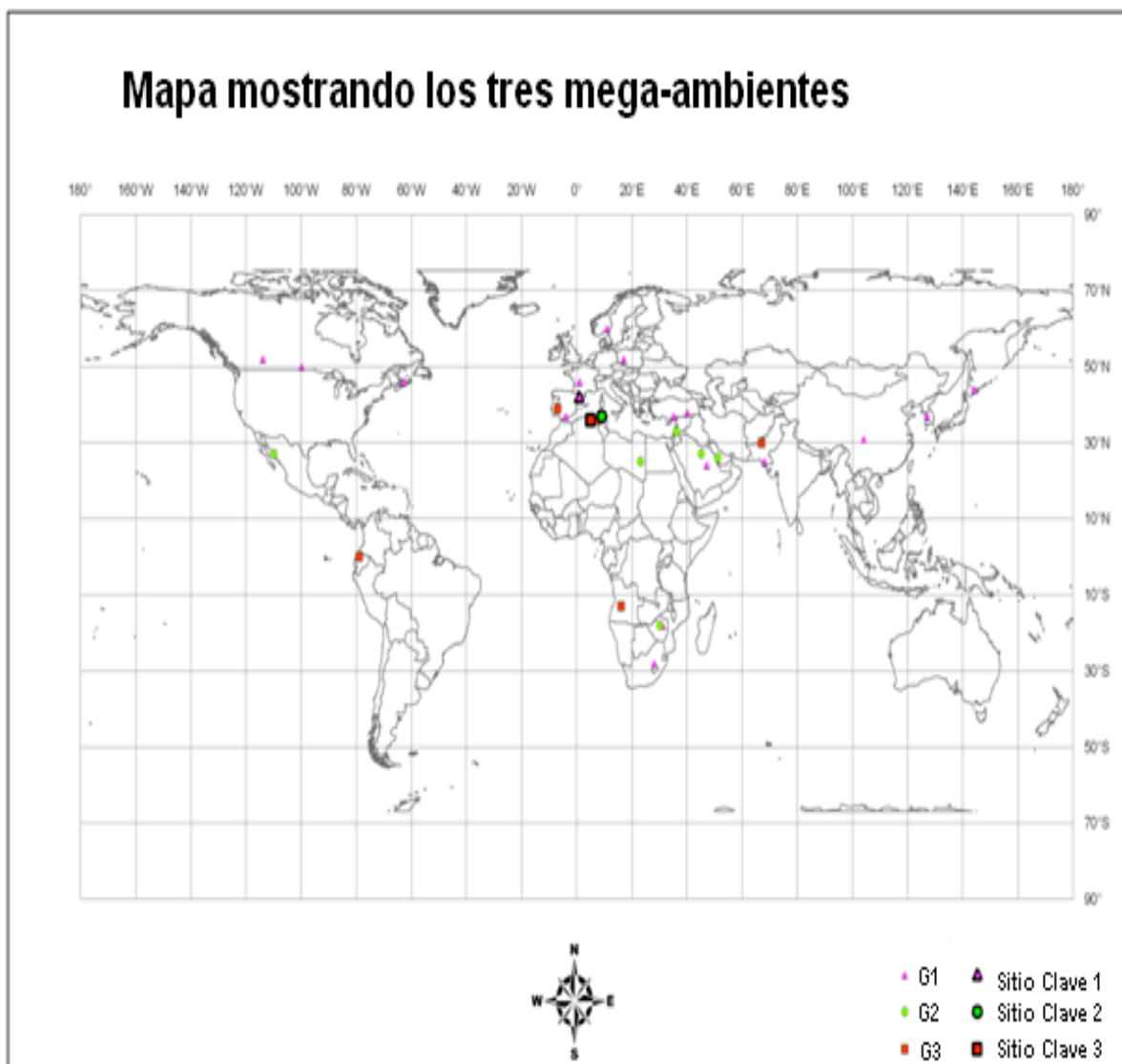


Figura 2. Mapa de localidades, agrupadas por el análisis de patrones para aquellos sitios que reportaron por lo menos dos veces datos de rendimiento para el IBYT. Los sitios clave o representativos de cada grupo son: Leida (La Carrerada), España (sitio clave1); Boulifa, Túnez (sitio clave 2) y Setif, Argelia (sitio clave 3).

Cuadro 2. País, Localidad, Fecha de siembra y cosecha (meses), Temperatura media (°C), Precipitación acumulada (mm) y rendimiento (t/ha)

	País	Localidad	Ciclo de cultivo (meses)	Temperatura media (°C)	Precipitación acumulada (mm)	Rendimiento (t/ha)
Group 1	Pakistan	Tandojam	Nov-Mar	21.3	22	1.78
	Tunez	Beja	Nov-May	13.6	688	3.38
	Arabia Saudita	Dirab (Min. Of Agri. & water)	Dic-May	21.2	89	4.67
	Turquia	Univ. of cukurova	Nov-May	13.2	673	4.47
	España	Leida (La Carrerada) *	Dic-Jun	8.7	422	5.92
	Polonia	Nagradowice breeding stn.	Abr-Ago	14.9	286	3.44
	Francia	Balagne (Le Clos Landry)	Dic-Jun	8.7	564	4.38
	Soudafrica	Bethlehem (Small Grain Institute)	Ago-Jan	17.1	399	3.75
	Canada	Brandon res. stn.	May-Ago	15.4	265	5.05
	Japon	Kitami (A.E.S.)	May-Ago	15.5	332	3.28
	Canada	Lacombe	May-Ago	13.5	281	5.25
	Noruega	Vollebekk (ASS)	May-Ago	13.2	307	3.59
	Turquia	Southeastern anatolian (A.R.I.)	Nov-May	9.0	561	3.24
	Canada	Prince Edward Island (AAFC)	May-Ago	15.2	341	4.12
	China	Dujiang-yan (Triticeae Res. Inst.)	Nov-May	11.4	225	3.01
	España	Alameda del Obispo (CIDA)	Dic-Jun	10.8	422	1.82
	Zimbawe	Harare (Univ. of Zimbabwe)	May-Sep	15.5	21	4.14
	Corea del sur	Suwon (Nat. Crop Exp. Stn.)	Mar-Jun	13.4	359	3.13
	Promedio			14.0	348	3.80

Group 2	Tunez	Boulifa (KEF-INRA)	Nov-May	13.6	688	4.16
	Qatar	Rawdat harma	Nov-Abr	21.1	69	4.75
	Mexico	Sonora (CIANO Stn.)	Nov-Abr	20.2	41	5.73
	Libia	Kufra production project	Nov-Abr	17.1	0	5.65
	Zimbawe	GWEBI (Crop Breeding Inst.)	May-Oct	18.6	33	4.38
	Arabia Saudita	Onaizah (Min. of Agr. & water)	Dic-May	18.5	185	5.03
	Siria	Jellin (ACSAD)	Dic-May	11.0	459	3.29
Promedio				17.2	211	4.71
Group 3	Portugal	Alentejo (PBS)	Dic-Jun	13.6	408	3.05
	Argelia	Setif (ITGC)	Dic-Jun	10.6	268	4.10
	Argelia	El khroub (ITGC)	Dic-Jun	10.2	382	6.10
	España	Badajoz (La Orden)	Dic-Jul	15.1	413	3.28
	Pakistan	Sariab	Dic-Jun	11.4	204	1.23
	Angola	Estacao (Exp. Agr. de Chianga)	May-Nov	18.5	336	0.97
	Ecuador	Quito Pichancha (Sta. Catalina)	Feb-Ago	23.3	2506	2.95
Sudafrica	Napier (SENSAKO)	May-Oct	13.4	239	2.88	
Bolivia	Cochabamba (C.D.I.F.-La Violeta)	Ene-Jun	15.1	540	4.11	
Grecia	Thessaloniki (Kentziko Thermi)	Dic-Jun	10.2	287	3.75	
Italia	Tolentino (Cermis - "N. Strampelli")	Dic-Jun	11.6	419	6.47	
Pakistan	Islamabad (NARC)	Nov-Abr	14.9	343	3.14	
Nueva Zealanda	Jincoln	Sep-Ene	12.1	363	4.07	
Pakistan	Pirsabak	Nov-Abr	15.1	245	2.90	
Pakistan	Faisalabad (Wheat Res. Inst.)	Nov-Abr	17.3	99	2.89	
Argelia	Zakaria (ITGC)	-	15.5	418	1.16	
Tanzania	Taro-Selian (Basotu site-SARI)	Feb-Jul	19.8	329	2.30	
Bolivia	Cochabamba (San benito)	Ene-May	15.9	433	2.51	
Promedio				14.6	457	3.21

Tres lugares clave fueron identificados, para cada grupo por medio del análisis de patrones, basado en la distancia mínima Euclidiana de la matriz de similitud. Estos sitios fueron en España, Túnez y Argelia. Los tres lugares se caracterizan por tener diferentes intervalos de temperatura y patrones de precipitación durante el ciclo del cultivo (Figuras 3 y 4).

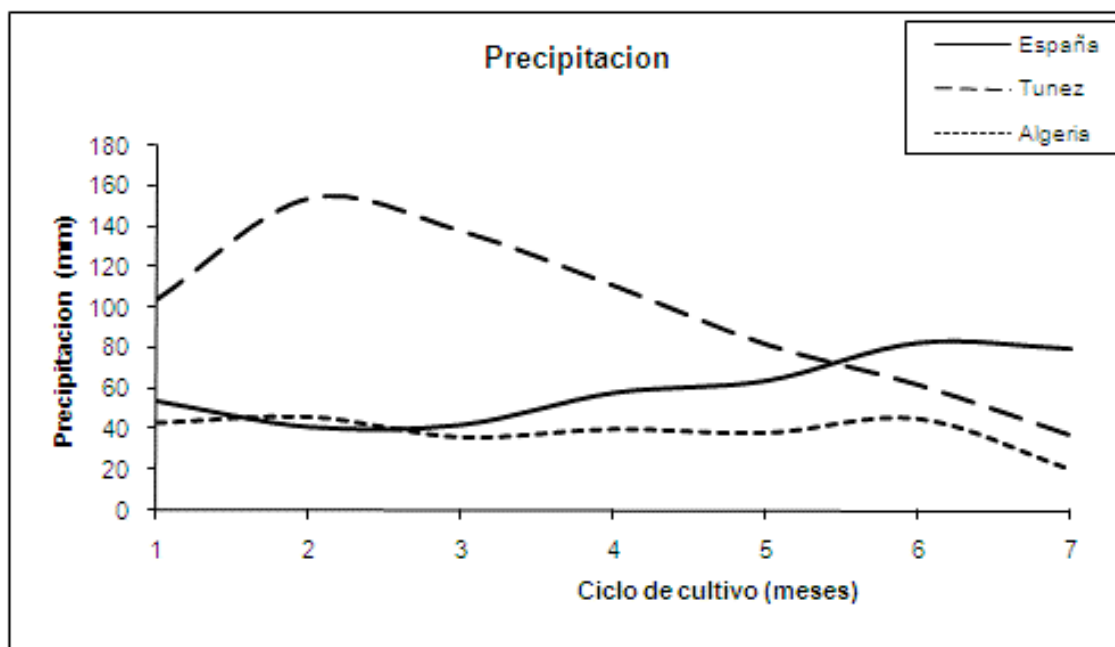


Figura 3. Precipitación media durante el ciclo de cultivo para cada una de las localidades clave ó representativas, basado en información ambiental de cincuenta años (1950 al 2000).

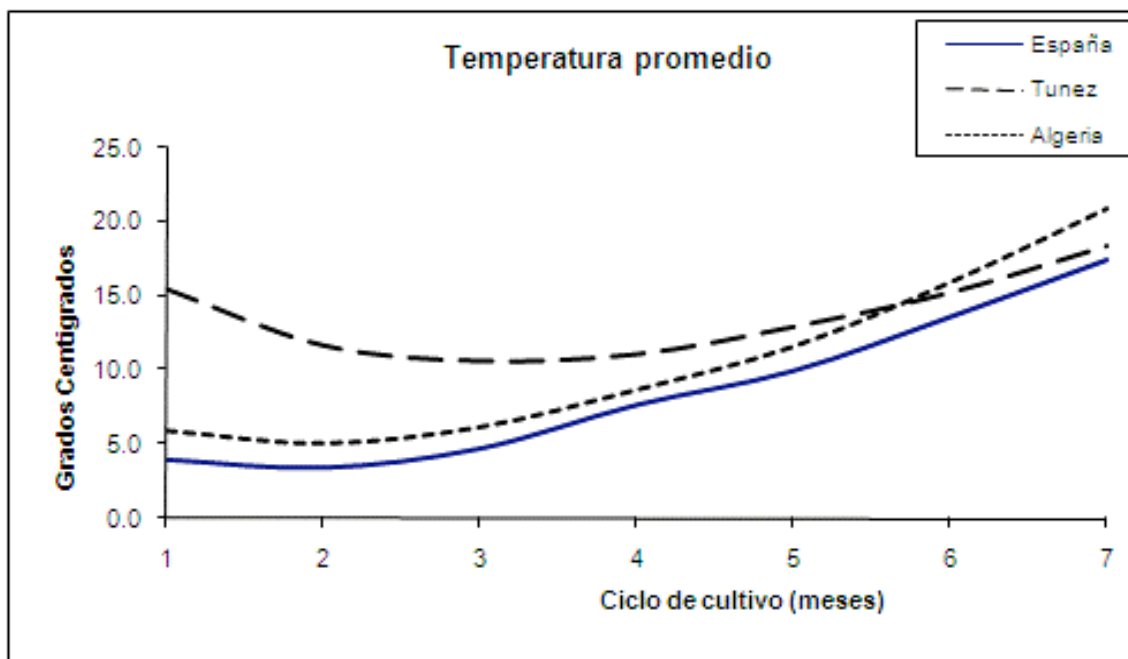


Figura 4 Temperatura media durante el ciclo de cultivo para cada una de las localidades clave ó representativas, basado en información ambiental de cincuenta años (1950 al 2000).

Asociación entre sitios

Para entender la asociación entre los 235 lugares donde se sembró el IBYT, se condujo un análisis acumulativo de agrupamiento; realizado para los 27 años de datos de rendimiento de grano; 60% de la suma de cuadrados fue elegido como punto de corte para determinar las agrupaciones de sitios dentro de cada dendograma obtenido del análisis de MMM, ya que a este nivel hay una mejor correlación con las asociaciones encontradas por el análisis de patrones. El análisis de patrones identificó 43 localidades agrupadas en tres ME (Figura 1). Estos resultados se resumen en el Cuadro 3

Cuadro 3. Lista de localidades usadas en el análisis MMM para los 27 años, latitud, longitud, altitud y el grupo correspondiente, Grupo 1 (G1), Grupo 2 (G2) y Grupo 3 (G3) asociado con el análisis de patrones.

Sitio	País	Grupo		
		1	2	3
Mackenziebrook (Beaver Lodge)	Canadá			*
Brandon Res. Stn.	Canadá	*		
Saskatchewan (Crop Dev. Center)	Canadá			*
Lacombe	Canadá	*		
Alberta (Olds)	Canadá			*
Prince Edward Island (AAFC)	Canadá	*		
Jalisco (Altos De Jalisco)	México			*
Chihuahua (Cd. Delicias)	México			*
Baja California Sur (CESTOD)	México			*
Chapingo (CEVAMEX)	México			*
Sonora (CIANO)	México		*	
Guanajuato (El Bajío)	México			*
El Refugio	México			*
Baja California Norte (Mexicali)	México		*	
Monterrey	México			*
Toluca (Sn Fco. Atizapan)	México			*
Coahuila (UAAAN, Cereales)	México	*		
California (Davis)	USA			*
California (Fresno)	USA			*
Oregon (Madras)	USA	*		
E.E. De Altura-Sanatorio Duran	Costa Rica			*
Alajuela (Subestacion Fraijanes)	Costa Rica	*		
Quetzaltenango (Labor Ovalle)	Guatemala			*
Uca Mirafior	Nicaragua			*
Cusco (Andenes, Anexo-Taray)	Perú			*
Huánuco (Cayhuayna)	Perú			*

Cuadro 3. Continuación...

Sitio	País	Grupo		
		1	2	3
Cusco (Est. Exp. Andenes)	Perú			*
Aragua (Est. Exp. Cagua-Fusagri)	Venezuela		*	
Buenos Aires (José Buck)	Argentina	*		
Córdoba (Marcos Juárez)	Argentina			*
Buenos Aires (Bordenave)	Argentina			*
Cochabamba (San Benito)	Bolivia			*
Cochabamba (C.D.I.F.-La Violeta)	Bolivia			*
Cochabamba (Tarata)	Bolivia			*
Brasilia DF (CPAC-Embrapa)	Brasil		*	
Vila Velha (Polo-Ponta Grossa)	Brasil			*
Capao Bonito Stn.	Brasil	*		
Temuco, Cautin (Carrillanca)	Chile			*
La Platina (Santiago)	Chile			*
Quito Pichancha (Sta. Catalina)	Ecuador			*
Quito Pichancha (El Pugro)	Ecuador			*
Caacupe (Inst. Agr. Nacional)	Paraguay	*		
Probstdorfer Saatzucht	Austria			*
Sokolac Centre	Bosnia	*		
Dobroudja (IWS)	Bulgaria			*
Helsinki (Hankkija P.B.I)	Finlandia			*
Lusignan (Stn. D' A. D. Plantes)	Francia	*		
D'amelioration Des Plantes	Francia		*	
Balagne (Le Clos Landry)	Francia	*		
Sevestreville	Francia	*		
Saatzucht Stn. Langenstein	Alemania			*
Institut Gulzow Gustrow	Alemania	*		
Heidfeldhof	Alemania			*
Thessaloniki (Kentziko Thermi)	Grecia			*
Platy Experimental Stn.	Grecia			*
Giannitsa (Agric. Res. Inst.)	Grecia			*
Northern (Cereal Station)	Irlanda			*
Macerata (Enea E. Cermis)	Italia	*		
Rome (Ist. S. Per La Cerealicoltura)	Italia			*
Tolentino (Cermis - "N. Strampelli")	Italia			*
Lazio (Tarquinia)	Italia			*
Kedainiai (Lithuanian Inst. Of Agric.)	Lituania		*	
Skopje (IPG)	Macedonia			*
Volle Bekk (AAS)	Noruega	*		
Nagradowice Breeding Stn.	Polonia	*		
Bakow Plant Breeding Stn.	Polonia			*
Alentejo (PBS)	Portugal			*
Turda (A.R.S.)	Rumania			*
Rinski Sancevi	Serbia Montenegro			*

Cuadro 3. Continuacion...

Sitio	País	Grupo		
		1	2	3
Piestany (Res. Inst Of Plant Prod.)	Eslovaquia			*
Madrid (El Encin)	España			*
Zamaduenas (S.I.A. Castilla Y León)	España			*
Huesca (Montanana)	España			*
Badajoz (La Orden)	España			*
Bergus (Cardona)	España	*		
Leída (Finca La Carrerada)	España	*		
Leída (La Carrerada)	España	*		
Jimenells	España			*
Alameda del Obispo (CIDA)	España	*		
Granada (Guadix)	España			*
El Llano	España	*		
Finca Juan Acedo	España	*		
Toledo (La Mojonera)	España			*
Ochichar (S.A.T.)	España			*
Lowveld	Swaziland	*		
Donetsk (Ucraniana Expt. Stn.)	Ucrania			*
Odessa	Ucrania			*
Kharkov	Ucrania			*
Lancashire (Miln Marsters Ltd.)	Inglaterra			*
Shesham Bagh	Afganistán			*
Kabul (Darul Aman)	Afganistán			*
Kunduz (Res. Station)	Afganistán	*		
Baghlan (R.S.)	Afganistán	*		
Balkh (A.R.S.)	Afganistán	*		
Dashti-Qala	Afganistán	*		
Takhar-Taloqan	Afganistán	*		
Urdokhan	Afganistán			*
Fao-Dand	Afganistán			*
Kabul (Khost)	Afganistán			*
Mazar-I-Sharif (Dehdadi Farm)	Afganistán	*		
Mullah Ghulan (A.R.S)	Afganistán			*
Darulaman Research Station	Afganistán		*	
Setif (ITGC)	Argelia			*
El Khroub (ITGC)	Argelia			*
Wilaya (Sidi Bel-Abbes)	Argelia			*
Zakaria (ITGC)	Argelia			*
Rahouia (Ferme Pilote)	Argelia			*
Wassande	Camerún	*		
Laxia (A.R.I.)	Chipre	*		
Athalassa (A.R.I.)	Chipre			*

Cuadro 3. Continuación...

Sitio	País	Grupo		
		1	2	3
Dromolaxia (A.R.I.)	Chipre			*
Sakha	Egipto			*
Sids	Egipto		*	
Ismailia	Egipto			*
Gemmeiza (A.R.S.)	Egipto		*	
Cairo (Al Kasr)	Egipto			*
Ahwaz	Irán			*
Manzadaran (Araghee Mohaleh)	Irán			*
SPII Cereal Res. Stn.	Irán			*
Fars	Irán			*
Kelardasht Cereal Res.	Irán	*		
Zahak Stn.	Irán		*	
Zargan	Irán	*		
Moghan	Irán			*
Mazraeh Nemoneh	Irán			*
Abu'ghraib	Iraq	*		
Al-Tuwaittha	Iraq			*
Deir Alla	Jordania		*	
Amman (Jubeiha)	Jordania	*		
Ramtha	Jordania			*
Tel Amara	Líbano	*		
Tajoura	Libia			*
Sebha	Libia		*	
Kufra Production Project	Libia		*	
Zahera	Libia			*
Misurata	Libia			*
Azizia	Libia			*
Kadawa	Nigeria	*		
Jos (UTC Farm)	Nigeria			*
Almohaisin (Agric. Res. Center)	Omán	*		
Rawdat Harma	Qatar		*	
Al Kharj	Arabia Saudita			*
Onaizah (Min. of Agri. & water)	Arabia Saudita		*	
Dirab (Min. of Agri. & water)	Arabia Saudita	*		
Izraa (A.R.S)	Siria	*		
Tel Hadya	Siria			*
Jellin (ACSAD)	Siria		*	
Beja	Túnez	*		
Hindi Zitoun	Túnez		*	
Boulifa (KEF-INRA)	Túnez		*	
Cukurova (Agric.Res.Inst.)	Turquía	*		
Sakarya (Maize Res. Inst.)	Turquía			*
Southeastern Anatolian (A.R.I.)	Turquía	*		

Cuadro 3. Continuación...

Sitio	País	Grupo		
		1	2	3
Aegean (A.R.I.)	Turquía			*
Univ. of Cukurova	Turquía	*		
Ziraat Fakultesi	Turquía			*
KONYA-ICCUMRA)	Turquía			*
Estacao (Exp. Agrícola De Chianga)	Angola			*
Addis Ababa (Holetta)	Etiopia			*
Ambo	Etiopia	*		
Njoro (NPBRC)	Kenia			*
Breweries (Exp. Farm)	Kenia			*
Tsangano (Hill Station)	Malawi			*
Bembeke	Malawi			*
Rwerere (ISAR)	Ruanda			*
Bethlehem (Small Grain Institute)	Sud África	*		
Welgevallen	Sud África			*
Cape (Tygerhoek)	Sud África			*
Sensako	Sud África	*		
Napier (SENSAKO)	Sud África			*
Morogoro (Uyole Agric. Center)	Tanzania			*
Tanz.Can. Wheat Proj. (W. Kilimanjaro)	Tanzania			*
Taro-Selian (Basotu Site-SARI)	Tanzania			*
Lusaka (Golden Valley)	Zambia			*
GWEBI (Crop Breeding Inst.)	Zimbabue		*	
Harare Research	Zimbabue	*		
Harare (Univ. Of Zimbabwe)	Zimbabue	*		
Gazipur (Bari Joydebpur)	Bangladesh			*
Ishurdi (Reg. A.R.S.)	Bangladesh			*
Rajshahi (A.R.S.)	Bangladesh			*
IARI (Genetics Division)	India	*		
Ludhiana (PAU)	India	*		
Durgapura	India			*
Pantnagar	India	*		
Malda	India		*	
Karnal (DWR)	India			*
Ghajipur (Bari Bagh)	India		*	
Kanpur (Azad Univ. of Agric. Tech.)	India			*
Res.&Dev.Wing, Ugar Sugar Works	India			*
Hissar	India			*
Heho Research Farm	Myanmar		*	
Pankon (A.R.I. Farm)	Myanmar	*		
Bhairahwa (NWRP)	Nepal			*
Khumaltar (A.R.I.)	Nepal			*
Kabre (Agriculture Farm)	Nepal	*		
NIFA Farm	Pakistan			*

Cuadro 3. Continuación...

Sitio	País	Grupo		
		1	2	3
Bahawalpur	Pakistan			*
Lyallpur (UAF)	Pakistan	*		
Tandojam	Pakistan	*		
Sariab	Pakistan			*
Islamabad (NARC)	Pakistan			*
Pirsabak	Pakistan			*
Faisalabad (Wheat Res. Inst.)	Pakistan			*
Rawalpindi (WRS)	Pakistan			*
Tandojam (Hyderabad, AEARC)	Pakistan			*
Sakrand	Pakistan			*
Wheat Res. Inst.	Pakistan			*
Exp. Area Dep. of Plant Breeding	Pakistan			*
Barani	Pakistan	*		
Yunnan (Acad. of Agric. Sci.)	China			*
Zhejiang (Acad. of Agric. Sci.)	China	*		
Jiangsu (Agric. College)	China	*		
Crop Sci. Inst.	China	*		
Heihe (A.R.I.)	China			*
The Coastal-Ar (Agric. Sci. Res. Inst.)	China	*		
Beijing (CAAS Stn.)	China	*		
Xining	China	*		
Handan Agriculture	China			*
Jilin Agric.Univ.	China		*	
Northeast Agric. Univ.	China			*
Inst. Of Hongxinglong	China	*		
Dujiang-yan (Triticeae Res. Inst.)	China	*		
Huang Yang Stn.	China			*
Kitami (A.E.S.)	Japón	*		
Tohoku National Agr. Exp. Stn.	Japón			*
Tohoku A.E.S.	Japón			*
Unsan	Corea del Norte			*
Gyeongnam	Corea del Sur			*
Suwon (Nat. Crop Exp. Stn.)	Corea del Sur	*		
Agric. Improvement Stn.	Taiwán	*		
Pungda Highland Agric. Stn.	Tailandia	*		
Lampang (A. Res. & Training Ctr.)	Tailandia			*
Kazakh Grain	Kazakstán			*
Plant Immunology Lab.	Kazakstán			*
Lincoln	Nueva Zelanda			*

La Figura 3, muestra que Túnez tiene una alta precipitación durante el segundo mes después de la siembra y muy poca precipitación al final del ciclo de cultivo.

Este comportamiento es similar al de Argelia, aunque el sitio argelino recibe menos agua en general. En contraste, en España hay una mayor probabilidad de precipitación tardía en el ciclo de cultivo, cerca de la época de la cosecha.

La media de las temperaturas indican que la localidad Española es el lugar más frío de los tres sitios clave ó representativos, Túnez es intermedio, y Argelia es el lugar más caluroso (Cuadro 3). Las temperaturas aumentan gradualmente en los tres lugares conforme el ciclo de cultivo va avanzando (Figura 4).

La incidencia de enfermedades fue reportada por algunas localidades (Cuadro 4) y puede haber tenido una considerable influencia en las asociaciones de los sitios. En el Grupo 1 se tuvo la más grave incidencia de enfermedades (media del sitio > 10% de infección) con alta presión de infección observada en cada uno de los sitios del virus enanismo amarillo de la cebada (transmitido por varias especies de afidos), Powdery mildew o oídio (*Blumeria graminis*), mancha de la hoja (*Bipolaris sorokiniana*), roya del tallo (*Puccinia graminis*), roya rayada de la hoja (*Puccinia striiformis*), roya rayada en la espiga (*Puccinia striiformis*) y la escaldadura (*Rhynchosporium secalis*) y en cuatro localidades roya de la hoja (*Puccinia hordei*). Una alta incidencia de oídio y escaldadura se observaron en un lugar del Grupo 3 y otros tres lugares con altas incidencia de la roya de la hoja. En contraste, no hubo informes de alta incidencia de la enfermedad entre los lugares del Grupo 2.

No hubo una correlación entre el rendimiento medio del sitio y fecha de espigamiento. Por el contrario, hubo una correlación positiva, significativa ($P < 0.05$) de 0.42 entre el promedio de rendimiento y la media de altura de planta, aunque esto tuvo poca influencia sobre las agrupaciones, ya que la altura media de la planta que fue la misma para los tres grupos.

Cuadro 4. Resumen de enfermedades reportadas para los sitios identificados por el análisis de patrones. Grupo (G), País, Localidad, BYDV (Enanismo amarillo de la cebada), PM (Oidio); BSG (Barley Stripe Graminearum); HS (Helminthosporium Sativum en la hoja); NB (Helminthosporiosis); SR (Roya del tallo); BLR (Roya de la cebada de hoja); SRL (Roya rayada de la hoja); SS (Roya rayada de la espiga); S (Escaldadura)

G	País	Localidad	BY D	PM	BS G	HS	NB	SR	BLR	SRL	SS	S
1	Pakistán	Tandojam		-2.1	1.2		-4.8					-3.6
	Túnez	Beja										
	Arabia Saudita	Dirab (Min. Of Agri. & water) Univ. of					-4.4					-3.6
	Turquía	Cukurova										
	España	Leída (La Carrerada) * Nogradowice	22	-1.3		-6	-2.0			34.8	8.30	-1.1
	Polonia	breeding stn. Balagne (Le Clos Landry)								6		
	Francia	Bethlehem (Small Grain Institute)										-4.5
	Sudáfrica	Brandon res. stn.		-0.2			-3.1					-1.3
	Canadá	Kitami (A.E.S.)		-2.6		-4	-7.4					
	Canadá	Lacombe (ASS)	2.9			-1			21	2.4	8.4	-1.5
	Noruega	Vollebekk										
	Turquía	Southeastern anatolian (A.R.I.)		15.6		519						
		Prince Edward Island		6		3	-3.9		53			52
	Canadá	(AAFC)		-4.9		-4.7					58.4	-0.5
	China	Dujiang-yan (Triticeae Res. Inst.)										
	España	Alameda del Obispo (CIDA)						21	28			
	Zimbabue	Harare	4.4			-6.1						
	Corea del Sur	Suwon (Nat. Crop Exp. Stn.)		-5.1			-2.7		73			-2.7
2	Túnez	Boulifa (KEF-INRA)		-2.6			-2.1					
	Qatar	Rawdat harma				-4						

Cuadro 4. Continuación												
G	País	Localidad	BY D	PM	BS G	HS	NB	SR	BLR	SRL	SS	S
2	México	Sonora (CIANO Stn.)	4.0				-2.8			3.6		
	Libia	Kufra production project GWEBI (Crop Breeding Inst.)										
	Zimbabue	Onaizah										
	Arabia Saudita	(Min. of Agr. & water) Jellin		-1.3	3.2		-1.0					
	Siria	(ACSAD) Alentejo		-5.8								
3	Portugal	(PBS)	1.4	-4.9			-4.0					-3.9
	Argelia	Setif (ITGC) El khroub					-2.7					
	Argelia	(ITGC) Badajoz (La			6.3							
	España	Orden)			3.7	-3.6	-4.5					
	Pakistán	Sariab Estacao (Exp. Agr. de		-2.7			-5.6		37			-1.8
	Angola	Chianga)		-0.3			-2.7					-0.7
	Ecuador	Quito Pichancha (Sta. Catalina)		-4.2								
	Sudáfrica	Napier SENSAKO		-4.6			-4.5					-2.8
	Bolivia	Cochabamba (C.D.I.F.-La Violeta)		-3.5					13.6			
	Grecia	Thessaloniki (Kentziko Thermi)		-3.9			-3.5					
	Italia	Tolentino (Cermis - "N. Strampelli")		-0.8					53			
	Pakistán	Islamabad (NARC)			1.6	-2.4	-3.0					
	Nueva Zelanda	Lincoln		-4.3			-4.7					
	Pakistán	Pirsabak Faisalabad (Wheat Res. Inst.)		76								6.0
	Pakistán	Zakaria										
	Argelia	(ITGC)										

Cuadro 4. Continuación

G	País	Localidad	BY D	PM	BS G	HS	NB	SR	BLR	SRL	SS	S
	Tanzania	Taro-Selian (Basotu site- SARI)										
	Bolivia	Cochabamba (San Benito)										

DISCUSIÓN

Este estudio permitió identificar tres patrones de adaptación o mega-ambientes para la cebada y tres lugares clave o representativos para cada uno de los mega-ambientes como respuesta a su interacción genotipo por ambiente. Coincidentemente, los tres lugares clave se encuentran en el rango de latitud donde otros autores reportan los dos períodos de domesticación de este cultivo (Harlan, 1975; Badr et al., 2000; Morell y Clegg, 2006). El primer período de domesticación tuvo lugar en el Creciente fértil; Hureyra (Siria, 35° N y 44° E) y Jericó (Palestina, 31° N y 19° E) por el 8000 B.C (B.C. = años calibrados). El segundo período de domesticación fué en Asia Central cerca de Anau, Turkmenistán (37° N y 58° E) y Djarkutan, Uzbekistán (38° N y 68° E) alrededor del 5000-2000 B.C. (Miller, 1999). El Cuadro 2, muestra que el Grupo 3 agrupa en su mayoría localidades del continente Europeo y Americano. Evidentemente, la cebada está bien adaptada a estas latitudes y el rendimiento del cultivo en estas coordenadas es entonces determinado por la temperatura y precipitación. Como se muestra en este estudio, Leída (La Carrerada) en España, la distribución de las precipitaciones durante el ciclo de cultivo también influye en la adaptación. El análisis de patrones (Cuadro 3), muestra que una de las principales características del primer grupo de localidades es el relativamente corto ciclo de cultivo, con un promedio de sólo cinco meses.

El resultado de este estudio muestra que las tres localidades clave, representativas de los mega-ambientes tienen un estrecho rango de latitud (36 y 41°). Argentina y Australia son dos de los principales países productores de cebada; y estudios anteriores han demostrado que la cebada esta bien adaptada al clima mediterráneo que gobierna las áreas de producción de esos países,

donde estas áreas de producción coinciden con las latitudes de las tres localidades representativas (Abeledo et al., 2003; Bedgood y Bedgood, 2003; Sidley, 1997).

Como se observa en el Cuadro 3, el Grupo 2 es el grupo más homogéneo en términos de duración del ciclo de cultivo y rendimiento, este grupo está compuesto por los lugares cálidos con riego y ciclo de cultivo más largo, de seis meses. Las localidades de este grupo presentan el mayor rendimiento de grano con 4,7 t / ha (Cuadro 3).

Hay pruebas irrefutables de que el clima mundial está cambiando y afectando los patrones climáticos locales (Karl et al., 1995; Easterling et al., 2000) y una de las principales consecuencias para la agricultura será la disponibilidad de agua. Esto es por lo tanto, indispensable y crucial que se desarrollen cultivos tolerantes a la sequía ó estrés hídrico para su adaptación a los ambientes secos, y para satisfacer la creciente demanda de alimentos (Islam, 1995). Si bien la cebada se utiliza para la alimentación, esta es principalmente utilizada para la producción de forrajes; sin embargo, la cebada probablemente juegue un papel más importante para la alimentación en el futuro, ya que se adapta a entornos en los que otros cereales no tienen un buen desempeño (Islam, 1995), sobre todo resistencia a la sequía. La gráfica de la Figura 4, ilustra el comportamiento típico de temperatura observados durante el desarrollo de cultivos de cebada en el clima mediterráneo, donde las temperaturas son frías al momento de la siembra y aumentan de manera constante a un máximo durante la cosecha. En los ambientes mediterráneos, las precipitaciones tienden a disminuir a medida que avanza la temporada y los cultivos son a menudo expuestos a la sequía terminal (van Oosterom, 1992). En el presente estudio sólo Leída (La Carrerada), la localidad clave, ubicada en España (Figura 4) y que representa el Grupo 1, se aparta de este patrón. En este lugar las precipitaciones tienden a aumentar durante el período de cosecha, aumentando así el riesgo de brotes germinales antes de la cosecha. Coincidentemente, el 78% de las localidades dentro de este grupo tienen la misma tendencia de precipitación. La localidad clave de Boulifa, Túnez y Setif, Argelia representan el 86% y 78%, respectivamente de localidades dentro de sus grupos correspondientes, en términos de precipitación (Figura 3). El mismo

porcentaje representado por las localidades clave en términos de temperatura (Figura 4). Estos resultados infieren que el comportamiento de las enfermedades está bien representado por las localidades clave dentro de cada mega-ambiente.

El Cuadro 2 será útil para los agricultores y fitomejoradores para el intercambio de germoplasma, al solicitar material específico de localidades dentro del mismo mega-ambiente o grupo. Este Cuadro muestra que los países de Europa y América están asociados al Grupo 1, 2 y 3, con un porcentaje de 34, 26 y 42, respectivamente; mientras que Asia y África tienen el porcentaje de asociación de 66, 74 y 58 a los Grupos 1, 2, y 3, respectivamente. Este resultado es consistente con el hecho de que el Grupo 2 es el más cálido (Cuadro 2.3b). El Cuadro 2, también muestra que el mega-ambiente 1 (ME1) agrupa el 30 % del total de localidades incluidas en este estudio, el 10% está asociado al ME2 y el 60 % al ME3. Tales resultados sugieren que el cultivo de la cebada está más adaptado a temperaturas de 14 °C.

Este análisis y su estudio de agrupación de sitios está basado únicamente en el rendimiento de grano y se supone que esta variable es representativa de todas las variables que determinan colectivamente la productividad. Sin embargo, la segregación de la resistencia a las enfermedades entre los materiales desplegados en cada ensayo puede ser manifestado como un cambio de rango de los genotipos dentro de las localidades afectadas por las enfermedades y por lo tanto, influir en la agrupación de sitios, dado que la agrupación está basada en la no significancia de la interacción genotipo por ambiente. En este estudio se obtuvieron reportes de incidencia de enfermedades para algunas localidades y al parecer esta incidencia puede haber influido en la agrupación (Cuadro 4). La falta de reportes de enfermedades para los sitios del Grupo 2 es compatible con los climas cálidos, de naturaleza árida de estos lugares. Por el contrario, los sitios del Grupo 1 y Grupo 3, reportaron una alta incidencia de roya de la hoja; sin embargo, los lugares del Grupo 1 tienden a tener una mayor incidencia de una gama más amplia de enfermedades, pues es un clima más húmedo que los sitios del Grupo 3, a pesar de que estos sitios están ubicados en los climas más húmedos, como el turco, canadiense, español y polaco. En el Grupo 3, sólo Pirsabak, sitio ubicado en Pakistán reportó una alta incidencia de alguna enfermedad distinta a la roya de

la hoja. Estos datos sugieren que la incidencia de enfermedades influyó en la determinación de mega-ambientes, en particular entre los sitios del Grupo 1.

Los programas de mejoramiento, como el de ICARDA-CIMMYT pueden beneficiarse de este conocimiento por la activa selección de los materiales parentales para cruces y por la selección y prueba de líneas derivadas dentro de estos mega-ambientes.

LITERATURA CITADA

Abeledo, L.G., D.F Calderini and & G.A. Slafer. 2003. Genetic improvement of barley yield potential and its physiological determinants in Argentina (1944-1998). *Euphytica* 130: 325-334

Abdalla, O.S., J. Crossa, E. Autrique, and I.H. DeLacy. 1996. Relationships among international testing sites of spring durum wheat. *Crop Sci.* 36:33–40.

Abdalla, O.S., J. Crossa, and P.L. Cornelius. 1997. Results and biological interpretation of shifted multiplicative model clustering of durum wheat cultivars and test sites. *Crop Sci.* 37:88–97.

Azzalini, A. and D. R. Cox. 1984. Two new test associated with the analysis of variance. *J. R. Stat. Soc.* 46:335-343.

Badr A., K. Muller, R. Schafer-Pregl, H. El Rabey, S. Effgen, H. Ibrahim, C. Pozzi, W. Rohde, F. Salamini. 2000. *Molecular Biology Evolution* 17:499–510.

Barreto, H.J., G.O. Edmeades, S.C. Chapman, and J. Crossa. 1997. The alpha lattice design in plant breeding and agronomy: Generation and analysis. p. 544–551. In G.O. Edmeades et al. (ed.) *Proceedings of a symposium on developing drought -and low N-tolerant maize, El Batan, Mexico. 25–29 March 1996.* CIMMYT, Mexico City, Mexico.

Bedggood W. and A. Bedggood. 2003. *Victorian winter crop summary 2003.* Melbourne: Department of primary industries.

Braun, H.J., S. Rajaram, and M. van Ginkel. 1996. CIMMYT's approach to breeding for wide adaptation. *Euphytica* 92:175–183.

Briggs, D. S. 1978. *Barley.* Chapman & Hall, London.

- Broekhuizen, S. (ed.) 1963. Barley growing and breeding in Europe. International Barley Genetics Symposium, 1; Wageningen Netherlands.
- Brown, K. D., M. E. Sorrels and W. R. Coffman. 1983. A method for classification and evaluation of testing environments. *Crop Sci.* 23:889-893.
- Calhoun, D.S., G. Gebeyehu, A. Miranda, S. Rajaram, and M. van Ginkel. 1994. Choosing evaluation environments to increase wheat grain yield under drought. *Crop Sci.* 34:673–678.
- Ceccarelli, S., S. Grandi and A. Impiglia. 1998. Choice of selection strategy in breeding barley for stress environments. *Euphytica* 103:307-318.
- Cornelius, P.L., M. Seyedsadr, and J. Crossa. 1992. Using the shifted multiplicative model to search for “separability” in crop cultivar trials. *Theor. Appl. Genet.* 84:161–172.
- Crossa, J., P.L. Cornelius, M. Seyedsadr, and P. Byrne. 1993. A shifted multiplicative model cluster analysis for grouping environments without genotypic rank change. *Theor. Appl. Genet.* 85:577–586.
- Crossa, J., P.L. Cornelius, and M.S. Seyedsadr. 1996. Using the shifted multiplicative model cluster methods for crossover genotype-by-environment interaction. p. 175–198. In M.S. Kang and H.G. Gauch (ed.) *Genotype-by-environment interaction*. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Crossa, J., and P.L. Cornelius. 1997. Site regression and shifted multiplicative models clustering of cultivar trials sites under heterogeneity of error variances. *Crop Sci.* 37:406–415.
- DeLacy, I.H., and M. Cooper. 1990. Pattern analysis for the analysis of regional variety trials. p. 301–334. In M.S. Kang (ed.) *Genotype-by-environment interaction and plant breeding*. Louisiana State Univ., Baton Rouge, LA.
- DeLacy, I.H., and P. Lawrence. 1988. Combining pattern analysis over years—Classification of locations. p. 175–176. In K.S. McWhirter et al. (ed.) *Proc. of the Ninth Australian Plant Breeding Conference*. Agricultural Research Institute, Wagga Wagga, New South Wales, Australia.
- DeLacy, I.H., M. Cooper, K.E. Basford, and P.N. Fox. 1998. The SEQRET package. Computer programs for retrospective pattern. p. 39. In *Plant improvement group research Report No 1*. School of land and food, The University of Queensland, Brisbane, Australia.

- Easterling, J.L. Evans, P. Ya. Groisman, T.R. Karl, K.E. Kunkel and P. Ambenje. 2000. Observed variability and trends in extreme climate events: A brief review. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 81: 417-425.
- Eberhart, R. T. and W.L. 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 program. *Aust. F. Agric. Res.* 14:742-754.
- Grando, Stefania and Helena Gormez Macpherson (eds.). 2005. Food Barley: Importance, Uses and Local Knowledge. Proceedings of the International Workshop on Food Barley Improvement, 14-17 January 2002, Hammamet, Tunisia. ICARDA, Aleppo, Syria.
- Harlan, J R. 1975. *Crops and Man*. American society of agronomy and crop society of America Madison, Wisconsin.
- Harlan, J. R. 1976. Barley. In Simmonds, N. W. (ed.), *Evolution of crop plants*. Longman, London.
- Horner, T. W. and K. J. Frey. 1957. Methods for determining natural areas for oat varietal recommendations. *Agron. J.* 49:313-315.
- H., G. Gauch, Jr., and Richard W. Zobel. 1997. Identifying Mega-environments and targeting genotypes. *Crop Sci.* 37:311-326.
- Islam, N. (ed.). 1995. *Population and food in the early twenty-first century: meeting future food demand of an increasing population*. International Food Research Institute (IFPRI) Washington, D. C.
- Karl, T. R., R. W. Knight, D.R. Easterling, and R. G. Quayle. 1995. *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol. 77, No. 2, Feb. 1996, pp 279-292.
- Lilemo, M., M. van Ginkel, R. Trethowan, E. Hernandez, and S. Rajaram. 2004. Associations among international CIMMYT bread wheat yield testing locations in high rainfall areas and their implications for wheat breeding. *Crop Sci.* 44:1163-1169.
- Lillemo, M., M. van Ginkel, R. M. Trethowan, E. Hernandez, and J. Crossa. 2005. Differential adaptation of CIMMYT bread wheat to global high temperature environments. *Crop Sci.* 45:2443-2453.
- Miller, F., N. 1999. Agricultural Development in Western Central Asia in the Chalcolithic and Bronze Ages. *Vegetation History and Archaeobotany* 8: 13-19

- Morell, P. L. and M. T. Clegg. 2007. Genetic evidence for a second domestication of barley (*Hordeum vulgare*) east of the Fertile Crescent. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 104:3289-3294.
- Peterson, C.J., and W.H. Pfeiffer. 1989. International winter wheat evaluation: Relationships among test sites based on cultivar performance. *Crop Sci.* 29:276–282.
- Rajaram, S., M. van Ginkel, and R.A. Fischer. 1994. CIMMYT's wheat breeding mega-environments (ME). p. 1101–1106. In *Proc. 8th Intl. Wheat Genet. Symp. Beijing, China.*
- Russell, W. K., K. M. Eskridge, D. A. Travnicsek, and F. G. Guillen-Portal. 2003. Clustering environment to minimize change in rank of cultivar. *Crop Sci.* 43:858-864.
- SAS. 1988. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- Shukla, G. K. 1972. Some statistical aspects of partitioning genotype-environmental components of variability. *Heredity* 29:237-245.
- Sidley????
- Simon, G. M. 1985. Testing for quantitative interactions between treatments effects and patient subsets. *Biometrics* 41:361-372.
- Trethowan, R.M., J. Crossa, M. van Ginkel, and S. Rajaram. 2001. Relationships among bread wheat international yield testing locations in dry areas. *Crop Sci.* 41:1461–1469.
- Trethowan, R.M., M. van Ginkel, K. Ammar, J. Crossa, B. Cukadar, S. Rajaram and E. Hernandez, 2003. Associations among twenty years of international bread wheat yield evaluation environments high yielding international bread wheat yield evaluation environments. *Crop Sci.* 43:1698-1711.
- Van Oosterom, E. J. and E. Acevedo. 1992. Adaptation of barley (*Hordeum vulgare* L.) to harsh Mediterranean environments. *Euphytica* 62:15-27.
- Vivar, H. E. and A. McNab (eds.) 2001. *Breeding barley in the new millennium: Proceedings of an international symposium.* Mexico, D. F.: CIMMYT.
- Wensheng, Z., T. Kaneko, M. Ishii, and K. Takeda. 2004. Differentiation of Beta-Amylase phenotypes in cultivated barley. *Crop Sci.* 44:1608-1614.

RECOMENDACIÓN DE GENOTIPOS ESTABLES Y DE ALTO RENDIMIENTO BASADO EN VEINTISIETE AÑOS DE DATOS PARA CEBADA

Eduardo Hernández-Segundo, Apolinar Mejía-Contreras, Richard Trethowan, Flavio Capettini, Maarten van Ginkel y Aquiles Carballo-Carballo

RESUMEN

Uno de los principales objetivos del programa de fitomejoramiento al sembrar experimentos en múltiples localidades o a través de años, es la identificación de genotipos estables a través de localidades y/o años y de alto rendimiento; por lo que estos experimentos son sembrados para todos los cultivos que son mejorados por programas nacionales e internacionales. El objetivo de este estudio fue explorar el efecto del genotipo y la interacción genotipo por ambiente de 750 variedades de cebada (*Hordeum vulgare* L.), agrupados en 750 ensayos de rendimiento que conformaron el ensayo internacional de rendimiento de cebada IBYT, el cual fue distribuido durante veintisiete años, por el programa de cebada ICARDA-CIMMYT. El IBYT fue sembrado en 251 localidades de 77 países de los cinco continentes. Este estudio identificó un genotipo por año con gran estabilidad y alto rendimiento, también fueron clasificados para cada mega-ambiente, dando un total de veintisiete variedades con tales características, las cuales pueden ser útiles para agricultores pobres de países en vías de desarrollo y al mismo tiempo útil a programas nacionales de mejoramiento, este estudio también contempló evaluar el programa de mejoramiento con el objetivo de dirigir mejor los métodos del programa de cebada practicados para desarrollar estos genotipos.

Palabras clave: *Hordeum Vulgare* L., Interacción genotipo por ambiente, estabilidad y modelo SREG.

RECOMMENDATION OF GENOTYPE AND STABLE HIGH PERFORMANCE BASED ON TWENTY-SEVEN YEARS OF DATA FOR BARLEY

SUMMARY

One of the main objectives of a breeding program in sowing experiments in multiple locations or years, is to identify stable and high performance genotypes across locations and / or years, so these experiments are been planted for all crops that are improved by national and international programs. The aim of this study was to explore the effect of genotype and genotype by environment interaction of 750 varieties of barley (*Hordeum vulgare L.*), grouped in 750 tests of performance that made up by the test of international barley yield IBYT, which was distributed during twenty-seven years, by the ICARDA-CIMMYT barley. The IBYT was sown in 251 locations in 74 countries on five continents. This study identified one genotype per year with stability and high yield also clasificaded for every mega-environment, giving a total of twenty-seven varieties with those characteristics, which can be useful for poor farmers in developing countries as well as useful in breeding programs, this study also includes to assess the improvement in order to address the best methods for improving barley.

Key words: *Hordeum vulgare L.*, genotype by environment interaction, stability and SREG model.

INTRODUCCION

La Cebada (*Hordeum vulgare L.*) es uno de los cultivos mas antiguos del mundo (Harlan, 1975; Miller, 1999; Badr et al., 2000; Morell y Clegg 2007) y aunque su origen ha permanecido incierto por mucho tiempo, Morell y Clegg (2007), recientemente han considerado como centro de origen de este cereal, a los países que conforman el medio este como Siria, Israel, Libano, Jordania, Iráq, Irán, etc. En la antigüedad el principal uso de la cebada era el consumo humano, posteriormente fue destinado a la alimentación de animales de corral y últimamente su utilización ha sido por la industria cervecera, la cual consigue obtener cada año grandes ganancias por la venta de cerveza, haciendo a este cultivo muy redituable a nivel mundial y por ende grandes esfuerzos han sido enfocados para describir las condiciones ideales del cultivo, como la incidencia de factores bióticos y abióticos que afectan tanto el rendimiento como su calidad, con la finalidad de obtener altos rendimientos.

Los programas de mejoramiento de cultivos, establecen cada año ensayos en múltiples localidades y/o a través de años, con la finalidad de evaluar el germoplasma e identificar mega-ambientes propicios para el cultivo, los cuales le permitan reducir la interacción genotipo por ambiente, y ha sido estudiada como punto de partida para entender a mas detalle el comportamiento de los cultivos en determinados ambientes; la siembra de estos ensayos, permite obtener información relevante del comportamiento de los genotipos sembrados en cada una de las localidades respecto a la incidencia de enfermedades, las cuales son reflejadas en el rendimiento neto de una determinada variedad.

Por mucho tiempo los mejoradores de cultivos han buscado genotipos con gran estabilidad a través de localidades y años, al cual le llaman prototipo de genotipo ideal, en tiempos mas modernos el mejoramiento ha sido mas flexible en identificar mega-ambientes o regiones con características semejantes, las cuales hacen que la interacción genotipo por ambiente sea cero ó mínima, permitiendo así tener mayor diversidad genética al disponer de mas variabilidad en el germoplasma.

La medición del rendimiento de cada genotipo dentro de cada localidad y en cada año sembrado no es otra cosa que la medición del efecto ambiental (A), el efecto principal del genotipo (G) y el efecto de la interacción genotipo por ambiente (GA) (Yan y Kang, 2003). Como es bien sabido el ambiente representa el 80% de la explicación total del rendimiento ó más, y el genotipo e interacción genotipo por ambiente el restante 20%, sin embargo, estos dos últimos son los que se utilizan para discriminar mejor a los genotipos en cada ambiente determinado.

El cambio de rendimiento de un determinado genotipo dentro de cada ensayo a través de las localidades y/o años, es conocido como interacción genotipo por ambiente y ha sido estudiado usando varios modelos multivariados como el AMMI (*additive main effects and multiplicative interaction method*) y el SREG (*site regression*) entre los mas importantes para su representación en dos ejes cartesianos (biplots).

El modelo AMMI ha sido utilizado para explorar la interacción genotipo por ambiente en diferentes cultivos (Zobel et al., 1988; Crossa et al., 1990). Este modelo multivariado es de gran utilidad para explicar la suma de cuadrados de la interacción para variedades sembradas en una gran variedad de ambientes (Riggs, 1978; Zobel et al., 1988).

El modelo SREG es muy similar al AMMI, pero aquí los términos lineales o principales de genotipos no son considerados individualmente y se adicionan al término multiplicativo de la interacción genotipo x ambiente. El SREG es útil para la mejor discriminación de genotipos en ambientes bien identificados (Cornelius y Crossa, 1999; Yan, 2000). El modelo de regresión de sitios (SREG) es utilizado para el análisis de datos de ensayos comparativos de rendimiento sembrados en múltiples ambientes, en especial cuando el ambiente (E) es la fuente de variación más importante en relación con la contribución del genotipo (G) y la interacción genotipo x ambiente (GE). Este modelo, que incluye en el término bilineal G+GE, proporciona un análisis gráfico del comportamiento (rendimiento y estabilidad) de los genotipos denominado biplot GGE. Este gráfico permite identificar el genotipo de mayor potencial en cada ambiente y agrupar genotipos y ambientes con patrones similares de respuesta. Con el objeto de evaluar la variabilidad en el

rendimiento de grano de cebada y determinar los patrones de respuesta entre genotipos y ambientes.

Tanto el modelo AMMI como el SREG están basados en la técnica multivariada de componentes principales y utilizan el error estándar de la media de cada genotipo dentro de ambientes para representar gráficamente la variabilidad de genotipos y ambientes, en donde los genotipos con gran valor para el primer componente y cero para el segundo son aquellos con gran estabilidad (Gabriel, 1971; Crossa, 1990).

Aunque el rendimiento es el resultado de los efectos del genotipo (G), del ambiente (E) y de la interacción genotipo-ambiente (GE), solamente el efecto principal de G y la interacción GE son de relevancia en la evaluación de los genotipos (Yan et al., 2000). A diferencia del ANOVA y de la comparación de medias que sólo permiten seleccionar aquellos genotipos que superan un determinado nivel de rendimiento, el modelo de regresión de sitios (SREG) (Cornelius et al., 1996; Crossa y Cornelius, 1997; Crossa et al., 2002), que se recomienda cuando los efectos ambientales son la fuente de variación más importante, tiene otras ventajas adicionales. En efecto, el modelo SREG, que incluye G+GE en el término bilineal, proporciona un análisis gráfico de fácil interpretación del comportamiento de los genotipos más el efecto de la interacción genotipo-ambiente, denominado biplot GGE (Yan et al., 2000; 2001).

Los principales objetivos de este estudio fueron a) La Identificación de genotipos estables y con alto rendimiento, utilizando el modelo SREG y explicando su superioridad por medio de la incidencia de enfermedades y b) La recomendación de genotipos específicos para cada mega-ambientes de cebada que asocian localidades con características similares.

MATERIALES Y METODOS

El programa de cebada ICARDA-CIMMYT está ubicado en México y cada año agrupa entre 25 o 50 de los mejores genotipos, los cuales son seleccionados por el mejorador ya que presentan mejor resistencia a enfermedades y alto

rendimiento, estos genotipos han sido identificados a través de varios años de prueba, partiendo desde la cruza, poblaciones segregantes sembradas intercaladamente entre la estación experimental del CIANO (27° 20' N y altitud de 38 sobre el nivel del mar); cerca de ciudad Obregón Sonora y la estación Toluca, Estado de México. Los genotipos seleccionados se agruparon cada año dentro del Ensayo Internacional de Cebada IBYT (*internacional barley yield trial*) y es distribuido a mas de 235 localidades en 74 países de todo el mundo.

Cada ensayo es tratado con Vitavax para asegurar la sanidad de la semilla y obtener el certificado fitosanitario, que es requisito indispensable para la importación de semilla en muchos países, principalmente países de primer mundo.

Los datos analizados en este estudio fueron obtenidos de 27 años del ensayo IBYT, que datan desde 1979 al 2005 (Cuadro 1). Cada ensayo fue empaquetado en juegos de 24 ó 49 entradas, dejando una entrada para el testigo local, el cual fue agregado por cada uno de los cooperadores quienes sembraron el ensayo usando técnicas agronómicas típicas de su localidad y país, este testigo local es la variedad que los agricultores de cada país utilizan por ser estable y de alto rendimiento en su ambiente. Finalmente cada ensayo constó de 25 ó 50 genotipos en total (Cuadro 1). Desde 1979 a 1990 los ensayos fueron arreglados en un diseño de bloques completos al azar, y de 1991 a 2005 se utilizo un diseño Alfa-latice (Barreto et al. 1997) en 2, 3 ó 4 repeticiones (Cuadro 1).

El número total de ensayos de rendimiento del IBYT comprendidos en este estudio fue de 750 (Cuadro 3.1), el número de localidades sembradas dentro de cada año varió, dado que el IBYT no fue solicitado de forma regular por los cooperadores o agricultores que forman la red de distribución de germoplasma del programa de trigo en el CIMMYT.

Cuadro 1. Número de ensayos del IBYT, Año de estudio, Número de genotipos, Número de repeticiones y Número de ensayos o experimentos.

IBYT	Año	# Genotipos	# Repeticiones	# Ensayos
1	1979	25	4	35
2	1980	25	4	25
3	1981	50	3	40
4	1982	50	3	37
5	1983	50	3	35
6	1984	25	4	29
7	1985	25	4	26
8	1986	25	4	39
9	1987	25	4	35
10	1988	25	4	34
11	1989	25	4	47
12	1990	25	4	44
13	1991	25	4	37
14	1992	25	4	51
15	1993	25	4	14
16	1994	25	4	23
17	1995	25	4	20
18	1996	25	3	27
19	1997	25	2	15
20	1998	25	2	31
21	1999	25	2	30
22	2000	25	2	17
23	2001	25	2	10
24	2002	25	2	11
25	2003	25	2	12
26	2004	25	2	12
27	2005	25	2	14
Total	27	750	86	750

El IBYT fue sembrado en 74 países de los cinco continentes, donde el cultivo de la cebada es importante, cabe señalar que cada año muchos de los países sembraron en varias localidades el mismo ensayo, como es el caso de España, Pakistán y China (Cuadro 2).

Cuadro 2. Región del mundo, País y número de localidades.

Región	Países	# Localidades
Norteamérica	Canadá (6), México (11), Estados Unidos (3)	20
Centroamérica	Costa Rica (2), Guatemala (1), Nicaragua (1)	8
Sudamérica	Argentina (3)*, Bolivia (3), Brasil (3), Chile (2), Ecuador (2), Paraguay (1), Perú (3), Venezuela (1)	14
Europa	Austria (1), Bosnia (1), Bulgaria (1), Finlandia (1), Francia (4), Alemania (3), Grecia (3), Irlanda(1), Italia(4), Lituania (1), Macedonia (1), Noruega (1), Polonia (2), Portugal (1), Rumania (1), Serbia Montenegro (1), Checoslovaquia (1), España (14), Suecia (1), Ucrania (3), Inglaterra (1)	47
Asia Occidental y África del Norte	Afganistán (13), Argelia (5), Camerún (1), Chipre (3), Egipto (5), Irán (9), Iraq (2), Jordania (3), Libano (1), Libia (6), Nigeria (2), Omán (1), Qatar (1), Arabia Saudita (3), Siria (3), Túnez (3), Turquía (7)	68
África: Sur y Oriente	Angola (1), Etiopía (2), Kenia (2), Malawi (2), Ruanda (1), Sudáfrica (5), Tanzania (3), Zambia (1), Zimbabue (3)	20
Asia del Sur	Bangladesh (3), India (10), Myanmar (2), Nepal (3), Pakistán (14)	32
Asia Oriental	China (14), Japón (3), Corea del Norte (1), Corea del Sur (2), Taiwán (1), Tailandia (2)	23
Asia Central	Kazakstán (2)	2
Oceanía	Nueva Zelanda	1
Total	74	235

*El número dentro del paréntesis indica el número de localidades que reportaron datos para el país correspondiente.

Análisis Estadístico

El análisis estadístico se basó en el gráfico producido a partir del biplot simétrico obtenido por el programa GGE biplot de Yan, 2001. Para explorar la variabilidad del genotipo más la interacción genotipo por ambiente (G+GA) para rendimiento de grano, se utilizó el modelo lineal-bilineal de regresión de sitios (SREG) dado por el siguiente modelo:

$$Y_{ij} = \mu + \beta_j + \sum_{n=1}^k \lambda_n \xi_{in} \eta_{jn} + \varepsilon_{ij}$$

Donde Y_{ij} es el rendimiento de grano del genotipo i en el ambiente j , μ es la media general; β_j es el efecto aditivo principal del ambiente; λ_n es el auto valor; ξ_{in} y η_{jn} son los coeficientes de genotipos y ambientes, respectivamente para $n=1,2,\dots$, (llamados efectos primario y secundario de genotipos y ambientes, respectivamente); y ε_{ij} es el término de error aleatorio, el cual se supone con distribución normal $(0, s^2/r)$ (donde S^2 es la varianza de error conjunto y r es el número de repeticiones). El biplot GGE fue construido a partir de las primeras dos componentes principales (CP1 y CP2) simétricamente escaladas derivadas del análisis de CP de los datos centrados por ambiente.

El software utilizado para correr estos análisis fué SAS versión 9.1.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El programa de mejoramiento de cebada ICARDA-CIMMYT tiene como principal objetivo, consolidar dentro del IBYT los mejores genotipos, con el propósito de beneficiar a los agricultores pobres de países en vías de desarrollo, tal objetivo es logrado, ya que los países pobres agrupados en las diferentes regiones del oeste de Asia y norte de África son los que solicitan con mayor constancia el IBYT (Cuadro 2) y que de acuerdo a la FAO en estos continentes se encuentran los países mas pobres del mundo (<http://www.fao.org/>) cabe señalar que países desarrollados como los Estados Unidos, Canadá y países Europeos, se ven beneficiados por estos genotipos (Cuadro 2) al ser incorporados a sus programas nacionales de mejoramiento de cebada, ya que estos países son de los principales productores de cebada en el mundo.

Los resultados del análisis de varianza para cada año de datos en el estudio se muestran en el Cuadro 3, el cual nos da un panorama general de la variabilidad representada por cada componente, genotipo (G), ambiente (A) y genotipo por ambiente (GE).

Cuadro 3. Análisis de varianza para cada año de estudio.

Año	Genotipo (G)			Ambiente (A)			G x A			Total
	SC [†]	% [‡]	GL [£]	SC [†]	% [‡]	GL [£]	SC [†]	% [‡]	GL [£]	SC
1979	489	3.35	24	12162	83.32	34	1945	13.32	816	14596
1980	499	6.14	24	6281	77.33	24	1342	16.52	573	8123
1981	810	5.21	49	11379	73.27	39	3341	21.51	1899	15530
1982	1075	5.55	49	14269	73.74	36	4007	20.71	1752	19350
1983	671	3.00	49	18183	81.33	34	3502	15.66	1660	22356
1984	529	5.58	24	7274	76.71	28	1678	17.70	669	9482
1985	291	2.70	24	8559	79.61	25	1902	17.69	600	10751
1986	344	2.97	24	8707	75.11	38	2541	21.92	911	11593
1987	368	2.54	24	12542	86.43	34	1601	11.03	816	14512
1988	599	5.70	24	8088	76.91	33	1828	17.39	786	10515
1989	1677	6.94	24	18667	77.25	46	3820	15.81	1090	24164
1990	222	0.89	24	22092	88.49	43	2651	10.62	1031	24964
1991	411	2.58	24	13729	86.03	36	1819	11.40	864	15959
1992	98	0.46	24	19332	91.01	50	1812	8.53	1199	21242
1993	381	6.35	24	4916	82.07	13	694	11.58	312	5990
1994	567	6.59	24	6789	78.80	22	1259	14.61	527	8615
1995	827	11.92	24	5001	72.07	19	1111	16.01	456	6939
1996	115	1.31	24	7735	87.99	26	940	10.70	624	8790
1997	60	3.79	24	1270	79.67	14	264	16.54	336	1594
1998	360	4.92	24	5711	78.08	30	1243	17.00	716	7314
1999	216	3.24	24	5505	82.62	29	942	14.14	689	6663
2000	288	7.12	24	2872	70.91	16	890	21.97	383	4050
2001	129	3.49	24	3074	83.52	9	478	12.99	211	3681
2002	55	3.95	24	1057	75.31	10	291	20.74	240	1404
2003	175	3.96	24	3510	79.31	11	740	16.73	261	4425
2004	308	6.82	24	3584	79.45	11	620	13.74	263	4511
2005	216	9.11	24	1509	63.69	13	645	27.20	309	2369

† Suma de cuadrados para cada año

‡ Porcentaje respecto del total

£ Grados de libertad

€ Suma de cuadrados total (G+A+GA)

En cada uno de los años de estudio, el ambiente fue por mucho la mas importante fuente de variación; con valores desde 64 hasta 91% del total (G+A+GA). El Cuadro 3 muestra los valores correspondientes a la interacción genotipo por ambiente; sugiriendo estos resultados la existencia de mega-ambientes que separan a las localidades dentro de grupos (Yan et al., 2000). El componente correspondiente a genotipo es el mas bajo para todos los años de información involucrada; desde 8 hasta 27% del total de la suma de cuadrados.

La Figura 1, muestra la comparación entre la magnitud del componente de varianza debido a la interacción genotipo por ambiente (GA) y el componente de

varianza correspondiente al genotipo (G), esta comparación permite observar que es posible obtener genotipos con amplia adaptación, ya que por ser pequeño el componente de varianza de GA facilita la identificación de genotipos con amplia adaptación o estables a través de ambientes o en otras palabras genotipos que no variaran mucho en rendimiento en varias localidades (DeLacy et al., 1996; Eberhart y Russell, 1966; Shukla, 1972). La Figura 1, también demuestra que existe una clara reducción del componente de varianza para el genotipo (G) a partir del año 1991 hasta el 2005; con una pendiente de -98, cabe mencionar que este periodo esta comprendido en la administración de Hugo Vivar (1984-200) y Flavio Capetinni (200-2005) del programa de mejoramiento, mientras que el componente debido a la interacción también tiene una pendiente negativa pero no tan pronunciada (-21). Por lo tanto estos resultados sugieren que a partir de 1991 el programa de mejoramiento ICARDA-CIMMYT estuvo concentrando sus esfuerzos en obtener variedades de cebada con más estabilidad y rendimiento. La pendiente negativa para la suma de cuadrado debida a la interacción genotipo por ambiente es porque con genotipos más estables la interacción es menor (DeLacy et al., 1996)

El modelo SREG que tiene la cualidad de separar del análisis el efecto ambiental, de genotipo y debido a la interacción, es el que mejor ajusta a los datos multiambientales presentados en este estudio (Yan et al., 2007), ya que el efecto ambiental es el mas importante (Cuadro 3). La Figura 1, muestra el biplot usando el modelo SREG y expone de forma gráfica la estabilidad de los genotipos sembrados en el año de estudio y a través de todas las localidades, un biplot de este tipo fue hecho para cada año de datos involucrados en este estudio y por motivo de espacio en este artículo se omitieron las otras 26 gráficas, los resultados son resumidos en el Cuadro 3.

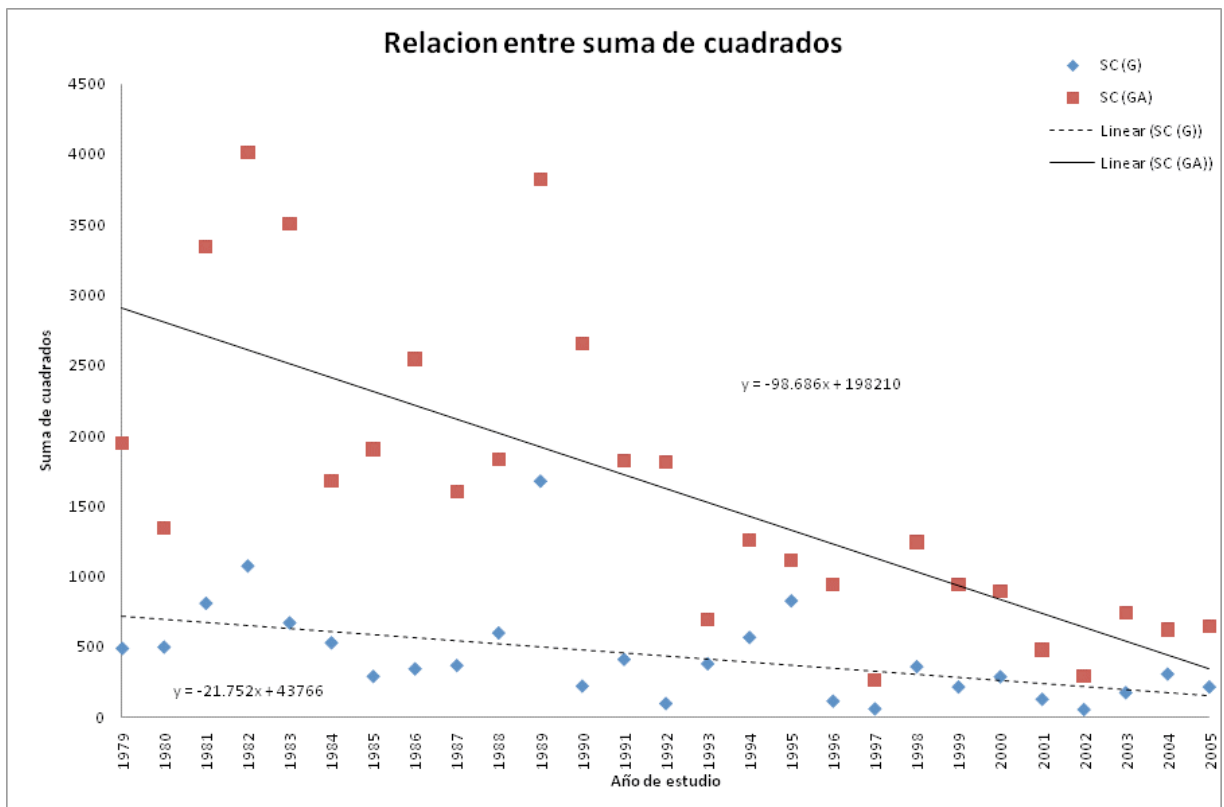


Figura 1. Relación entre la suma de cuadrados correspondiente a genotipo; (SC [G]) y suma de cuadrados debida a la interacción genotipo por ambiente; (SC [GA])

El coeficiente de Shukla (Shukla, 1972) fue utilizado para medir la estabilidad de cada genotipo. La interpretación para la Figura 1 es la siguiente

- 1) El primer componente principal (CP1) representa la variabilidad explicada por el genotipo y el segundo componente principal (CP2) la variabilidad explicada por la interacción genotipo x ambiente; cada valor es presentado en las graficas y resumido en el Cuadro 4.
- 2) La línea vertical con dos puntas de flecha en cada extremo, indica la media del rendimiento a través de todos los ambientes, de tal manera que los genotipos que están a la izquierda de esta línea son aquellas líneas que tuvieron un rendimiento de grano inferior a la media y por ende las que están a la derecha de la línea son las que reportaron mejores rendimientos.

Cuadro 4. Porcentaje del total de suma de cuadrados, explicado por los seis componentes principales.

Año	Componentes principales (CP)						Suma CP	
	1	2	3	4	5	6	1 y 2	1,2 y 3
1979	40.00	12.10	9.40	5.60	1.60	0.10	52.10	61.50
1980	41.90	18.90	9.30	4.90	1.10	0.20	60.80	70.10
1981	29.60	15.50	5.50	2.70	1.10	0.10	45.10 [†]	50.60
1982	41.20	11.90	8.30	4.80	1.00	0.20	53.10	61.40
1983	29.40	16.50	9.60	3.50	1.30	0.10	45.90 [†]	55.50
1984	41.50	13.30	9.90	4.20	2.10	0.10	54.80	64.70
1985	39.00	19.00	12.20	4.60	2.40	0.20	58.00	70.20
1986	24.60	18.00	14.10	6.10	1.60	0.40	42.60 [†]	56.70
1987	37.40	18.50	9.10	5.10	1.70	0.20	55.90	65.00
1988	34.80	17.10	9.00	6.50	2.10	0.30	51.90	60.90
1989	42.50	15.70	7.60	4.20	1.40	0.30	58.20	65.80
1990	25.40	15.30	9.60	4.50	1.60	0.30	40.70 [†]	50.30
1991	33.50	16.40	7.20	3.70	1.70	0.30	49.90 [†]	57.10
1992	20.20	10.10	7.40	4.50	1.40	0.30	30.30 [†]	37.70 [†]
1993	42.70	16.10	8.70	5.60	1.70	0.60	58.80	67.50
1994	47.90	19.70	9.30	3.00	1.80	0.10	67.60	76.90
1995	58.90	11.70	5.50	3.90	1.70	0.30	70.60	76.10
1996	22.30	12.90	9.00	5.60	1.80	0.10	35.20 [†]	44.20 [†]
1997	27.70	16.10	12.10	7.70	2.10	1.00	43.80 [†]	55.90
1998	34.70	14.90	8.70	5.70	2.00	0.10	49.60 [†]	58.30
1999	35.70	14.60	8.80	4.40	1.60	0.30	50.30	59.10
2000	51.60	21.90	9.10	4.20	1.50	0.30	73.50	82.60
2001	57.80	18.90	7.80	4.80	1.80	0.40	76.70	84.50
2002	38.00	31.10	15.90	5.90	1.90	0.60	69.10	85.00
2003	69.00	11.60	8.10	2.40	1.10	0.40	80.60	88.70
2004	49.80	18.90	9.90	5.20	1.90	0.40	68.70	78.60
2005	45.00	15.00	7.50	5.90	2.90	0.50	60.00	67.50

† Valores que representan menos del 50% de la variabilidad.

- 3) La línea horizontal representa la estabilidad y por lo tanto los genotipos que ubicados sobre esta o con menor distancia serán los genotipos más estables. La punta de la flecha señala la posición del genotipo ideal desde ambos criterios, rendimiento y estabilidad.

- 4) El modelo SREG, que tiene la capacidad de eliminar del análisis el efecto ambiental, es el que mejor se ajusta para el estudio de nuestros datos multiambientales. Los dos primeros CP, que fueron empleadas en la construcción del biplot GGE, explicaron en promedio el 88% de la variación de la interacción GGE. El CP1 explicó un 68.59% y la CP2 el 5.41% restante (Cuadro 4)

El Cuadro 4. Muestra un resumen de los seis primeros componentes principales (CP) para cada uno de los veintisiete biplots graficados (Figura 1A a 27A); uno para cada año de estudio. Cada componente representa el valor porcentual de la suma de cuadrados debido a la suma del efecto y al genotipo (G) y a su interacción con el ambiente (GA). Como puede observarse en el Cuadro 4, la suma de los dos componentes principales varía desde 30.30 hasta 88.70. Para los años 1981, 1983, 1986, 1990, 1991, 1992, 1996, 1997, 1998 los dos primeros componentes principales no representan mas del 50% de la variabilidad debida al modelo G+GA, sin embargo, a medida que se considera la suma de mas componentes principales esta representación aumenta, como el caso de la suma de los componentes 1,2 y 3, que solo cuando se consideran los tres primeros componentes principales solo hay dos años que tienen representación menor al 50% (1992 y 1996). Algunos autores recomiendan tomar en cuenta el mayor numero de componentes principales, siempre y cuando la representación gráfica permita discriminar los mejores genotipos (Yan y Hunt, 2002) En este estudio los genotipos seleccionados con mejor estabilidad y rendimiento fueron seleccionados tomando en cuenta los seis primeros componentes principales, dado que la selección fue hecha en base a datos numéricos y observación gráfica.

Selección de los mejores genotipos por año de estudio

El Cuadro 5, muestra la lista de genotipos seleccionados para cada año de estudio, en la base de datos IWIS (International Information Wheat system) del CIMMYT, se encuentran identificados cada genotipos por su CID (Cross identification) y SID (selection Identification), por lo que con estos datos se puede solicitar semilla al Banco de Germoplasma de estos genotipos para estudios futuros. La columna GGE representa la media del genotipo a través de todas las localidades por año donde fue sembrado cada uno de los genotipos, la columna TL representa la media del testigo local sembrado en cada localidad y que es la variedad con mejor rendimiento probado por muchos años en la zona, La columna IE es el índice de estabilidad de Shukla.

Cuadro 5. Genotipos seleccionados

Año	Genotipo	Cid	Sid	GGE	TL	IE
1979	MZQ/DL71	311474	5	3.85	3.90	0.31
1980	CLIPPER	201162	0	3.50	4.00	0.13
1981	ASTINA	291433	0	3.42	4.10	0.71
1982	MULTUM	291440	0	3.30	3.80	2.82
1983	JUPITER,BAR	291432	0	3.50	4.00	0.58
1984	ARAMIR/COSSACK	311828	6	3.90	4.50	1.30
1985	ARUPO	159727	6	3.75	4.20	0.04
1986	GLORIA-BAR/COME	166177	321	3.50	3.90	0.30
1987	GLORIA-BAR/COPAL	169008	206	4.12	3.80	1.38
1988	GLORIA-BAR/COME	166177	59	3.76	4.10	0.92
1989	GOLDMARKER//ARK ROYAL/G.PROMISE	314400	-2	4.70	4.60	1.08
1990	LBIRAN/UNA8271/5/GLORIA- BAR/4/SOTOL//2762/BC- B/3/11012.2/TERN-B//H272	154700	194	4.30	4.40	0.71
1991	CAMELOT	173077	0	4.52	4.30	1.02
1992	JUGLANS	166129	19	4.00	3.90	0.10
1993	JUGLANS	166129	10	4.72	5.40	0.42
1994	LINAZA-BAR	161541	11	4.20	3.70	0.25
1995	P.STO/3/LBIRAN/UNA80//LIG NEE640	166438	4	4.20	4.00	1.39
1996	LBIRAN/UNA8271/5/GLORIA- BAR/4/SOTOL//2762/BC- B/3/11012.2/TERN- B//H272/6/SEN	161546	4	4.50	4.40	0.49
1997	GLORIA- BAR/4/SOTOL//2762/BC- B/3/11012.2/TERN-B//H2	166200	35	3.34	3.00	1.29
1998	CIRUELO	205535	16	4.45	3.70	1.51
1999	BELLA UNION	212808	189	3.50	3.60	0.17
2000	JORUPE	215727	180	4.60	4.10	4.03
2001	ROBUST//GLORIA- BAR/COPAL/3/TOCTE/9/GLO RIA-BAR/4/SO	200561	57	4.80	4.50	1.75
2002	CLN-B/80.5138//GLORIA- BAR/COPAL/3/CERRAJA	262453	43	3.75	3.70	0.22
2003	AMAPA/COTA//GLORIA- BAR/COPAL/3/BBSC/4/80.518 5/SEN//CARD0	329709	94	3.80	4.10	0.65
2004	P.STO/3/LBIRAN/UNA80//LIG NEE640/4/BLLU/5/PETUNIA 1	337183	302	5.30	5.60	0.71
2005	GLORIA- BAR/COPAL//SEN/3/PETUNIA 1/4/CIRU	355509	25	5.40	5.20	0.50

Los genotipos seleccionados para los años 1986, 1987 y 1989 contienen la misma hembra dentro de la cruce y este resultado podría sugerir que GLORIA-BAR sea

una línea que confiere estabilidad al genotipo, aunque la mejor combinación sea con COPAL, ya que de las tres cruzas es la de mejor rendimiento. Dos líneas hermanas del genotipo JUGLANS fueron seleccionadas para los años 1992 y 1993 y tienen rendimientos similares, lo cual sugiere que esta línea pudiera ser una buena fuente de germoplasma con estabilidad.

Aunque este estudio comprende el análisis estadístico de 750 genotipos, la variedad GLORIA-BAR fue encontrada en diez de los mejores genotipos seleccionados para cada año, por lo que se enfatiza su estabilidad.

Comparación del mejor genotipo contra el testigo local

El rendimiento de cada genotipo seleccionado para cada año; con mejor estabilidad y rendimiento es graficado contra el testigo local, tal como se muestra en la Figura 2, la cual presenta en el eje de las ordenadas valores en porcentaje respecto de la media de cada experimento tanto para el mejor genotipo como para el testigo local. Como se menciona antes, el testigo local es la variedad que el agricultor ha sembrado por muchos años y por ende presenta una gran adaptabilidad y buen rendimiento. La Figura 2, muestra que en términos generales el testigo local presenta un mejor comportamiento a través de años, sin embargo su línea de regresión se presenta con una pendiente negativa, por el contrario las variedades mejoradas por el programa ICARDA-CIMMYT van avanzando con una pendiente positiva a través de años.

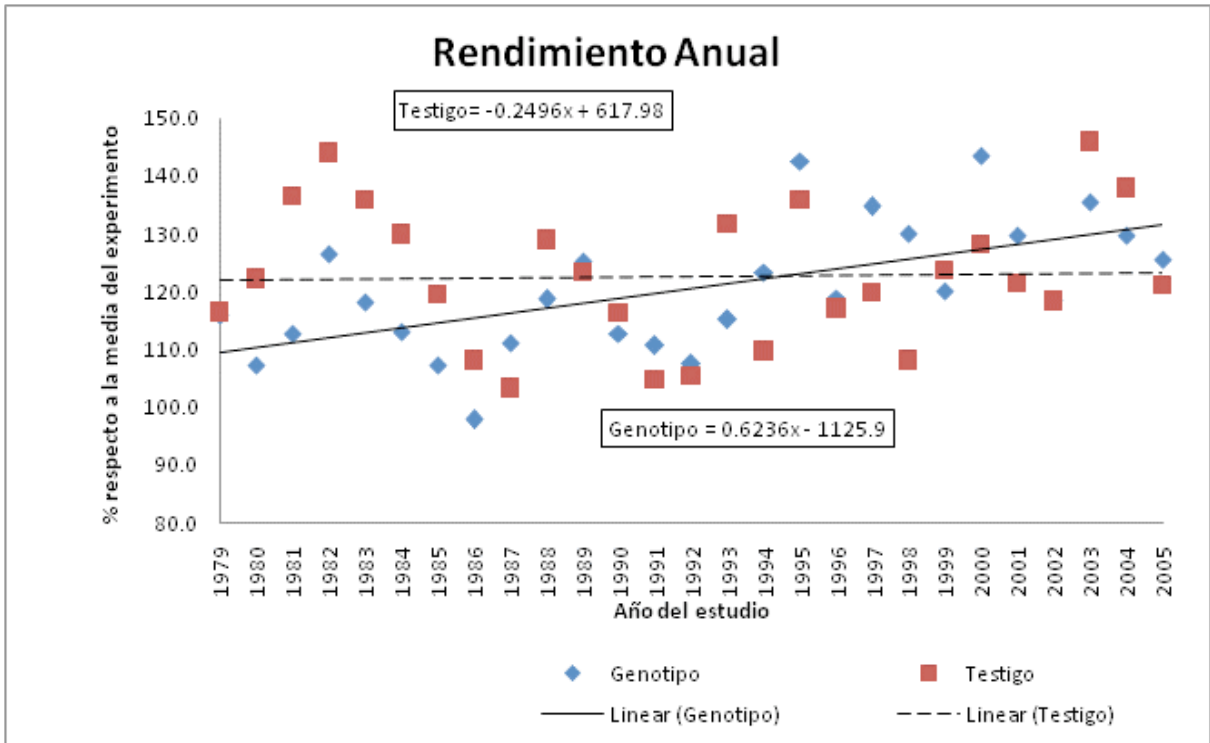


Figura 2. Rendimiento anual a través de años; el mejor genotipo contra el testigo local.

Recomendación de genotipos por mega-ambiente

Una gráfica como la mostrada en la Figura 3 fue hecha para cada año de estudio, sin embargo por motivos de espacio solo se muestra la correspondiente al primer año (Figuras 1A-27A), esta gráfica muestra que genotipo fue el mejor para cada mega-ambiente. Las localidades están representadas por los números seguidos por una “L” y los genotipos por los números seguidos por la letra “X”. Los mega-ambientes son agrupados por las líneas punteadas y los mejores genotipos para cada mega-ambiente están ubicados en los vértices del polígono.

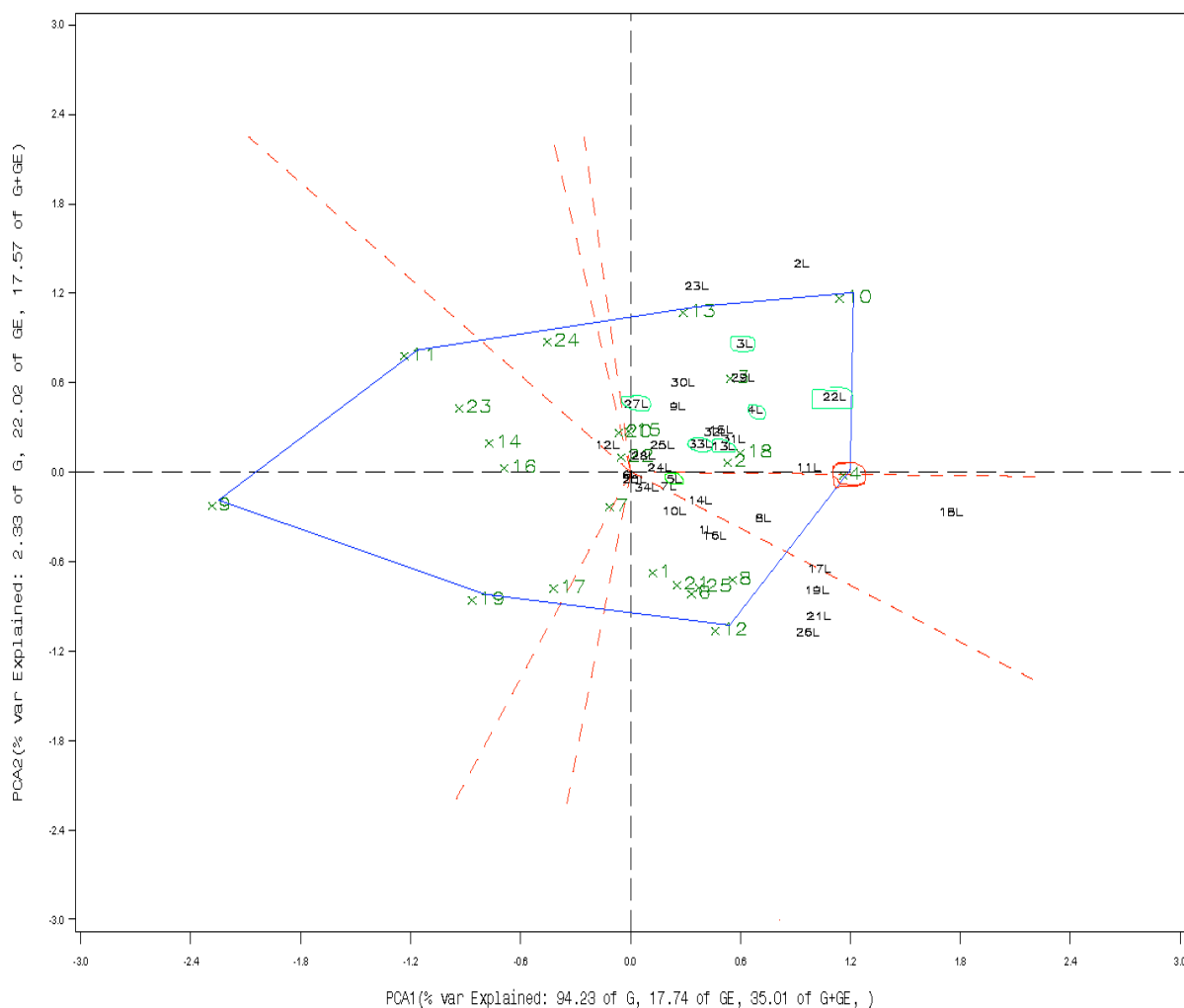


Figura 3. Genotipo asociado a cada mega-ambiente.

La Figura 3, muestra que el genotipo X4 correspondiente a la cruz MZQ/DL71, la cual esta asociada a las localidades que fueron clasificadas dentro del mega-ambiente uno (Hernández, et al., 2009; Cuadro 2,). Este mismo análisis fue hecho para cada uno de los veintisiete años de estudio y por lo tanto cada uno de los 27 genotipos fue asociado a cada uno de los tres mega-ambientes (Cuadro 6).

El Cuadro 6, muestra que los genotipos recomendados para los años 1982, 1984, 1989, 1990, 1991 y 1992 son genotipos con una amplia estabilidad a través de los tres mega-ambientes y se recomienda hacer mas cruzas con estos genotipos.

Cuadro 6. Recomendación de genotipos para cada mega-ambiente.

IBYT	Genotipo	ME	ME	ME
		1	2	3
1979	MZQ/DL71	*		*
1980	CLIPPER	*		*
1981	ASTINA		*	*
1982	MULTUM†	*	*	*
1983	JUPITER,BAR	*		*
1984	ARAMIR/COSSACK†	*	*	*
1985	ARUPO	*	*	
1986	GLORIA-BAR/COME			*
1987	GLORIA-BAR/COPAL		*	*
1988	GLORIA-BAR/COME	*		*
1989	GOLDMARKER//ARK ROYAL/G.PROMISE†	*	*	*
1990	LBIRAN/UNA8271/5/GLORIA- BAR/4/SOTOL//2762/BC-B/3/11012.2/TERN-B//H272†	*	*	*
1991	CAMELOT†	*	*	*
1992	JUGLANS†	*	*	*
1993	JUGLANS	*		*
1994	LINAZA-BAR	*	*	*
1995	P.STO/3/LBIRAN/UNA80//LIGNEE640			*
1996	LBIRAN/UNA8271/5/GLORIA- BAR/4/SOTOL//2762/BC-B/3/11012.2/TERN- B//H272/6/SEN	*		*
1997	GLORIA-BAR/4/SOTOL//2762/BC-B/3/11012.2/TERN- B//H2	*		*
1998	CIRUELO	*		*
1999	BELLA UNION	*		*
2000	JORUPE			*
2001	ROBUST//GLORIA-BAR/COPAL/3/TOCTE/9/GLORIA- BAR/4/SO			*
2002	CLN-B/80.5138//GLORIA-BAR/COPAL/3/CERRAJA	*		*
2003	AMAPA/COTA//GLORIA- BAR/COPAL/3/BBSC/4/80.5185/SEN//CARDO	*		*
2004	P.STO/3/LBIRAN/UNA80//LIGNEE640/4/BLLU/5/PET UNIA 1	*		
2005	GLORIA-BAR/COPAL//SEN/3/PETUNIA 1/4/CIRU		*	

† Genotipos recomendados para los tres mega-ambientes

CONCLUSIONES

La variedad GLORIA-BAR, fue encontrada en combinación con otras líneas dentro de los genotipos recomendados para 10 años, dejando de manifiesto que su genoma incluye genes de estabilidad.

El rendimiento de grano de la cebada es afectado significativamente por el efecto del ambiente, genotipo, ambiente y, en menor grado, por la interacción genotipo por ambiente.

Para los años 1985 y 1986, el mejor genotipo con estabilidad y alto rendimiento tuvo una media de rendimiento menor a la media del experimento, por lo que se puede inferir que hubo algún problema ambiental, dado que se sacrificó rendimiento para ganar estabilidad a través de localidades.

La Figura 3.3, muestra que la diferencia en rendimiento entre la mejor variedad para el año 1979 y 2005 es de 1.8 t/ha, lo cual deja ver que el programa ha avanzado en términos de ganancia genética, beneficiando así a los agricultores pobres de países en vías de desarrollo, pues este germoplasma puede obtenerse, ya que es de libre acceso.

Dentro de los genotipos con mayor rendimiento se encuentra la variedad Duco, la cual además presenta poca incidencia de enfermedades.

LITERATURA CITADA

- Badr A., K. Muller, R. Schafer-Pregl, H. El Rabey, S. Effgen, H. Ibrahim, C. Pozzi, W. Rohde, F. Salamini. 2000. On the Origin and Domestication History of Barley (*Hordeum vulgare*). *Molecular Biology Evolution* 17:499–510.
- Barreto, H.J., G.O. Edmeades, S.C. Chapman, and J. Crossa. 1997. The alpha lattice design in plant breeding and agronomy: Generation and analysis. p. 544–551. In G.O. Edmeades et al. (ed.) *Developing drought and low N-tolerant maize. Proceedings of a Symposium, El Batán, Mexico. 25–29 March 1996.* CIMMYT, Mexico D.F.
- Edmeades et al. (ed.) *Proceedings of a symposium on developing drought -and low N-tolerant maize, El Batán, Mexico. 25–29 March 1996.* CIMMYT, Mexico City, Mexico.
- Briggs, D. S. 1978. *Barley.* Chapman & Hall, London
- Crossa, J. 1990. Statistical analysis of multilocation trials. *Adv. Agronomy.* 44:55-85

- Cornelius, P. L. and Crossa. 1999. Prediction assessment of shrinkage estimators of multiplicative models for multienvironments cultivar trials. *Crop Sci.* 99:998-1009
- Delacy, I.H., M. Cooper and K.E. Basford, 1996. Relation among analytical methods used to study genotype-by-environment interactions and evaluation of their impact on response to selection p. 51-84. In M.S. Kang and H.G. Gauch, Jr (Eds), *Genotype-By-environment interaction*. CRC press, inc., Boca Raton, USA.
- Gabriel, K. R. 1971. The biplot graphic display of matrices with application to principal components analysis. *Biometrika* 58(3):453-467.
- Harlan, J R. 1975. *Crops and Man*. American society of agronomy and crop society of America, Madison, Wisconsin.
- Miller, F., N. 1999. Agricultural Development in Western Central Asia in the Chalcolithic and Bronze Ages. *Vegetation History and Archaeobotany* 8: 13-19
- Morell, P. L. and M. T. Clegg. 2007. Genetic evidence for a second domestication of barley (*Hordeum vulgare*) east of the Fertile Crescent. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 104:3289-3294.
- Macgregor, A.W. and R. S. Bhatta. 1993. *Barley*. American Association of Cereal Chemists.
- Yan, W., L.A. Hunt, Q. Sheng and Z. Szlavnic. 2000. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. *Crop Sci.* 40:597-605
- Yan, W., M.S. Kang, B. Ma, S. Woods, and P.L. Cornelius. 2007. GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data. *Crop Sci.* 47:643–655
- Zobel, R. W., M. J. Wright and G. Gauch Jr. 1988. Statistical analysis of a yield trial. *Agronomy Journal* 80:388-393

DISCUSION GENERAL

A partir del análisis estadístico de 750 genotipos evaluados en 235 localidades diferentes en 75 países de todo el mundo y agrupando información de veintisiete años (1979-2005), se pudo comprobar la amplia adaptación del cultivo de la cebada (*Hordeum Vulgare L.*) para adaptarse a gran cantidad de ambientes (Harlan, 1976; Vivar, 2001), así pues este estudio consideró localidades desde el hemisferio sur como Lincoln, Nueva Zelanda (40°23'S) hasta el hemisferio norte como Helsinki, Finlandia (60°20'N); esta área comprende el 28% del globo terráqueo, el estudio también incluye localidades desde el Oeste en Oregón, Estados Unidos (121°48'O) y hasta el Este Lincoln, Nueva Zelanda (175°37'E) que comprende el 26% del área, por lo tanto en total las localidades consideradas en el análisis abarcan el 54% tanto de latitud y longitud de todo el mundo.

Este estudio permitió clasificar las 235 localidades involucradas en este análisis, dentro de tres mega-ambientes (ME) los cuales son bien diferenciados por temperatura y precipitación (Cuadro 1); características que algunos investigadores han remarcado como clave para una apropiada agrupación de sitios, donde la interacción genotipo por ambiente es grande (Lillemo, 2004 y 2005; Trethowan 2001 y 2003); así pues cada ME comprendió la conglomeración de 30, 10 y 60% para el ME1, ME2 y ME3, respectivamente.

Este estudio puntualizo que el 90% de las localidades involucradas están asociadas a los ME1 y ME3 con una temperatura promedio de 14 grados centígrados durante el ciclo de cultivo y ciclos de cultivo mas corto y largo, respectivamente, lo cual podría implicar que la cebada esté mas ampliamente adaptada a esa temperatura; la cual corresponde a un clima tipo mediterráneo (Abledo et al., 2003; Bedgood y Bedgood, 2003; Sidley, 1997). Los rendimientos mas altos son reportados por el ME2 con 4.7 t/ha y temperatura de 17.2 grados centígrados (Cuadro 1), cabe señalar que los países asociados mayormente a este grupo son los de Asia y África, lugares donde los índices de pobreza son mas elevados (<http://www.poverty.com/y>); esto pudiera implicar que estos países utilizan la cebada con fines alimenticios y los países de Europa y América están asociados con los ME1 y ME3 en proporción de 34, 26 y 42%, es bien sabido que

los países de Europa, y Norte América (incluyendo México) utilizan la cebada para la producción de cerveza principalmente (Wensehn, 2004), y por lo tanto lo que buscan no es rendimiento sino calidad maltera, la cual esta correlacionada negativamente con el rendimiento (Livinus et al., 2007), esto pudiera implicar que las bajas temperaturas estuvieran mas asociadas a una alta calidad y por lo contrario las altas a rendimiento.

Cuadro 1. Resumen de información general para cada mega-ambiente (ME), Localidad Clave o representativa de cada ME, País, Temperatura, Precipitación, Rendimiento, Ciclo de cultivo, Latitud y Longitud.

M E	Localidad Clave	País	Temperatura (°C)	Precipitación (mm)	Rendimiento (t/ha)	Ciclo (meses)	Latitud	Longitud
1	Leída	España	14	348	3.8	5	41°36'N	0°37'E
2	Boulifa	Túnez	17.2	211	4.7	6	36°38'N	8°50'E
3	Setif	Argelia	14.6	457	3.21	7	36°11'N	5°15'E

Las tres localidades que mejor representan a cada uno de los tres MEs están ubicadas entre 36 y 41 grados de latitud y 0 y 8 grados de longitud, esta área es bien estrecha y adicionalmente corresponde perfectamente al área donde ha sido demostrado científicamente tuvo lugar las dos domesticaciones de este cultivo, Siria (35°N y 44°E), Uzbekistán (38°N y 68°E) (Harlan, 1975; Bardr et al., 2000; Morell y Clegg, 2006).

La temperatura ha sido asociada a la incidencia de enfermedades y también utilizada para explicar la agrupación de localidades dentro de un mega-ambiente (Lillemo, 2005), este estudio sugiere la incidencia de enfermedades como una característica importante para la agrupación de localidades, pues coincidentemente el ME1 y ME3 son los mega-ambientes que reportan mas incidencia de enfermedades y como se ha mencionado antes tienen como característica una temperatura promedio de 14 grados Celsius, de estos dos grupos el que reporta una gama mas amplia de enfermedades es el ME1 con principal acentuación en las enfermedades Powdery Mildew (PM), (*Helmitosporium Sativum*) HLS, Net Blotch (NB) y Barley Leaf Rust (BLR), una de

las características principales del ME1 es que la precipitación se incrementa a medida que el cultivo se acerca a su madurez fenológica (Figura. 2) y esto pudiera explicar la aparición de enfermedades, cabe mencionar que PM es un factor común entre los ME1 y ME3, sin embargo este último es el que reporta los mas altos valores de esta enfermedad y los datos de precipitación pudieran estar asociados a esta infección, ya que las condiciones para la incidencia del hongo que produce PM son una alta humedad (Lillemo, 2004), por el contrario el ME2 no reporta gran incidencia de enfermedades.

Aunque uno de los objetivos centrales del programa de mejoramiento de cebada ICARDA-CIMMYT es proveer de germoplasma con gran estabilidad y alto rendimiento para países pobres del mundo, también beneficia a países desarrollados, cuyo objetivo primordial es la obtención de ganancias económicas usando este cultivo para producir cebada, el Cuadro 2 muestra que 21 países de Europa utilizan el germoplasma desarrollado por el programa y solo 17 de Asia Occidental y África del norte.

La variedad local utilizada como testigo por cada localidad, es tal que ha sido usada en la región por muchos años y por ende muestra un gran desempeño bajo sus condiciones locales, manifestando esto al mostrar un buen rendimiento, sin embargo, estas en su totalidad no son estables a través de años y localidades. Aunque el germoplasma desarrollado por el programa de cebada no ha tenido un incremento espectacular en el rendimiento, este ha sido consistente en el incremento de ganancia genética en una proporción de 1.8 t/ha, sostenida desde 1979 al 2005, además de que la principal ventaja de estas nuevas variedades es su gran estabilidad a muchos ambientes (Eberhart y Russell, 1966; Shukla, 1972), además de que presenta una fuente de resistencia a enfermedades (Vivar, 2000).

CONCLUSIONES GENERALES

Este estudio dejó de manifiesto la amplia adaptabilidad de la cebada a una gran cantidad de ambientes y al mismo tiempo permitió la identificación de tres grandes mega-ambientes, los cuales han sido diferenciados, por su temperatura, precipitación, ciclo de cultivo e incidencia de enfermedades.

El presente análisis también reafirma los resultados científicos sobre el origen y domesticación de la cebada, implicando que este cultivo tiene un mejor comportamiento bajo temperaturas de 14 grados Celsius y entre 36 y 41 grados de latitud, sugiriendo su introducción en latitudes del mismo rango en el hemisferio sur.

Las tres localidades clave servirán al programa ICARDA-CIMMYT para evaluar o en su defecto mover el programa de mejoramiento a una o a las tres localidades definidas por este estudio, con la certeza de que el germoplasma producido en ellas será adaptado a las localidades implicadas en este estudio y que representan mas del 50% del área cultivada con cebada, en estas latitudes y longitudes del mundo.

La manifestación de enfermedades está estrechamente ligada a la temperatura y precipitación para el cultivo de la cebada, esto permitirá a los mejoradores enfocar esfuerzos para obtener mejor germoplasma con características de resistencia a una enfermedad específica.

Los genotipos con alto rendimiento y amplia estabilidad identificados por el análisis de regresión de sitios (SREG) serán de gran utilidad para los países clasificados dentro de cada ME, pues esto permitirá una mayor concentración de recursos y mejor dirección del germoplasma, para atender los países en vías de desarrollo.

LITERATURA GENERAL CITADA

- Alam, A. K. M. M., Begum, M., Chaudhury, M. J. A., Naher, N. and Gomes, R. 2007. D2 Analysis in Early Maturity Hull-Less Barley (*Hordeum Vulgare* L.). Int. J. Sustain. Crop Prod. 2(1): 15-17.
- Braun, H.J., S. Rajaram, and M. van Ginkel. 1996. CIMMYT's approach to breeding for wide adaptation. Euphytica 92:175–183.
- Crossa, J., and P.L. Cornelius. 1997. Site regression and shifted multiplicative models clustering of cultivar trials sites under heterogeneity of error variances. Crop Sci. 37:406–415.
- Crossa, J., P.L. Cornelius, M. Seyedsadr, and P. Byrne. 1993. A shifted multiplicative model cluster analysis for grouping environments without genotypic rank change. Theor. Appl. Genet. 85:577–586.
- DeLacy, I.H., and M. Cooper. 1990. Pattern analysis for the analysis of regional variety trials. p. 301–334. In M.S. Kang (ed.) Genotype-by-environment interaction and plant breeding. Louisiana State Univ., Baton Rouge, LA.
- DeLacy, I.H., and P. Lawrence. 1988. Combining pattern analysis over years—Classification of locations. p. 175–176. In K.S. McWhirter, R.W. Downes, and B.J. (ed.) Proc. of the Ninth Australian Plant Breeding Conference. Agricultural Research Institute, Wagga Wagga, New South Wales, Australia.
- DeLacy, I.H., M. Cooper, K.E. Basford, and P.N. Fox. 1998. The SEQRET package. Computer programs for retrospective pattern. p. 39. In Plant improvement group research Report No 1. School of land and food, The University of Queensland, Brisbane, Australia.
- Harlan, J. R. 1976. Barley. In Simmonds, N. W. (ed.), Evolution of crop plants. Longman, London.
- Lilemo, M., M. van Ginkel, R. Trethowan, E. Hernandez, and S. Rajaram. 2004. Associations among international CIMMYT bread wheat yield testing locations in high rainfall areas and their implications for wheat breeding. Crop Sci. 44:1163-1169.
- Lillemo, M., M. van Ginkel, R. M. Trethowan, E. Hernandez, and J. Crossa. 2005. Differential adaptation of CIMMYT bread wheat to global high temperature environments. Crop Sci. 45:2443-2453.

- Pourkheirandish, M. and Takao Komatsuda. 2007. The Importance of Barley Genetics and Domestication in a Global Perspective AOBPreview published on August 30, 2007, DOI 10.1093/aob/mcm139
- Vivar, H. E. and A. McNab (eds.) 2001. Breeding barley in the new millennium: Proceedings of an international symposium. Mexico, D. F.: CIMMYT.
- Trethowan, R.M., J. Crossa, M. van Ginkel, and S. Rajaram. 2001. Relationships among bread wheat international yield testing locations in dry areas. *Crop Sci.* 41:1461–1469
- Trethowan, R.M., M. van Ginkel, K. Ammar, J. Crossa, B. Cukadar, S. Rajaram and E. Hernandez, 2003. Associations among twenty years of international bread wheat yield evaluation environments high yielding international bread wheat yield evaluation environments. *Crop Sci.* 43:1698-1711.
- Yan, W., M.S. Kang, B. Ma, S. Woods, and P.L. Cornelius. 2007. GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data. *Crop Sci.* 47:643–655.
- Zohary D and M. Hopf. 2000. Domestication of plants in the old world: the origin and spread of cultivated plants in West Asia, Europe, and the Nile Valley, 3rd edn. New York, NY: Oxford University Press.

APENDICE

Cuadro 1A. Lista de localidades usadas en el análisis MMM para los 27 años, latitud, longitud, altitud y el grupo correspondiente

Región	Sitio	País	Latitud	Longitud
América del Norte	MacKenziebrook (Beaver Lodge)	Canadá	55°12'N	119°24'W
	Brandon Res. Stn.	Canadá	49°49'N	99°57'W
	Saskatchewan (Crop Dev. Center)	Canadá	52°9'N	106°36'W
	Lacombe	Canadá	51°47'N	113°40'W
	Alberta (Olds)	Canadá	51°47'N	114°5'W
	Prince Edward Island (AAFC)	Canadá	46°20'N	63°0'W
	Jalisco (Altos De Jalisco)	México	20°15'N	102°30'W
	Chihuahua (Cd. Delicias)	México	28°11'N	105°30'W
	Baja California Sur (CESTOD)	México	24°57'N	111°42'W
	Chapingo (CEVAMEX)	México	19°17'N	98°53'W
	Sonora (CIANO)	México	27°21'N	109°56'W
	Guanajuato (El Bajío)	México	20°32'N	100°49'W
	El Refugio	México	21°0'N	100°24'W
	Baja California Norte (Mexicali)	México	31°40'N	114°45'W
	Monterrey	México	25°5'N	100°36'W
	Toluca (Sn Fco. Atizapan)	México	19°16'N	99°51'W
	Coahuila (UAAAN, Cereales)	México	27°4'N	100°56'W
	California (Davis)	USA	38°32'N	121°46'W
	California (Fresno)	USA	36°43'N	119°48'W
	Oregon (Madras)	USA	45°15'N	121°48'W
América Central	E.E. De Altura-Sanatorio Duran	Costa Rica	9°56'N	83°52'W
	Alajuela (Subestacion Fraijanes)	Costa Rica	10°15'N	84°15'W
	Quetzaltenango (Labor Ovalle)	Guatemala	14°52'N	91°30'W
	Uca Mirafior	Nicaragua	13°37'N	86°48'W
	Cusco (Andenes, Anexo-Taray)	Perú	13°24'S	71°52'W
	Huánuco (Cayhuayna)	Perú	9°58'S	76°15'W

Continuación...

Región	Sitio	País	Latitud	Longitud
	Cusco (Est. Exp. Andenes)	Perú	13°27'S	72°16'W
	Aragua (Est. Exp. Cagua-Fusagri)	Venezuela	10°11'N	67°30'W
América del Sur	Buenos Aires (José Buck)	Argentina	38°20'S	59°40'W
	Córdoba (Marcos Juárez)	Argentina	32°42'S	62°7'W
	Buenos Aires (Bordenave)	Argentina	37°51'S	63°1'W
	Cochabamba (San Benito)	Bolivia	17°30'S	66°6'W
	Cochabamba (C.D.I.F.-La Violeta)	Bolivia	17°20'S	66°33'W
	Cochabamba (Tarata)	Bolivia	17°36'S	66°2'W
	Brasilia DF (CPAC-Embrapa)	Brasil	15°45'S	47°47'W
	Vila Velha (Polo-Ponta Grossa)	Brasil	25°6'S	50°10'W
	Capao Bonito Stn.	Brasil	24°2'S	48°22'W
	Temuco, Cautin (Carrillanca)	Chile	38°41'S	72°25'W
	La Platina (Santiago)	Chile	33°27'S	70°38'W
	Quito Pichancha (Sta. Catalina)	Ecuador	0°22'S	78°32'W
	Quito Pichancha (El Pugro)	Ecuador	0°22'S	78°33'W
	Caacupe (Inst. Agr. Nacional)	Paraguay	25°35'S	57°32'W
Europa	Probstdorfer Saatzucht	Austria	48°12'N	16°32'E
	Sokolac Centre	Bosnia	43°56'N	18°48'E
	Dobroudja (IWS)	Bulgaria	43°40'N	28°10'E
	Helsinki (Hankkija P.B.I)	Finlandia	60°20'N	25°2'E
	Lusignan (Stn. D' A. D. Plantes)	Francia	43°35'N	3°54'E
	D'amelioration Des Plantes	Francia	48°4'N	1°44'W
	Balagne (Le Clos Landry)	Francia	46°22'N	1°8'E
	Sevestreville	Francia	48°0'N	2°0'E
	Saatzucht Stn. Langenstein	Alemania	51°42'N	11°0'E
	Institut Gulzow Gustrow	Alemania	53°48'N	12°12'E
	Heidfeldhof	Alemania	48°43'N	9°13'E
	Thessaloniki (Kentziko Thermi)	Grecia	40°38'N	22°57'E

Continuación...

Región	Sitio	País	Latitud	Longitud
	Platy Experimental Stn.	Grecia	40°39'N	22°31'E
	Giannitsa (Agric. Res. Inst.)	Grecia	40°14'N	23°20'E
	Northern (Cereal Station)	Irlanda	51°56'N	8°12'W
	Macerata (Enea E. Cermis)	Italia	43°15'N	13°30'E
	Rome (Ist. S. Per La Cerealicultura)	Italia	41°27'N	15°34'E
	Tolentino (Cermis - "N. Strampelli")	Italia	43°15'N	13°30'E
	Lazio (Tarquinia)	Italia	42°13'N	11°46'E
	Kedainiai (Lithuanian Inst. Of Agric.)	Lituania	55°23'N	23°42'E
	Skopje (IPG)	Macedonia	42°0'N	21°28'E
	Volle Bekk (AAS)	Noruega	59°40'N	10°47'E
	Nagradowice Breeding Stn.	Polonia	52°20'N	17°10'E
	Bakow Plant Breeding Stn.	Polonia	50°58'N	18°19'E
	Alentejo (PBS)	Portugal	38°54'N	7°9'W
	Turda (A.R.S.)	Rumania	46°35'N	23°47'E
	Rinski Sancevi	Serbia	45°15'N	19°51'E
		Montenegro		
	Piestany (Res. Inst Of Plant Prod.)	Eslovaquia	48°37'N	17°50'E
	Madrid (El Encin)	España	40°32'N	3°19'W
	Zamaduenas (S.I.A. Castilla Y León)	España	41°42'N	4°43'W
	Huesca (Montanana)	España	41°43'N	0°50'W
	Badajoz (La Orden)	España	38°49'N	6°39'W
	Bergus (Cardona)	España	41°55'N	1°40'E
	Leída (Finca La Carrerada)	España	41°35'N	0°45'W
	Leída (La Carrerada)	España	41°36'N	0°37'E
	Gimenells	España	41°35'N	0°32'E
	Alameda del Obisso (CIDA)	España	37°21'N	3°35'W
	Granada (Guadix)	España	37°23'N	3°5'W
	El Llano	España	40°10'N	1°10'W
	Finca Juan Acedo	España	38°17'N	5°43'W

Continuación...

Región	Sitio	País	Latitud	Longitud
	Toledo (La Mojonera)	España	39°58'N	4°45'W
	Ochichar (S.A.T.)	España	37°10'N	3°50'W
	Lowveld	Swaziland	26°50'S	31°57'E
	Donetsk (Ucraniana Expt. Stn.)	Ucrania	49°22'N	33°10'E
	Odessa	Ucrania	46°27'N	30°42'E
	Kharkov	Ucrania	50°0'N	36°25'E
	Lancashire (Miln Marsters Ltd.)	Inglaterra	52°53'N	0°40'E
Asia Occidental	Shesham Bagh	Afganistán	34°25'N	70°27'E
África del Norte	Kabul (Darul Aman)	Afganistán	34°33'N	69°12'E
	Kunduz (Res. Station)	Afganistán	36°50'N	68°55'E
	Baghlan (R.S.)	Afganistán	36°6'N	68°39'E
	Balkh (A.R.S.)	Afganistán	36°45'N	66°54'E
	Dashti-Qala	Afganistán	36°44'N	69°33'E
	Takhar-Taloqan	Afganistán	48°30'N	35°44'E
	Urdokhan	Afganistán	34°18'N	62°16'E
	Fao-Dand	Afganistán	31°32'N	65°30'E
	Kabul (Khost)	Afganistán	33°20'N	69°55'E
	Mazar-I-Sharif (Dehdadi Farm)	Afganistán	36°38'N	66°56'E
	Mullah Ghulan (A.R.S)	Afganistán	34°49'N	67°49'E
	Darulaman Research Station	Afganistán	34°45'N	69°11'E
	Setif (ITGC)	Argelia	36°11'N	5°15'E
	El Khroub (ITGC)	Argelia	36°7'N	6°37'E
	Wilaya (Sidi Bel-Abbes)	Argelia	35°17'N	0°35'W
	Zakaria (ITGC)	Argelia	34°36'N	1°0'E
	Rahouia (Ferme Pilote)	Argelia	35°30'N	1°3'E
	Wassande	Camerún	7°5'N	14°3'E
	Laxia (A.R.I.)	Chipre	35°4'N	33°20'E
	Athalassa (A.R.I.)	Chipre	35°8'N	33°24'E
	Dromolaxia (A.R.I.)	Chipre	34°52'N	33°36'E
	Sakha	Egipto	31°7'N	30°57'E
	Sids	Egipto	29°4'N	31°6'E

Continuación...

Región	Sitio	País	Latitud	Longitud
	Ismailia	Egipto	30°36'N	32°14'E
	Gemmeiza (A.R.S.)	Egipto	31°7'N	30°47'E
	Cairo (Al Kasr)	Egipto	31°21'N	27°20'E
	Ahwaz	Irán	31°17'N	48°40'E
	Manzadaran (Araghee Mohaleh)	Irán	36°51'N	54°25'E
	SPII Cereal Res. Stn.	Irán	35°50'N	50°58'E
	Fars	Irán	28°45'N	54°33'E
	Kelardasht Cereal Res. Zahak Stn.	Irán	36°0'N	50°0'E
	Zargan	Irán	30°31'N	60°41'E
	Moghan	Irán	29°46'N	52°43'E
	Mazraeh Nemoneh	Irán	39°2'N	47°5'E
	Abu'ghraib	Irán	36°30'N	53°30'E
	Al-Tuwaitha	Iraq	33°20'N	44°24'E
	Deir Alla	Iraq	34°0'N	45°0'E
	Amman (Jubeiha)	Jordania	32°12'N	35°36'E
	Ramtha	Jordania	30°1'N	35°52'E
	Tel Amara	Jordania	32°34'N	36°1'E
	Tajoura	Líbano	33°55'N	35°28'E
	Sebha	Libia	32°53'N	13°24'E
	Kufra Production Project	Libia	27°50'N	14°40'E
	Zahera	Libia	25°0'N	23°0'E
	Misurata	Libia	32°40'N	12°50'E
	Azizia	Libia	32°23'N	15°0'E
	Kadawa	Libia	32°32'N	13°1'E
	Jos (UTC Farm)	Nigeria	12°0'N	8°36'E
	Almohaisin (Agric. Res. Center)	Nigeria	9°55'N	8°53'E
	Rawdat Harma	Omán	23°41'N	58°0'E
	Al Kharj	Qatar	25°48'N	51°18'E
	Onaizah (Min. of Agri. & water)	Arabia Saudita	24°15'N	47°10'E
		Arabia Saudita	26°55'N	44°59'E

Continuación...

Región	Sitio	País	Latitud	Longitud
	Dirab (Min. of Agri. & water)	Arabia Saudita	24°20'N	46°37'E
	Izraa (A.R.S)	Siria	32°51'N	36°15'E
	Tel Hadya	Siria	36°1'N	36°56'E
	Jellin (ACSAD)	Siria	32°45'N	35°59'E
	Beja	Túnez	36°44'N	9°8'E
	Hindi Zitoun	Túnez	35°50'N	0°0'E
	Boulifa (KEF-INRA)	Túnez	36°38'N	8°50'E
	Cukurova (Agric.Res.Inst.)	Turquía	36°50'N	35°20'E
	Sakarya (Maize Res. Inst.)	Turquía	40°47'N	30°25'E
	Southeastern Anatolian (A.R.I.)	Turquía	37°55'N	40°12'E
	Aegean (A.R.I.)	Turquía	38°40'N	27°4'E
	Univ. of Cukurova	Turquía	37°19'N	35°15'E
	Ziraat Fakultesi	Turquía	38°27'N	27°14'E
	KONYA-ICCUMRA)	Turquía	37°51'N	32°30'E
África del Sur y Oeste	Estacao (Exp. Agricola De Chianga)	Angola	12°44'S	15°50'E
	Addis Ababa (Holetta)	Etiopia	9°3'N	38°30'E
	Ambo	Etiopia	8°57'N	38°7'E
	Njoro (NPBRC)	Kenia	0°25'S	36°0'E
	Breweries (Exp. Farm)	Kenia	0°40'S	35°56'E
	Tsangano (Hill Station)	Malawi	15°11'S	34°37'E
	Bembeke	Malawi	14°10'S	34°26'E
	Rwerere (ISAR)	Ruanda	1°32'S	29°53'E
	Bethlehem (Small Grain Institute)	Sud África	28°11'S	28°11'E
	Welgevallen	Sud África	33°52'S	18°42'E
	Cape (Tygerhoek)	Sud África	34°9'S	19°54'E
	Sensako	Sud África	28°18'S	28°10'E
	Napier (SENSAKO)	Sud África	34°28'S	19°54'E
	Morogoro (Uyole Agric. Center)	Tanzania	8°55'S	33°22'E

Continuación...

Región	Sitio	País	Latitud	Longitud
	Tanz.Can. Wheat Proj. (W. Kilimanjaro)	Tanzania	2°55'S	37°41'E
	Taro-Selian (Basotu Site-SARI)	Tanzania	4°30'S	35°10'E
	Lusaka (Golden Valley)	Zambia	15°0'S	28°30'E
	GWEBI (Crop Breeding Inst.)	Zimbabwe	17°41'S	30°25'E
	Harare Research	Zimbabwe	17°48'S	31°4'E
	Harare (Univ. Of Zimbabwe)	Zimbabwe	17°48'S	31°3'E
Asia del Sur	Gazipur (Bari Joydebpur)	Bangladesh	23°46'N	90°23'E
	Ishurdi (Reg. A.R.S.)	Bangladesh	24°25'N	89°0'E
	Rajshahi (A.R.S.)	Bangladesh	24°22'N	89°33'E
	IARI (Genetics Division)	India	28°35'N	77°12'E
	Ludhiana (PAU)	India	30°56'N	75°52'E
	Durgapura	India	26°58'N	75°48'E
	Pantnagar	India	29°0'N	79°30'E
	Malda	India	25°2'N	88°6'E
	Karnal (DWR)	India	29°40'N	77°2'E
	Ghajipur (Bari Bagh)	India	26°47'N	82°12'E
	Kanpur (Azad Univ. of Agric. Tech.)	India	26°28'N	80°24'E
	Res.&Dev.Wing, Ugar Sugar Works	India	15°44'N	75°11'E
	Hissar	India	29°10'N	75°46'E
	Heho Research Farm	Myanmar	20°45'N	96°50'E
	Pankon (A.R.I. Farm)	Myanmar	23°2'N	95°28'E
	Bhairahwa (NWRP)	Nepal	27°30'N	83°27'E
	Khumaltar (A.R.I.)	Nepal	27°50'N	85°20'E
	Kabre (Agriculture Farm)	Nepal	27°6'N	86°7'E
	NIFA Farm	Pakistan	34°3'N	71°32'E
	Bahawalpur	Pakistan	29°24'N	71°40'E
	Lyallpur (UAF)	Pakistan	31°25'N	73°6'E
	Tandojam	Pakistan	25°23'N	68°24'E
	Sariab	Pakistan	30°12'N	67°1'E
	Islamabad (NARC)	Pakistan	33°45'N	73°6'E

Continuación...

Región	Sitio	País	Latitud	Longitud
	Pirsabak	Pakistan	33°59'N	71°59'E
	Faisalabad (Wheat Res. Inst.)	Pakistan	31°25'N	73°7'E
	Rawalpindi (WRS)	Pakistan	33°38'N	73°5'E
	Tandojam (Hyderabad, AEARC)	Pakistan	25°23'N	68°23'E
	Sakrand	Pakistan	26°3'N	68°3'E
	Wheat Res. Inst.	Pakistan	31°30'N	73°10'E
	Exp. Area Dep. of Plant Breeding	Pakistan	31°22'N	72°59'E
	Barani	Pakistan	32°56'N	72°51'E
Asia del Este	Yunnan (Acad. of Agric. Sci.)	China	25°7'N	102°43'E
	Zhejiang (Acad. of Agric. Sci.)	China	30°12'N	120°19'E
	Jiangsu (Agric. College)	China	32°25'N	119°25'E
	Crop Sci. Inst.	China	30°40'N	104°1'E
	Heihe (A.R.I.)	China	50°15'N	127°27'E
	The Coastal-Ar (Agric. Sci. Res. Inst.)	China	33°23'N	120°9'E
	Beijing (CAAS Stn.)	China	39°48'N	116°27'E
	Xining	China	36°45'N	101°38'E
	Handan Agriculture	China	36°36'N	114°30'E
	Jilin Agric.Univ.	China	43°54'N	125°13'E
	Northeast Agric. Univ.	China	45°41'N	126°37'E
	Inst. Of Hongxinglong	China	46°43'N	131°33'E
	Dujiang-yan (Triticeae Res. Inst.)	China	31°3'N	103°50'E
	Huang Yang Stn.	China	37°37'N	105°5'E
	Kitami (A.E.S.)	Japón	43°47'N	143°42'E
	Tohoku National Agr. Exp. Stn.	Japón	39°45'N	140°8'E
	Tohoku A.E.S.	Japón	39°40'N	141°20'E
	Unsan	Corea del Norte	39°23'N	126°0'E
	Gyeongnam	Corea del Sur	35°29'N	128°45'E

Continuación...

Región	Sitio	País	Latitud	Longitud
	Suwon (Nat. Crop Exp. Stn.)	Corea del Sur	37°16'N	126°59'E
	Agric. Improvement Stn.	Taiwán	24°9'N	120°32'E
	Pungda Highland Agric. Stn.	Tailandia	18°17'N	98°36'E
	Lampang (A. Res. & Training Ctr.)	Tailandia	18°21'N	99°36'E
Asia Central	Kazakh Grain	Kazakstán	51°10'N	71°30'E
	Plant Immunology Lab.	Kazakstán	43°30'N	75°0'E
Oceanía	Lincoln	Nueva Zelanda	40°23'S	175°37'E