

Informe final* del Proyecto DE014

Evaluación de la resistencia a sequía en razas criollas mexicanas de trigo y determinación de relaciones entre la respuesta de sequía y el lugar de colecta mediante las herramientas de GIS

Responsable: Dr. Matthew Reynolds
Institución: Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo
Dirección: Km 45 Carretera México-Veracruz, El Batán, Texcoco, Mex, 56130 , México
Correo electrónico: MREYNOLDS@CGIAR.ORG
Teléfono/Fax: 01 (52)555-804-2004
Fecha de inicio: Noviembre 30, 2005
Fecha de término: Agosto 27, 2008
Principales resultados: Cartografía, Informe final
Forma de citar el informe final y otros resultados:** Reynolds, M. P., Hodson, D., Trethowan, R., Payne, T., Hernández, V. M., Pinto, R. S., Peñuelas, O., Santillán, A., Félix, R., Van Ginkel, M. 2009. Evaluación de la resistencia a sequía en razas criollas mexicanas de trigo (*Triticum aestivum*) y determinación de relaciones entre la respuesta de sequía y el lugar de colecta mediante las herramientas de GIS. CIMMYT. **Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. DE014.** México D. F.

Resumen:

La producción de cultivos bajo estrés hídrico se ha convertido hoy en día del interés de muchos investigadores alrededor del mundo. La colección de 10,000 trigos criollos que actualmente está el banco de germoplasma de CIMMYT, Int ha permitido múltiples evaluaciones, una de ellas, la evaluación bajo sequía, la cual ha permitido identificar dentro de la gran diversidad de genotipos la detección de 400 trigos criollos, los cuales parecen ser buenos candidatos para resistir sequías severas bajo condiciones de campo, lo cual permitiría a muchos agricultores de México obtener buenos rendimientos con extrema sequía. Sin embargo, la evaluación bajo estrés hídrico más en detalle es el próximo paso, para lo cual se plantea sembrar en ensayos de dos repeticiones en un diseño alfa lattice, bajo condiciones extremas de sequía, además de evaluaciones fisiológicas para la caracterización, así como uso de software capaces de poder representar todas las variables meteorológicas en mapas cartográficos, con la finalidad de identificar posibles zonas de introducción del cultivo de trigo con éxito, utilizando paquetes como ArGIS, FloraMap, GARP o Bioclim.

-
- * El presente documento no necesariamente contiene los principales resultados del proyecto correspondiente o la descripción de los mismos. Los proyectos apoyados por la CONABIO así como información adicional sobre ellos, pueden consultarse en www.conabio.gob.mx
 - ** El usuario tiene la obligación, de conformidad con el artículo 57 de la LFDA, de citar a los autores de obras individuales, así como a los compiladores. De manera que deberán citarse todos los responsables de los proyectos, que proveyeron datos, así como a la CONABIO como depositaria, compiladora y proveedora de la información. En su caso, el usuario deberá obtener del proveedor la información complementaria sobre la autoría específica de los datos.



REPORTE FINAL

Del proyecto titulado

“Evaluación de la resistencia a sequía en razas criollas mexicanas de trigo (*Triticum aestivum*) y determinación de relaciones entre la respuesta de sequía y el lugar de colecta mediante las herramientas de GIS.”

Reynolds M.P., Hodson D., Trethowan R., Payne T., Hernández, V.M,
Pinto, R.S. Peñuelas, O., Santillán A., Félix R., van Ginkel M.

Un Proyecto del

*Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo
(CIMMYT, Int.)*

Para

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO)

Índice general

	Pág.
I. Introducción	6
II. Metodología	
2.1 Caracterización fisiológica y agronómica de genotipos resistentes a la sequía	8
2.1.1 Descripción de los ensayos	10
2.1.2 Análisis estadístico	11
2.2 Aplicación de SIG en el estudio de la relación entre genotipos resistentes a la sequía y su ubicación geográfica	11
2.2.1 Datos del sitio	12
2.2.2 Herramientas de cómputo	12
2.2.3 Índice de sequía	13
III. Resultados y Discusión	
3.1 Aspectos fisiológicos y agronómicos de la Investigación	14
3.1.1 Rendimiento de grano derivado de los análisis estadísticos realizados	14
3.1.2 Identificación de genotipos resistentes a sequía de acuerdo al 50% de experimentos de campo	17
3.1.3 Bases de datos con la caracterización fisiológica de las 30 líneas Landraces procedentes de la primera selección	18
3.2 Material obtenido mediante el uso de sistemas de información geográfica	20
3.2.1 Zonas productoras de trigo existentes	20
3.2.2 Zonas de similitud de sitios de sequía	21
3.2.3 Zonas de sequía	23
3.2.4 Zonas de idoneidad para el trigo	25
3.2.5 Zonas potenciales para materiales tolerantes a la sequía	26
Apéndice 1. Rendimiento de grano de los ensayos Sel estrés, Sequía I, II y Calor	43
Apéndice 2. Selección de genotipos con resistencia al estrés por sequía y por calor	48
Apéndice 3. Resultados de las evaluaciones de calidad de grano y harina en genotipos del ensayo Sequía I_0506	54
Apéndice 4: Documentación de archivos	57
Apéndice 5: Relación de cartografía impresa	61
IV. Conclusiones	62
V. Limitantes de investigaciones en el futuro	63
Referencias	64

Índice de tablas

	Pág.
Tabla 1. Temperaturas máximas y mínimas promedio mensuales (Tmax/Tmin) registradas durante los cuatro ciclos de experimentos en el Valle del Yaqui	8
Tabla 2. Fechas de siembra y duración de los ciclos de experimentos	11
Tabla 3. Valores del índice de precipitación estandarizado	13
Tabla 4. Cuadro comparativo con ciclo de desarrollo del ensayo, nombre, número de genotipos que los conformó, ambiente principal bajo el cual se sembró, rendimiento promedio y cantidad total de agua disponible para el cultivo	16
Tabla 5. Rendimiento de grano obtenido en los diferentes ensayos de landraces establecidos bajo sequía y calor	16
Tabla 6. Resultados de cantidad de biomasa generada y temperatura del dosel en etapa vegetativa y de llenado de grano en los experimentos Sequía I, II y Calor	19
Tabla 7. Los principales tipos de suelo con los sitios tolerantes a la sequía	22

Índice de figuras

	Pág.
Figura 1. Tendencias de las temperaturas máximas registradas en cada ensayo a partir de la fecha de siembra	9
Figura 2. Tendencias de las temperaturas mínimas registradas en cada ensayo a partir de la fecha de siembra	10
Figura 3. Producción de trigo municipal (toneladas), 1991 y 2006	28
Figura 4. Producción de trigo municipal (toneladas), ciclos de invierno y verano, 1991	29
Figura 5. Cambios en la producción de trigo municipal (toneladas), 1991-2006	30
Figura 6. Zona de similitud climática según Homologue de sitios de trigo tolerantes a la sequía	31
Figura 7. Similitud climática y zona de similitud de suelos según Homologue	

para sitios de trigo tolerantes a la sequía	32
Figura 8. Disponibilidad de agua en el ciclo de verano (índice de precipitación a evapotranspiración) y aumentos de rendimiento en condiciones de sequía controlada	33
Figura 9. Porcentaje de años de sequía basado en SPI abril–mayo (ciclo de invierno)	34
Figura 10. Porcentaje de años de sequía basado en SPI agosto-octubre (ciclo de verano)	35
Figura 11. Aumento de rendimiento en condiciones de sequía controlada y porcentaje de años de sequía basados en SPI abril-mayo (ciclo de invierno)	36
Figura 12. Aumento del rendimiento en condiciones de sequía controlada y porcentaje de años de sequía basado SPI agosto-octubre (ciclo de verano)	37
Figura 13. Zonas de idoneidad de la FAO para trigo de secano y con riego (alto rendimiento)	38
Figura 14. Idoneidad para trigo de secano basada en los parámetros de ECOCROP	39
Figura 15. Mega-ambientes de trigo del CIMMYT – idoneidad climática para trigo de ciclo de invierno (ME1) y de ciclo de verano (ME2a)	40
Figura 16. Zonas con probabilidad de sequía y pobreza rural para trigo de ciclo de verano	41
Figura 17. Zonas con probabilidad de sequía y pobreza rural para trigo de ciclo de invierno	42

Resumen

Desde su introducción a la fecha, el cultivo de trigo en México ha sufrido grandes modificaciones especialmente en lo que refiere a las variedades más utilizadas por los productores agrícolas. Los landraces representan una valiosa fuente de germoplasma que se encuentra desaprovechada aún en nuestro país, por lo que en el 2003, fecha en que inició el presente proyecto se realizaron colectas masivas de trigos criollos en diversas regiones de México. El principal objetivo fue cuantificar el valor de estos materiales y caracterizarlos junto con sus regiones de origen para obtener así información que permitiera seleccionar genotipos de alto valor genético por su tolerancia al estrés hídrico y la posterior identificación de otros landraces en diferentes zonas del país. Los materiales criollos han sobrevivido ante un sin número de adversidades ambientales, por lo que su adaptación se ha dado de manera natural. Al utilizar estos materiales es posible incrementar la diversidad genética de las variedades mayormente empleadas actualmente en el país, por lo que uno de los productos del presente estudio fue la generación de tres poblaciones de landraces “Elite” con resistencia a la sequía y algunos de ellos también con desempeño notablemente bueno bajo estrés por calor. La caracterización de los genotipos seleccionados se realizó de acuerdo con los protocolos establecidos en el programa de Fisiología de Trigo del CIMMYT incluyendo además de rendimiento de grano, otras variables agronómicas y fisiológicas como el índice normalizado vegetativo, la cantidad de biomasa producida y la temperatura de dosel de la planta. Mientras que la caracterización de las regiones de colecta de los trigos criollos se realizó mediante herramientas de software de sistemas de información geográfica utilizando Environmental Research Systems Inc. (ESRI) ArcGIS v9.2., Floramap y Homologue. Se generaron mapas cartográficos con información climática, edáfica y demográfica de los sitios donde originalmente se colectaron los trigos criollos, las localidades con potencial para cultivar el cereal en condiciones óptimas de acuerdo con la FAO y ECOCROP y modelos predictivos de zonas del país donde probablemente se podrían encontrar más genotipos resistentes a la sequía. En lo referente a caracterización de los landraces se evaluó germinación, amacollamiento, días a floración, días a madurez, biomasa en la cosecha, espiguillas por espiga, granos por espiga, espigas por metro cuadrado, peso de mil granos, rendimiento del grano, depresión de la temperatura del follaje y reflejo espectral e índice normalizado vegetativo. Los resultados mostraron

rendimientos superiores en los landraces sembrados bajo sequía con respecto a los testigos empleados. Además los trigos criollos parecieran estar mejor adaptados a condiciones de estrés al mostrar reducciones menores en su rendimiento respecto a riego y características fisiológicas y fenológicas aceptables. Se analizó la cantidad de biomasa generada como mejor indicador del potencial de adaptación de una planta al estrés, encontrándose líneas criollas con mejores resultados que las líneas adaptadas. Igualmente se identificó un gran número de landraces con características de temperatura del dosel, rendimiento y biomasa mejores o iguales a las líneas testigo conocidas por su resistencia al estrés hídrico y calórico. Los resultados de ésta investigación no hacen sino alentar a mantener la continua búsqueda de valoraciones profundas de los recursos desaprovechados del país, que permitan utilizar de manera más óptima el gran potencial de nuestros trigos nativos. Actualmente, en el CIMMYT se realizan cruzas con los genotipos prometedores identificados en este proyecto y a futuro se pretende realizar estudios de huella genética que permitirán conocer el linaje de estos materiales criollos ampliando los conocimientos generados hasta la fecha.

I. Introducción

Durante el siglo XVI fue introducido el trigo a México y desde entonces, su cultivo ha sufrido una serie de modificaciones tanto en las técnicas de cultivo como en las variedades empleadas (Skovmand, 1997). El noroeste de México siembra la mayor proporción de este cereal, pero en las regiones centrales del país también se cultiva aunque en menor escala (SAGARPA, 2008). Un gran número de hectáreas son sembradas anualmente en nuestro país con fines comerciales y las variedades empleadas por los agricultores en diversas regiones del país se han ido cambiando en un afán por aprovechar las bondades ofrecidas por cada nueva variedad generada en los programas mejoramiento, así como de contrarrestar los efectos negativos ambientales, como plagas, enfermedades y sequía (INIFAP, 2001). Se creía que los trigos originalmente introducidos a México habían desaparecido, sin embargo algunas de estas variedades fueron recientemente encontradas en recorridos y colectas realizadas por INIFAP y CIMMYT. El hecho de que en la actualidad aún existan estas variedades indica que invariablemente, estos trigos pasaron por un riguroso proceso de selección natural, a través de cientos de años de adaptación han sobrevivido sólo aquellos que lograron sobreponerse y adaptarse a diversas limitantes tanto bióticas como abióticas. Surge entonces gran interés por conocer más a fondo las características de este germoplasma criollo, dentro del cual existen potenciales fuentes de genes deseables porque permiten la sobrevivencia en condiciones de estrés hídrico, calórico o plagas (Skovmand, 1997). Diversas investigaciones han resaltado la importancia de identificar hacia cuales genotipos debe enfocarse el esfuerzo por conservar y mantener las variedades criollas y cuales resultan materiales útiles para el fitomejoramiento (Bellon *et al.*, 2003).

La presente investigación se basa en un proyecto conjunto desarrollado en 1994, titulado ‘Colección, Preservación y Caracterización de Cultivares Criollos de Origen Español de Trigo y Centeno en México’ (Ref. Convenio FB094/E101/94), estudio elaborado por CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad) y el CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo). Como resultado del Proyecto en 1994 se recolectaron más de 10,000 muestras de semilla en cerca de 3,000 campos de agricultores en 12 estados de la República Mexicana: Chihuahua, Coahuila,

Durango, Estado de México, Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, Michoacán, Oaxaca, Puebla, Querétaro y Tlaxcala. No se encontraron razas criollas de trigo en San Luís Potosí y Zacatecas, y no se hicieron colecciones en Chiapas (Skovmand, 1997).

El proyecto actual tiene dos componentes principales. En primer término, la evaluación en campo de un subconjunto de razas criollas mexicanas en ensayos de estrés por sequía controlada en el área experimental del CIMMYT en la estación del CIANO, cerca de Cd. Obregón, Sonora buscando caracterizar estos materiales y resaltar el valioso potencial que los genotipos criollos poseen. El segundo componente importante del proyecto se centró en el uso de herramientas y tecnologías de SIG para integrar el comportamiento de las razas criollas en condiciones de estrés por sequía con variables ambientales y climáticas en los sitios de recolección. Se procedió de esta manera con objeto de pronosticar en cuáles regiones de México hay o no razas criollas de desempeño excepcional en condiciones de sequía controlada. Con esta información será posible ubicar aquellas regiones en México donde una recolección adicional podría mostrar una elevada frecuencia de materiales tolerantes a la sequía, o promover materiales con tolerancia mejorada que podrían ser de utilidad. En este informe se presentan los resultados y avances que se han obtenido de la misma forma agrupándolos en 1) aspectos fisiológicos y agronómicos de esta investigación y 2) el material obtenido mediante el uso de sistemas de información geográfica.

II. Metodología

2.1 Caracterización fisiológica y agronómica de genotipos resistentes a la sequía

Se usaron como testigos a sokoll y tacupeto. Sokoll es un genotipo que se caracteriza por su buen rendimiento y desarrollo de biomasa bajo sequía y fue utilizado en los ensayos Sequía I_0607, Sequía II y Calor. Mientras que tacupeto es un genotipo rendidor, con alta biomasa en condiciones de riego y fue utilizado en Sequía I_0506.

El total de agua disponible para cada cultivo se muestra más adelante en el apartado de resultados (tabla 2) misma que incluye el agua procedente de las precipitaciones. Los datos climáticos correspondientes a temperatura ambiental registrados en el Valle del Yaqui durante los ciclos que cubrió este proyecto se presentan en la tabla 1, donde se indican temperaturas máximas promedio arriba de los 40 °C y mínimas de hasta 6.5 °C.

Tabla 1. Temperaturas máximas y mínimas promedio mensuales (Tmax/Tmin) registradas durante los cuatro ciclos de experimentos en el Valle del Yaqui.

Ciclo	Temperaturas (°C)							
	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
03-04	30.9/12.2	27.4/6.6	24.6/8.74	25.6/7.16	31.8/10.7	31.1/12.8	36.6/16.1	38.7/21.0
04-05	28.1/11.2	26.2/8.66	25.7/10.4	25.4/10.1	29.2/9.12	33.0/11.1	35.2/15.7	38.1/20.4
05-06	32.8/11.5	27.8/7.73	27.4/7.21	28.8/9.24	32.8/10.2	36.5/13.6	39.4/20.6	40.8/25.9
06-07	33.1/13.0	26.2/7.55	23.3/6.50	26.5/8.08	29.6/8.93	31.2/11.3	34.1/13.7	36.6/21.5

Fuente: Comisión Nacional del agua.

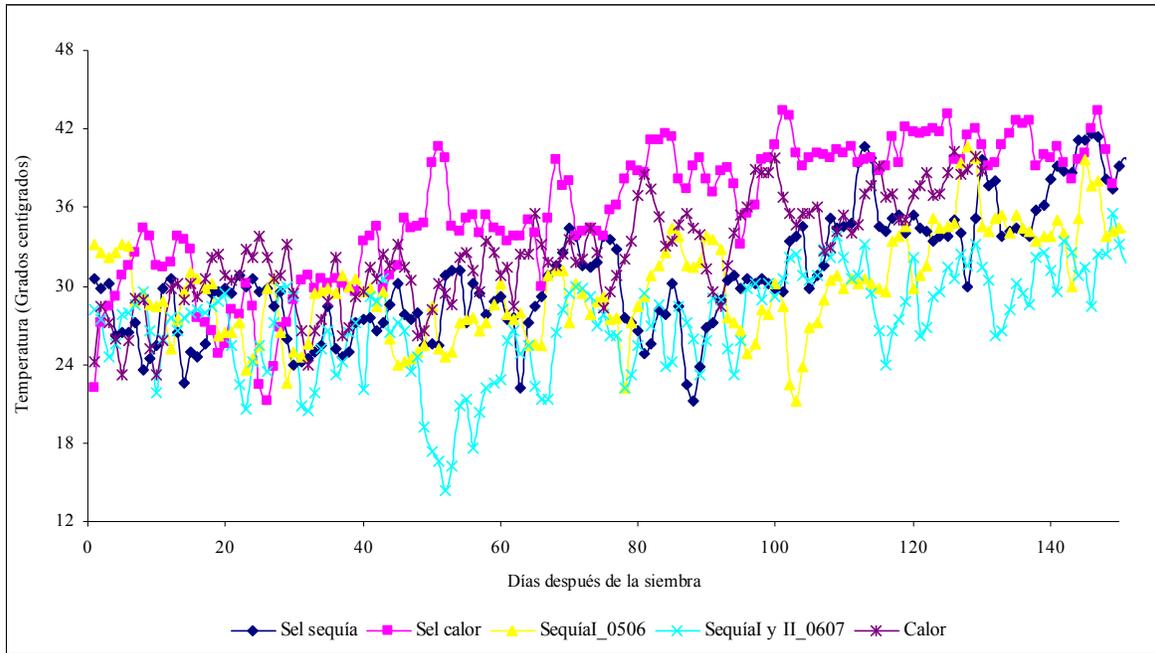


Figura 1. Tendencias de las temperaturas máximas registradas en cada ensayo a partir de la fecha de siembra.

Cada ensayo experimentó distintas temperaturas al pasar por las diferentes etapas fenológicas, por lo que en las figuras 1 y 2 se presentan las tendencias de los promedios de temperaturas máximas y mínimas, respectivamente, a partir del día de la siembra (día 0) lo que permite observar el grado de estrés ambiental experimentado por las plantas en cada etapa de su desarrollo. Por ejemplo, resulta claro que la temperatura máxima y mínima de los ensayos Sel Calor y Calor experimentaron mayor estrés durante el llenado de grano (aproximadamente 80-90 días después de la siembra) hecho que se buscaba con estos experimentos y que antes de los 40 días el rango de temperaturas máximas fue más estrecho (20-35 °C) que el resto del ciclo, y por lo tanto su variabilidad fue menor.

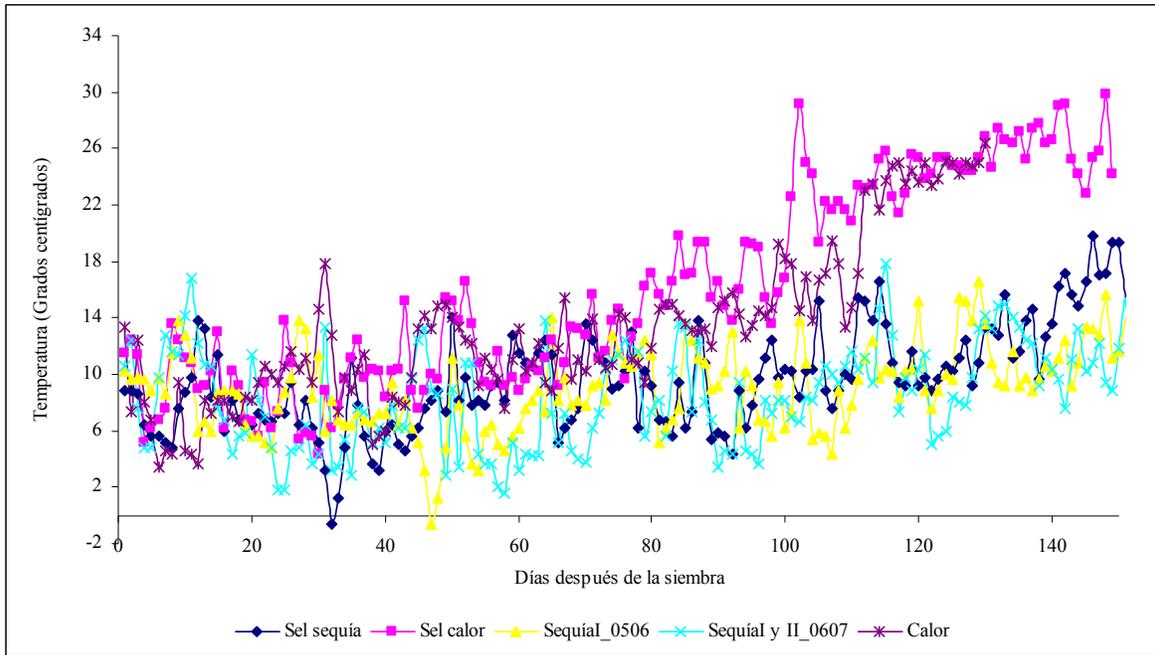


Figura 2. Tendencias de las temperaturas mínimas registradas en cada ensayo a partir de la fecha de siembra.

2.1.1 Descripción de los ensayos

Los ensayos de sequía fueron sembrados bajo sistema de riego por goteo. Sel estrés en sequía se estableció en parcelas sencillas con doble hilera de 1.0x0.8m, Sequía I_0506 en parcelas de 4.5x1.6 m con dos camas de hileras dobles y el resto de los ensayos en sequía 3.5x1.6m. La fechas de siembra son las siguientes: Sel estrés el 02 de diciembre, Sequía I_0506 el 17 de noviembre, Sequía I_0607 y Sequía II el 28 de noviembre. Los riegos fueron suspendidos después de la floración de tal forma que se experimentó estrés tardío. Los ensayos sembrados bajo condiciones de calor fueron establecidos de la siguiente forma: Sel estrés en calor en parcelas sencillas de triple hilera de 1.0x0.8m, Sequía I_0506 en parcelas de doble cama y doble hilera de 4.0x1.6m y en parcelas dobles con dos hileras de 3.5x1.6m Sequía I_0607, Sequía II y Calor. Sus fechas de siembra respectivas fueron 2 de febrero Sel estrés, 8 de marzo Sequía I_0506 y 20 de febrero Sequía I_0607, Sequía II y Calor. Bajo condiciones de riego, Sequía I_0506 se sembró en camas dobles con doble hilera en parcelas de 5.0x1.6m el 22 de noviembre, Sequía I_0607, Sequía II y Calor fueron establecidos en camas sencillas de 2.0x1.6m todos el 04 de diciembre. Plagas y enfermedades fueron debidamente controladas mediante aplicaciones químicas en todos los ensayos.

Las variables fisiológicas y agronómicas manejadas en este proyecto, fueron registradas de acuerdo a los protocolos establecidos y usados en el Programa de Fisiología de CIMMYT (Reynolds, 2001).

Tabla 2. Fechas de siembra y duración de los ciclos de experimentos

Ensayo	Ambiente	Fecha de siembra	Duración del ciclo (días)
Sel estrés	Sequía	02-Dic-05	134
Sel estrés	Calor	02-Feb-05	107
Sequia I_0506	Sequía	17-Nov-05	123
	Calor	08-Mar-05	98
	Riego	22-Nov-05	129
Sequia I_0607	Sequía	28-Nov-06	139
	Calor	20-Feb-06	98
	Riego	04-Dic-06	138
Sequia II	Sequía	28-Nov-06	144
	Calor	20-Feb-06	100
	Riego	04-Dic-06	141
Calor	Calor	20-Feb-06	98
	Riego	04-Dic-06	144

2.1.2 Análisis estadístico

Todos los datos colectados correspondientes a este apartado fueron analizados mediante el paquete SAS (versión 8.2). Utilizando un diseño alfa látice y analizados en PROC MIXED con los genotipos fijos y rep sub (rep) random.

2.2 Aplicación de SIG en el estudio de la relación entre genotipos resistentes a la sequía y su ubicación geográfica

En esta sección describe los principales métodos, herramientas y conjuntos de datos que se utilizaron en el estudio; el CD anexo contiene una base completa de datos espaciales digitales y metadatos asociados. En el Apéndice 1 se muestran los conjuntos de datos digitales que se utilizaron en el estudio. Asimismo, como parte del informe, también se incluyen copias de los 10 principales mapas (n = 10), que se imprimieron conforme a las indicaciones de CONABIO (ver Apéndice 2).

2.2.1 Datos del sitio

Los resultados de la selección preliminar para sequía de la recolección original de 9,494 muestras de razas criollas en el ciclo 2004 en Obregón indican que el 5% (n = 475) de las muestras tienen alto potencial de tolerancia a la sequía. Ensayos posteriores, más exhaustivos en el ciclo 2005 en Obregón se encontró que 9% (n = 43) del subconjunto de 2004 mostraba tolerancia a la sequía. Este conjunto central de 43 muestras provenientes de 18 localidades únicas (conocidos como “sitios tolerantes a la sequía”) sentaron la base para hacer más pruebas.

De las 9,494 muestras originales, se recopilaron datos geo-referenciados que corresponden a un subconjunto de 1,143 muestras. Sin embargo, en todos los casos, la información geo-referenciada que se obtuvo fue de moderada a escasa. Cuando se hizo la recolección, no se recopilaron datos de GPS de ninguna localidad. Por tanto, todas las muestras fueron geo-referenciaron para localidades similares mediante una verificación y validación cruzada contra las bases de datos espaciales, y utilizando los mejores datos sobre la recolección (p. ej., 20 km al sur de Pachuca). Sin embargo, es muy probable que existan errores de ubicación considerables en el conjunto final de datos. Otro problema fue que en la mayoría de los casos se recolectaron numerosas muestras de un solo “sitio”. La única solución posible y práctica podría haber sido una dispersión aleatoria de localidades respecto a los sitios mencionados, pero dado que esto podría ocasionar más errores, se tomó la decisión de usar los datos en su forma original.

2.2.2 Herramientas de cómputo

Todos los datos espaciales se manejaron con las herramientas de software de SIG. En la mayoría de las tareas de gestión y análisis se utilizó el software Environmental Research Systems Inc. (ESRI) ArcGIS v9.2. Se hicieron análisis adicionales específicos relacionados con la similitud de climas utilizando el software Floramap (Jones y Gladkov, 2003), así como el derivado de creación reciente, Homologue (Jones *et al.*, 2004). El Índice de Precipitación Estandarizado se calculó con una versión modificada de un script de C+ que proporcionó el Centro Nacional de Mitigación de Sequía de la Universidad de Lincoln, Nebraska.

2.2.3 Índice de sequía

El índice principal de sequía que se empleó en el presente estudio fue el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI, en inglés), aunque también se exploró el uso del Índice Palmer de Severidad de la Sequía (Palmer, 1965), pero no se incluyó en el análisis final. El SPI es un índice de sequía relativamente nuevo que se basa únicamente en la precipitación y es útil para monitorear condiciones en diversas temporalidades. Este índice fue creado por T.B. McKee, N.J. Doesken y J. Kleist, en la Universidad Estatal de Colorado, en 1993. El SPI se basa en el registro de la precipitación a largo plazo en cualquier localidad. Este registro se ajusta a una distribución de probabilidad, que posteriormente se transforma en una distribución normal, de manera que la media del SPI para la ubicación y el periodo deseado sea cero (Edwards y McKee, 1997). Los valores SPI (tabla 3) positivos indican una precipitación mayor a la mediana; los valores negativos indican una precipitación menor a la mediana. Con tal propósito, se utilizó la siguiente clasificación:

Tabla 3. Valores del índice de precipitación estandarizado

2.0+	extremadamente húmedo
1.5 a 1.99	muy húmedo
1.0 a 1.49	moderadamente húmedo
-.99 a .99	casi normal
-1.0 a -1.49	moderadamente seco
-1.5 a -1.99	severamente seco
-2 y menos	extremadamente seco

En el presente estudio se utilizaron datos de precipitación mensual del periodo 1901-2002 a una resolución de 0.5 grados (Mitchell y Jones, 2005) para calcular el SPI en intervalos de 1, 3, 6 y 12 meses. Las frecuencias se calcularon (% de años) con valores SPI ≤ -1 para todos los centroides de celdas reticulares en México para periodos de tiempo específicos.

En este documento presenta el reporte técnico final con los resultados obtenidos de acuerdo a los cuatro indicadores manejados para evaluar el progreso del mismo.

III. Resultados y Discusión

En esta sección se agrupan los resultados en dos apartados: 3.1) todos los datos relacionados con los aspectos fisiológicos y agronómicos de la investigación y 3.2) el material obtenido mediante el uso de sistemas de información geográfica.

El primer apartado muestra los datos y la información sobre rendimiento de grano obtenido en cada ensayo, genotipos seleccionados y las bases de datos fisiológicos y agronómicos, cubriendo con ello los incisos a, c y d mencionados en los indicadores de evaluación del proyecto. Mientras que el segundo apartado presenta los mapas cartográficos y la información derivada de la aplicación de sistemas de información geográfica correspondiente al inciso b de los indicadores.

3.1 Aspectos fisiológicos y agronómicos de la Investigación

3.1.1 Rendimiento de grano derivado de los análisis estadísticos realizados

Aun cuando recientemente se han realizado algunas investigaciones enfocadas hacia un mejor y más amplio conocimiento de los landraces mexicanos, estos materiales continúan siendo poco aprovechados. En los 60's se iniciaron colectas masivas de este germoplasma por temor a que las líneas criollas desaparecieran, pero se argumenta que su baja popularidad entre los agricultores se debe principalmente a la falta de información que permita seleccionar genotipos de interés (De Lacy *et al.*, 2000; Dreisigacker, *et al.*, 2005). Es importante describir a los genotipos por lo que como éste y a la fecha diversos estudios se han enfocado en la caracterización de landraces procedentes de todo el mundo (Dencic *et al.*, 2000; Dreisigacker, *et al.*, 2005; Hede *et al.*, 1999; Reynolds *et al.*, 2007a). Si bien es cierto que el rendimiento es para el productor la variable de mayor interés, existen otras características de igual o mayor utilidad en el proceso de mejoramiento. La biomasa generada es una de esas variables por ser un excelente indicador del potencial de rendimiento de los genotipos, incluso mejor que el rendimiento mismo (Foulkes *et al.*, 2007; Reynolds *et al.*, 2001). Además, se ha encontrado en estudios anteriores que la temperatura del dosel está altamente relacionada con la capacidad de una planta para adaptarse o no a condiciones de sequía o calor al asociarse con la capacidad para extraer

agua del suelo y mantenerse fresca (Reynolds, 2007b; Wardlaw *et al.*, 1989; Hunt *et al.*, 1991; Wardlaw y Moncur, 1995; Amani *et al.*, 1996).

La comparación de los rendimientos promedio de los landraces estudiados en los diferentes experimentos del proyecto se muestra en la tabla 4, así como las condiciones de siembra, número de individuos en cada población y el agua total disponible en cada uno. El promedio de los mejores seis genotipos de Sequía I_0506 en condiciones de estrés por sequía fue 17% mayor que el testigo (Ver tablas completas en el apéndice 1). Estos genotipos mostraron una reducción en rendimiento del 63% con respecto a riego y del 37% respecto a calor, mientras que el testigo mostró reducciones mayores (79% respecto a riego y 49 % respecto a calor). En Sequía I_0607 los seis mejores genotipos en sequía, rindieron en promedio un 32% más que el testigo. La reducción en rendimiento de estos seis fue de 62% respecto a riego y 36% respecto a calor, mientras que el testigo mostró nuevamente reducciones mayores (83% respecto a riego y 67% respecto a calor). En Sequía II el testigo rindió más que los seis más rendidores bajo sequía. La media de rendimiento de los seis mejores fue solamente 10% menor que el testigo en condiciones de sequía, pero sus reducciones promedio respecto al rendimiento en condiciones de riego y de calor fueron menores que las del testigo (58 y 29% para los tres mejores genotipos y 65 y 40% para el testigo, en comparación con riego y calor respectivamente). Dencic *et al.* (2000) en sus experimentos de sequía, también reportó menores reducciones en el rendimiento de Landraces que en los testigos usados, esto en comparación con el rendimiento obtenido en condiciones óptimas de riego. Los landraces bajo sequía rindieron 15.6% más que los cultivares adaptados. Se observa que el estrés afectó en menor medida al rendimiento de los genotipos criollos que al de los testigos, confirmando su alto valor genético y agronómico y que su aprovechamiento posibilita el acercamiento a los límites del mejoramiento de trigo. Resulta evidente que los landraces muestran mayor potencial de adaptación al estrés al reducir su rendimiento en condiciones óptimas en menor grado que los testigos empleados. Incluso en el ensayo Calor el rendimiento promedio de los seis mejores genotipos fue menor que el del testigo en un 13%, pero la reducción de estos tres respecto a riego fue del 31% mientras que el testigo tuvo una reducción de 42%. En la actualidad CIMMYT realiza cruza utilizando estos materiales criollos de alto valor genético, su empleo aumenta la

diversidad genética y permite acercarse al máximo rendimiento teórico cuando hay segregación transgresiva de alelos.

Tabla 4. Cuadro comparativo con ciclo de desarrollo del ensayo, nombre, número de genotipos que los conformó, ambiente principal bajo el cual se sembró, rendimiento promedio y cantidad total de agua disponible para el cultivo.

Ciclo	Ensayo	No. de genotipos	Nivel de estrés	Rendimiento promedio (t/ha)	Agua disponible (mm) ²
03-04	10,000 líneas	10115	sequía intensa	0.905 ¹	100
04-05	Sel sequia	400	sequía moderada	3.94	300
05-06	Sel estrés	400	sequía intensa	1.26	150
05-06	Sel estrés	400	calor	2.48	600
05-06	Sequia I	30	sequía intensa	1.42	150
06-07	Sequia I	30	sequía intensa	1.01	150
06-07	Sequia II	30	sequía intensa	1.43	150
06-07	Calor	30	calor	2.51	720

1: Promedio de los genotipos que rindieron arriba de 0.071 t/ha; n=1530; 2: Valores estimados del agua total disponible desde la siembra hasta la madurez, incluyendo precipitaciones.

En la mayoría de los ensayos se encontraron genotipos más rendidores que el testigo y en todos hubo líneas que resultaron estadísticamente iguales a éste (tabla 5). En condiciones de sequía los mejores genotipos registraron rendimientos promedios superiores a los 1.50 t/ha y en el ensayo Calor de hasta 3.08 t/ha, sin embargo hubo líneas mucho más rendidoras que la media mostrada.

Tabla 5. Rendimiento de grano obtenido en los diferentes ensayos de landraces establecidos bajo sequía y calor.

Ciclo	Ensayo	Nivel de estrés	Rendimiento (t/ha)		
			Mejores genotipos ¹	Max ²	No. de genotipos \geq testigo
03-04	10,000 líneas	sequía intensa	1.51	2.39	1148
04-05	Sel sequia	sequía moderada	4.94	5.76	0 (94*)
05-06	Sel estrés	sequía intensa	2.16	3.45	258 (135*)
05-06	Sel estrés	calor	3.28	4.12	163 (211*)
05-06	Sequia I	sequía intensa	1.90	2.01	7 (15*)
06-07	Sequia I	sequía intensa	1.51	1.72	9 (12*)
06-07	Sequia II	sequía intensa	1.88	2.01	0 (7*)
06-07	Calor	calor	3.08	3.33	0 (10*)

1: promedio del 20% de los genotipos con mejor rendimiento en cada ensayo; 2: Promedio de los cinco mejores genotipos en ensayo 10,000 líneas y los dos mejores genotipos en los demás ensayos; * número de genotipos con rendimiento estadísticamente igual al del testigo con un $\alpha=0.05$

3.1.2 Identificación de genotipos resistentes a sequía de acuerdo al 50% de experimentos de campo

Durante el 2003-2004 se sembraron 10,115 líneas de landraces bajo condiciones de sequía intensa (ensayo 10,000 líneas) de las cuales se realizó una selección de 400 genotipos resistentes a sequía que fueron sembrados durante 2004-2005 bajo sequía moderada (Sel sequía). El siguiente ciclo 05 se establecieron dos ensayos más con estas mismas 400 líneas seleccionadas (Sel estrés) pero esta vez intensificando más la sequía en un experimento y en condiciones de calor otro experimento, esto con la finalidad de realizar un estudio mas profundo sobre el potencial del germoplasma criollo ya que generalmente la sequía viene acompañada por altas temperaturas ambientales, siendo estos dos tipos de estrés los que disminuyen mayormente la productividad del trigo en muchas regiones del mundo (Fokar *et al.*, 1998) Esta última selección Sel estrés fue evaluada bajo ambos tipos de estrés en el 05 para posteriormente realizar selecciones de líneas tolerantes. De los iniciales 10,115 trigos criollos se seleccionaron además 30 genotipos también resistentes a sequía, identificados como Sequía I y sembrados durante el ciclo 05 bajo condiciones de riego además de sequía y calor. En el 05 Sequía I fue sembrado nuevamente bajo las tres condiciones (sequía, calor y riego) para darle seguimiento al estudio realizado el año anterior. Este mismo ciclo se realizaron y sembraron dos selecciones más provenientes de las 400 desarrolladas en el 05, una de genotipos resistentes a sequía solamente (Sequía II) y otra con genotipos que además de resistir el estrés hídrico mostraron buen desempeño en el ensayo Sel estrés bajo calor (Calor). Ambas selecciones contienen 30 genotipos (ver apéndice 2). La colecta de datos agronómicos y fisiológicos se profundizó en las poblaciones Sequía I, Sequía II y Calor.

Los genotipos de estas selecciones se caracterizan por poseer buenos rendimientos, fenología deseable, alta biomasa y temperaturas de dosel frescas, todo esto en comparación con el resto de los landraces y de los testigos Sokol y Tacupeto. Se observó que algunos genotipos aparecieron en ambas selecciones de sequía e incluso en sequía y calor. Las líneas comunes entre Sequía I y Sequía II son, CHIH95.3.52 y OAX93.10.1; las líneas presentes tanto en la selección de calor como en alguna selección por sequía son CHIH95.3.43, CHIH95.4.22, CHIH95.4.24, CHIH95.8.8, COAH90.25.22, HGO94.8.59, HGO94.9.2.31 y MEX94.2.19. Este germoplasma identificado por su buen desempeño en

las condiciones de estrés evaluadas, puede servir como fuente para el mejoramiento ayudando a incrementar la diversidad genética con que se cuenta hasta el momento.

3.1.3 Bases de datos con la caracterización fisiológica de las 30 líneas Landraces procedentes de la primera selección

Existe cierta polémica acerca de la utilidad del rendimiento mismo como herramienta de selección de genotipos con alto potencial de rendimiento. Sin embargo es bien reconocido que esta variable arroja buenos resultados al usarse en poblaciones cultivadas en condiciones óptimas, pero debido a su baja heredabilidad y a que es un componente bastante complejo que es afectado por un sinnúmero de variables (tanto conocidas como desconocidas), bajo condiciones de estrés su uso no resulta muy efectivo (Reynolds, 2001; Rajaram, 1996).

Partiendo de esta premisa y con base en lo señalado en los indicadores para la evaluación del proyecto en las poblaciones seleccionadas se colectaron las siguientes variables: germinación, amacollamiento, días a floración, días a madurez, biomasa en la cosecha, espiguillas por espiga, granos por espiga, espigas por metro cuadrado, peso de mil granos, rendimiento del grano, depresión de la temperatura del follaje y reflejo espectral, mismos que se presentan a detalle en el archivo bd_RepFinal_CONABIO.xls debido a su extensión, así como otras variables que resultan útiles en la caracterización como índice normalizado vegetativo, biomasa y contenido de clorofila.

Como se mencionó anteriormente, el rendimiento es la variable de principal interés para el productor, sin embargo para fines de selección y mejoramiento la biomasa generada representa un mejor indicador del potencial de adaptación del genotipo, incluso mejor indicador que el rendimiento mismo. La tabla 6 muestra que el promedio de la biomasa generada por los mejores seis genotipos en cada ensayo de sequía, fue mayor a la media del ensayo y que incluso en todos los experimentos hubo tanto genotipos con mayores biomásas como otros estadísticamente iguales al testigo.

Tabla 6. Resultados de cantidad de biomasa generada y temperatura del dosel en etapa vegetativa y de llenado de grano en los experimentos Sequía I, II y Calor.

Ensayo	Sequia I	Sequia I	Sequia II	Calor
Ciclo	05-06	06-07	06-07	06-07
Biomasa (t/ha)				
Promedio ¹	395	472	485	NR
Testigo	389	693	613	NR
Mejores genotipos ²	519	656	571	NR
No. de genotipos \geq testigo	15 (12*)	2 (11*)	1 (20*)	NR
Temperatura del dosel en llenado de grano (°C)				
Promedio ¹	24.5	27.0	27.8	28.9
Testigo	24.7	26.6	27.5	28.9
Mejores genotipos ²	24.1	27.4	28.2	29.6
No. de genotipos \leq testigo	18 (11*)	4 (20*)	3 (23*)	12 (17*)
Temperatura del dosel en etapa vegetativa (°C)				
Promedio ¹	29.0	35.0	34.5	33.6
Testigo	29.3	36.0	34.8	33.6
Mejores genotipos ²	28.2	35.9	35.5	34.1
No. de genotipos \leq testigo	19 (10*)	27 (2*)	19 (10*)	14 (15*)

1: Promedio del ensayo; 2: Promedio del 20% de los genotipos con mejor desempeño en el ensayo; *: Número de genotipos estadísticamente iguales al testigo con un $\alpha=0.05$; n=30

Adicionalmente, se realizó un análisis de calidad de harina y grano de trigo en tres submuestras de Sequía I_0506 crecidas en sequía, calor y riego, los resultados de dicha evaluación se incluyen también en este apartado (ver apéndice 3) para cada ambiente respectivamente. En estas tablas se detallan variables como dureza, humedad y proteína del grano y fuerza/extensibilidad, humedad y proteína de la harina. Como se mencionó en el reporte entregado anteriormente, para llevar a cabo esta fase de la investigación se capacitó a una estudiante de licenciatura del Instituto Tecnológico de Sonora, quien con el apoyo del Laboratorio de Química y Calidad de Cereales de CIMMYT desarrolló los análisis correspondientes.

3.2 Material obtenido mediante el uso de sistemas de información geográfica

3.2.1 Zonas productoras de trigo existentes

Se utilizaron los datos disponibles publicados a escala municipal para delinear las principales zonas productoras de trigo en México. Sigue trabajándose en el perfeccionamiento de estas zonas de producción, para darles un mayor grado de desagregación espacial aplicando técnicas de asignación de entropía espacial (You y Wood, 2005); sin embargo, los resultados que se han obtenido a la fecha aún tienen que modificarse y, por tanto, no se incluyeron en el presente análisis. Los datos a escala municipal corresponden a dos periodos: 1991 (INEGI, 1991) y los datos más recientes de 2006 (SAGARPA, 2008) (Figura 3). En términos generales, estos datos destacan las principales zonas productoras de trigo, más la distribución espacial de los ciclos contrastantes de cultivo en México. Se emplearon datos del censo de 1991 para ilustrar la característica del trigo de invierno en ciclos contrastantes de cultivo (donde predomina el riego) de los estados del norte, y del Bajío, en comparación con la característica de las áreas de temporal en el ciclo de verano (Tlaxcala, Estado de México, etc.), aunque también algunas áreas a niveles bajos (Figura 4).

La presencia de ciclos de cultivo contrastantes indica que es necesario hacer análisis individuales climáticos y de sequía utilizando apropiado periodos de tiempo de los ciclos. La disponibilidad de datos de producción que puedan compararse para dos puntos temporales fijos (1991 y 2006) hizo posible ilustrar las cambiantes tendencias en las zonas productoras de trigo en México. De acuerdo con estadísticas publicadas (FAOSTAT, 2008), los datos reportados a escala municipal indicaron un descenso, tanto en superficie como en producción de trigo en México. En la figura 5 se muestran las áreas donde se detectaron cambios positivos o negativos de producción. Se elaboraron mapas de la ubicación de los sitios de recolección, de los cuales proceden las razas criollas antiguas que se utilizaron en el presente estudio, en relación con las zonas productoras de trigo que se reportaron (v. Figura 3). Estos datos revelan que las muestras de las razas criollas se recolectaron en sitios distribuidos ampliamente que abarcan muchas de las áreas de producción de trigo que se han reportado en México. En la Figura 5 se indica cuáles son los sitios donde se obtuvieron materiales con caracteres de tolerancia a la sequía, basándose en las selecciones finales en los ensayos de campo de varios años en Obregón. Estos sitios representan 18 ubicaciones

únicas en los Estados de Chihuahua, Guanajuato, Querétaro, Hidalgo, Estado de México, Puebla y Oaxaca. Nueve de los sitios, que representan 25 accesos, pertenecen a las áreas de producción del ciclo de invierno (diciembre a mayo) y nueve (18 accesiones) a en las zonas de producción de verano (mayo a octubre). Diez de estos sitios únicos tolerantes a la sequía se encuentran en municipios que muestran un cambio negativo en la producción de trigo 1991-2006 (4 en municipios que reportan un cambio positivo; los otros 4 estaban fuera de los municipios y no reportaron producción de trigo). No hay información sobre la causa específica del descenso en la producción de trigo en ninguno de los municipios, pero no pueden omitirse los problemas relacionados con el agua.

3.2.2 Zonas de similitud de sitios de sequía

Se utilizaron como base las 18 localidades únicas tolerantes a la sequía para determinar las zonas de similitud en que exista la probabilidad de identificar materiales con características similares. Se utilizó la similitud climática como el principal factor determinante. Primeramente se utilizó la herramienta Floramap (Jones y Gladkov, 2003) para generar zonas de probabilidad climática con base en los sitios tolerantes a la sequía; posteriormente se aplicaron análisis Homologue (Jones *et al.*, 2004), una nueva herramienta creada por Peter Jones, en el CIAT, y derivada de Floramap. Con Homologue permite obtener la probabilidad climática de zonas similares basada en características de sitios específicos. Se generaron zonas de probabilidad utilizando un nivel de adaptación intermedio para cada sitio tolerante a la sequía. Por último, se creó una nube de probabilidad con los resultados de todos los sitios. En la Figura 6 se ilustra la nube de probabilidades final y muestra la zona de similitud climática (y las probabilidades de similitud) para los sitios tolerantes a la sequía. Se observó que las áreas con la más alta probabilidad de contar con climas que coinciden con aquellas de los sitios tolerantes a la sequía se encuentran sobre todo en los altiplanos del norte y del centro. Se extrajeron los datos disponibles de suelos (INIFAP escala 1:250,000) de cada uno de los sitios tolerantes a la sequía. Con esos datos, se asociaron ocho de los principales tipos de suelo con los sitios tolerantes a la sequía (Tabla 7). En la Figura 7 se muestran la probabilidad climática combinada y los tipos de suelo coincidentes asociados con los sitios tolerantes a la sequía. La integración del tipo de suelo con la probabilidad climática dio como resultado una zona de similitud que muestra una

distribución similar, aunque ligeramente restringida, en comparación con aquella de solamente el clima.

Tabla 7. Los principales tipos de suelo con los sitios tolerantes a la sequía

CLAVE	COORDENADAS		TIPO DE SUELO	TEXTURA	pH
	X	Y			
COAH90.25.22	-100.7500	25.4333	LITOSOL	MEDIANA	7.70
COAH90.26.31	-100.7500	25.4333	LITOSOL	MEDIANA	7.70
GTO95.1.27	-101.3000	20.4000	VERTISOL PELICO	GRUESA	7.20
CHIH95.1.10	-108.3017	27.9017	REGOSOL EUTRICO	MEDIANA	6.40
CHIH95.2.6	-108.3075	27.9161	REGOSOL EUTRICO	MEDIANA	6.40
CHIH95.3.28	-108.3167	27.8472	REGOSOL EUTRICO	MEDIANA	6.40
CHIH95.3.37	-108.3167	27.8472	REGOSOL EUTRICO	MEDIANA	6.40
CHIH95.3.38	-108.3167	27.8472	REGOSOL EUTRICO	MEDIANA	6.40
CHIH95.3.43	-108.3167	27.8472	REGOSOL EUTRICO	MEDIANA	6.40
CHIH95.3.47	-108.3167	27.8472	REGOSOL EUTRICO	MEDIANA	6.40
CHIH95.3.52	-108.3167	27.8472	REGOSOL EUTRICO	MEDIANA	6.40
CHIH95.3.53	-108.3167	27.8472	REGOSOL EUTRICO	MEDIANA	6.40
CHIH95.4.6	-108.5006	28.1553	REGOSOL EUTRICO	MEDIANA	6.40
CHIH95.4.12	-108.5006	28.1553	REGOSOL EUTRICO	MEDIANA	6.40
CHIH95.4.19	-108.5006	28.1553	REGOSOL EUTRICO	MEDIANA	6.40
CHIH95.4.22	-108.5006	28.1553	REGOSOL EUTRICO	MEDIANA	6.40
CHIH95.4.24	-108.5006	28.1553	REGOSOL EUTRICO	MEDIANA	6.40
CHIH95.5.3	-108.5011	28.1544	REGOSOL EUTRICO	MEDIANA	6.40
CHIH95.5.9	-108.5011	28.1544	REGOSOL EUTRICO	MEDIANA	6.40
CHIH95.5.15	-108.5011	28.1544	REGOSOL EUTRICO	MEDIANA	6.40
CHIH95.5.22	-108.5011	28.1544	REGOSOL EUTRICO	MEDIANA	6.40
CHIH95.5.29	-108.5011	28.1544	REGOSOL EUTRICO	MEDIANA	6.40
CHIH95.5.33	-108.5011	28.1544	REGOSOL EUTRICO	MEDIANA	6.40
CHIH95.7.4	-108.5019	28.1875	REGOSOL EUTRICO	MEDIANA	6.40
CHIH95.8.8	-108.5119	28.1483	REGOSOL EUTRICO	MEDIANA	6.40
PBL94.12.12.	-97.6667	19.4167	CAMBISOL EUTRICO	GRUESA	6.70
PBL94.12.12.	-97.6667	19.4167	CAMBISOL EUTRICO	GRUESA	6.70
QRO94.2.107	-99.8333	20.4167	FEOZEM HAPLICO	GRUESA	6.40
HGO94.2.19	-98.8833	19.9167	FEOZEM HAPLICO	GRUESA	6.40
HGO94.8.59	-98.3667	19.9000	VERTISOL PELICO	GRUESA	7.20
HGO94.8.70	-98.3667	19.9000	VERTISOL PELICO	GRUESA	7.20
HGO94.8.93	-98.3667	19.9000	VERTISOL PELICO	GRUESA	7.20
HGO94.8.118	-98.3667	19.9000	VERTISOL PELICO	GRUESA	7.20
HGO94.9.1.5	-98.4833	19.8167	VERTISOL PELICO	GRUESA	7.20
HGO94.9.1.37	-98.4833	19.8167	VERTISOL PELICO	GRUESA	7.20
HGO94.9.1.52	-98.4833	19.8167	VERTISOL PELICO	GRUESA	7.20
HGO94.9.1.54	-98.4833	19.8167	VERTISOL PELICO	GRUESA	7.20
HGO94.9.2.31	-98.4833	19.8167	VERTISOL PELICO	GRUESA	7.20
MEX94.2.18	-99.5000	20.3333	PLANOSOL MOLICO	GRUESA	6.00
MEX94.2.19	-99.5000	20.3333	PLANOSOL MOLICO	GRUESA	6.00
MEX94.2.38	-99.5000	20.3333	PLANOSOL MOLICO	GRUESA	6.00
MEX94.23.32	-98.8500	19.3667	FEOZEM HAPLICO	GRUESA	6.40
PUB94.15.1.1	-98.5333	19.3333	REGOSOL EUTRICO	GRUESA	6.40
OAX93.10.1	-97.5000	17.6667	VERTISOL PELICO	GRUESA	7.20

3.2.3 Zonas de sequía

Con el método que se utilizó para identificar las zonas de sequía se pretendía abordar tanto los aspectos temporales de la sequía como la probable exposición a la sequía a largo plazo en los sitios de recolección. Al principio, los métodos exploratorios se concentraron en un balance de agua simple, con índices normales de precipitación a largo plazo a evapotranspiración potencial durante la principal temporada de lluvias. Este trabajo de exploración arroja datos que indican que existe relación entre el medioambiente del sitio de recolección y la tolerancia a la sequía en los ensayos en campo (Figura 8). Sin embargo, con este método no se abordan las diferentes condiciones del ciclo de producción de trigo en México, ni los aspectos específicos a largo plazo del potencial estrés por sequía. En trabajos posteriores se utilizaron índices de sequía ampliamente conocidos y aplicados, por ejemplo, el Índice de Severidad de Sequía SPI y el Índice de Severidad de la Sequía de Palmer, con un enfoque final en el Índice de Precipitación resultaba apropiado para los datos disponibles. Los datos del Índice de Severidad de Sequía de Palmer (PDSI) se obtuvieron basándose en datos de estaciones meteorológicas de 132 localidades en México; abarcan un periodo de 50 años. Los patrones generales espaciales de sequía que se observaron utilizando los datos de PDSI en meses clave fueron muy similares a aquellos del SPI (no se muestran los datos); sin embargo, la densidad relativamente baja de los puntos de datos y los periodos cortos dieron como resultado que el índice de sequía preferido fuera SPI.

Para generar los datos SPI se utilizó la precipitación mensual para el periodo 1901-2002 (Mitchell y Jones, 2005). Estos datos tienen una resolución de 0.5 grados. Se extrajeron centroides para la superficie total de tierra en México y se calculó el SPI para periodos de 1, 3, 6, 12 meses, que abarcan todo un periodo de 101 años del conjunto de datos. El análisis final se enfocó en datos de SPI de 3 meses, que corresponden a las principales etapas del cultivo en los dos distintos sistemas de producción. Se consideró que es probable que el estrés por sequía tenga más influencia en las etapas finales del desarrollo del cultivo (aproximadamente en la etapa de llenado del grano) y, por tanto, para áreas de ciclo de invierno se eligió un SPI de 3 meses, considerando el periodo de marzo a mayo. Para las áreas de ciclo de verano se seleccionó un SPI de 3 meses, que va de agosto a octubre. En ambos casos, se calculó y mapeó la frecuencia de años con un valor $SPI \leq -1$ (condiciones

anormalmente áridas/de sequía) (Figuras 9 y 10). Las principales áreas donde se aplica riego también se indican en estos mapas (de Siebert *et al.*, 2005). Para las áreas de producción de ciclo de invierno, se observó un área extensa de sequía de frecuencia relativamente alta en el Noreste de México, que abarca partes de Sonora, Sinaloa, Chihuahua y Durango. Para las áreas de producción de ciclo de verano se observaron áreas de sequía de elevada frecuencia relativamente similares, que abarcan una franja que va del norte de Veracruz al oeste de Oaxaca/este de Guerrero. En ambas zonas de producción se notaba una clara tendencia de la presencia de sitios tolerantes a la sequía en las áreas cuya frecuencia de sequía era relativamente alta. Además, en ambos casos, existía una indicación de que el aumento en los rendimientos que se observó en condiciones de estrés por sequía controlado estaba relacionado positivamente con la frecuencia de sequía en el sitio de recolección (Figuras 11 y 12). Sin embargo, debe tenerse en cuenta que hubo grandes excepciones en esta generalización, por ejemplo, el sitio de San Isidro, en el Bajío de Guanajuato.

A pesar de las tendencias que se observaron, como era de esperarse, la probable relación entre los sitios tolerantes a la sequía y las zonas de sequía no fue absoluta y muchos de los sitios de recolección “no tolerantes a la sequía” se encontraban también en las zonas de sequía de frecuencia relativamente elevada. Además de las consideraciones genéticas (no es un hecho que el medio ambiente influya directamente en todos los materiales), varios factores biofísicos/ambientales de escala local que no se habían considerado indudablemente tuvieron una gran influencia. El acceso a riego (o fuentes de agua) a nivel de parcela es un factor importante, pero para el estudio únicamente fue posible acceder a datos generales que muestran las principales zonas de riego (v. Figuras 9 y 10), y por esa razón no fue posible describir ni el tipo de riego ni las fuentes de agua a nivel parcela. La falta de información georeferenciada exacta de los sitio es otro problema, ya que seguramente existen inexactitudes en el conjunto de datos de localidades. Además, no se consiguieron datos en detalle de las propiedades de drenaje del suelo a escala local.

3.2.4 Zonas de idoneidad para el trigo

Se evaluaron diferentes fuentes y métodos para atender este asunto. Se obtuvieron las zonas de idoneidad existentes de la FAO para “trigo de riego y de secano de alto rendimiento” (Figura 13); y utilizando el módulo Ecocrop dentro de DIVA-GIS se obtuvieron las zonas de idoneidad climática para trigo en condiciones de temporal (Figura 14). Ambos métodos dieron como resultado zonas de idoneidad realistas y complementarias en condiciones de temporal o secano (básicamente para el ciclo de verano), pero presentaban ciertas restricciones en cuanto a su capacidad para identificar las correspondientes zonas de idoneidad para ciclos de invierno. A causa de estas limitantes, se optó por aprovechar el trabajo que recientemente realizó el CIMMYT para describir los mega-ambientes de trigo (White *et al.*, 2001; Trethowan *et al.*, 2005; Hodson y White, 2007). Los mega-ambientes (ME) se definen, desde el punto de vista climático, como zonas de producción homogéneas derivadas de la red de ensayos internacionales del CIMMYT. En México hay dos ME principales: el ME1 de alto potencial con riego, para el cual Cd. Obregón, Sonora, es una localidad tipo; y el ME 2a de alta precipitación pluvial en verano, en los valles altos, para el cual Toluca, Edo. de México es una localidad tipo. Hay dos ME que se considera que representan muy bien la idoneidad climática para el trigo, tanto para el ciclo de invierno (ME1), como el de verano (ME2a). A continuación se proporciona una definición de los mega-ambientes, utilizando la base de datos WorldCLIM (Hijmans *et al.*, 2005):

Mega-ambiente	Descripción	Criterio geoespacial
ME1	Favorable, irrigado, escasa precipitación pluvial	Trimestre más frío (los 3 meses consecutivos más fríos) temperatura media mínima $\geq 3^{\circ} \text{C} < 11^{\circ} \text{C}$, más $>5\%$ de 5 celda reticular mínima del arco con equipo de riego
ME2a	Elevada precipitación,	Trimestre más húmedo (los 3 meses consecutivos más húmedos)

	lluvia en verano en los valles altos	temperatura media mínima $\geq 3^{\circ} \text{C} < 16^{\circ} \text{C}$, trimestre más húmedo precipitación $\geq 250 \text{ mm}$, elevación $\geq 1400 \text{ m}$
--	--	---

Las zonas de estos ME se ilustran en la Figura 15. Debe recordarse que para alcanzar el máximo potencial de rendimiento en ME1 es necesario que se aplique riego adecuado. Las áreas principales que cuentan con infraestructura de riego se muestran en la Figura 15; sin embargo, la zona más amplia es climáticamente idónea para trigo en el ciclo de invierno.

3.2.5 Zonas potenciales para materiales tolerantes a la sequía

Para identificar zonas potenciales en que podrían producirse materiales con características tolerantes a la sequía, o por el contrario, materiales mejorados que contengan tolerancia a la sequía mejorada que pudiera ser de utilidad, se combinaron varios de los elementos descritos en párrafos anteriores. Para las áreas de ciclo de verano, los criterios que se utilizaron para identificar las fuentes/zonas potenciales de sequía fueron los siguientes:

- Idoneidad para el trigo definida como el ambiente climático para ME2a
- Áreas de alta frecuencia de sequía – SPI (agosto-octubre) sequía en $\geq 15\%$ de años
- Coincidencia de similitud climática a aquella de los sitios tolerantes a la sequía

Por tanto, las características principales de las zonas resultantes son: (i) son climáticamente idóneas para trigo de ciclo de verano; (ii) es probable que haya una alta frecuencia de sequía desde mediados hasta el final del ciclo; y (iii) exhiben características climáticas similares a las de las áreas en las que se sabe que existen razas criollas de trigo tolerantes a la sequía. En la Figura 16 se muestran las zonas resultantes que coinciden con estos criterios. Las zonas que se identificaron incluyen áreas que coinciden con y fuera de los municipios que producen trigo. Se hizo una caracterización posterior de estas zonas utilizando las características socioeconómicas/demográficas, incorporando los cálculos de pobreza para comunidades rurales, preparados a partir de estudios anteriores del CIMMYT (Bellon *et al.*, 2005). Al incorporar estos datos se pueden identificar posibles áreas

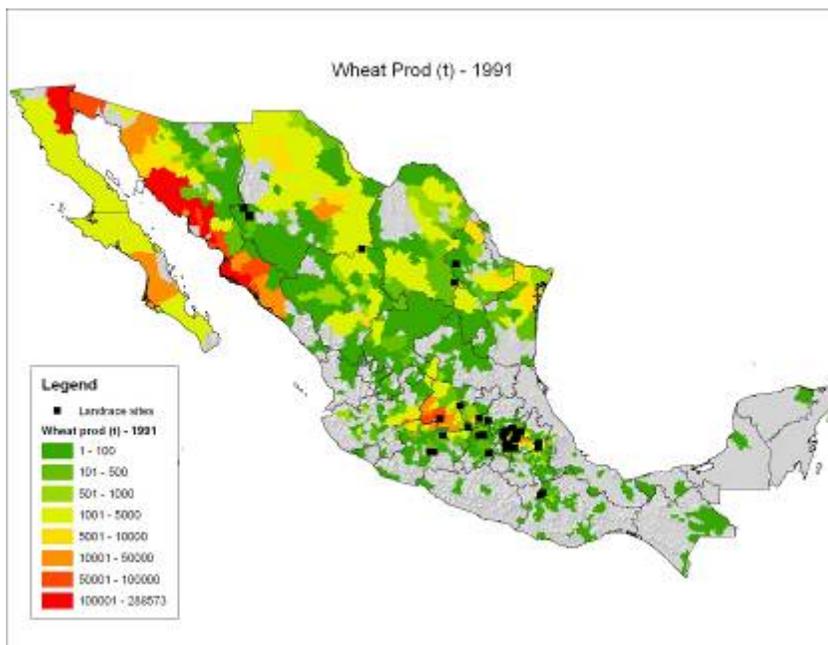
prioritarias, por si tuviera que considerarse un programa de distribución de trigo tolerante a la sequía para personas en condiciones de pobreza.

Del mismo modo, para áreas de ciclo de invierno, se aplicaron los siguientes criterios:

- Idoneidad del trigo utilizando el ambiente climático de ME1
- Áreas de sequía de alta frecuencia – SPI (abril a mayo) sequía en $\geq 15\%$ de años
- Similitud climática que coincide con aquella de los sitios tolerantes a la sequía

Por tanto, las características principales de las zonas resultantes son: (i) áreas climáticamente adecuadas para trigo de ciclo de invierno; (ii) es probable que exista una alta frecuencia de sequía desde mediados hasta el final del ciclo; y (iii) exhiben características climáticas similares a las áreas en las cuales se sabe que hay presencia de razas criollas de trigo tolerantes a la sequía. Las zonas resultantes que coinciden con este criterio aparecen en la Figura 17. En cuanto al ciclo de verano, las zonas identificadas incluyen áreas que coinciden con y fuera de los municipios que producen trigo. También se incorporan los cálculos de pobreza para comunidades rurales (Bellon *et al.*, 2005) en las zonas (Figura 17).

Figura 3. Producción de trigo municipal (toneladas), 1991 y 2006
Producción de trigo (t) -1991



Producción de trigo (t) - 2006

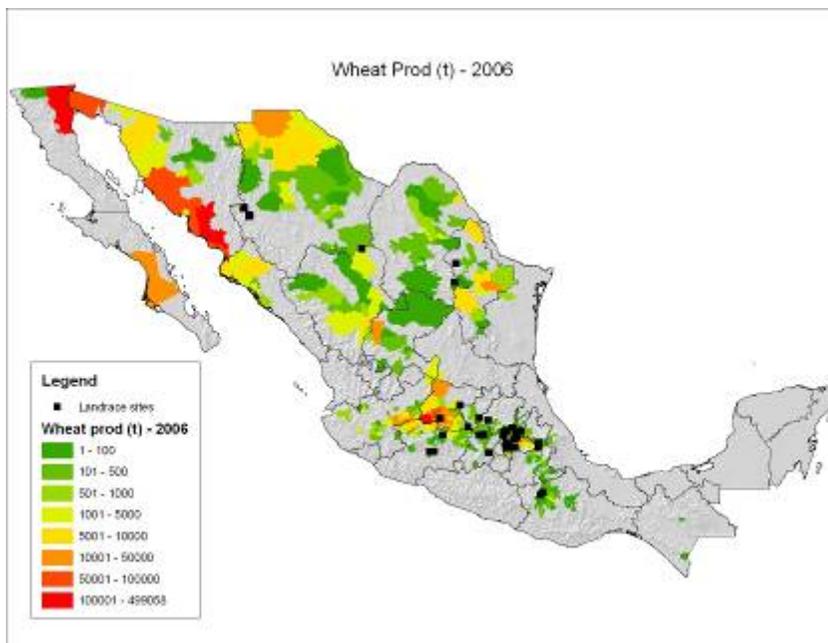


Figura 4. Producción de trigo municipal (toneladas), ciclos de invierno y verano, 1991

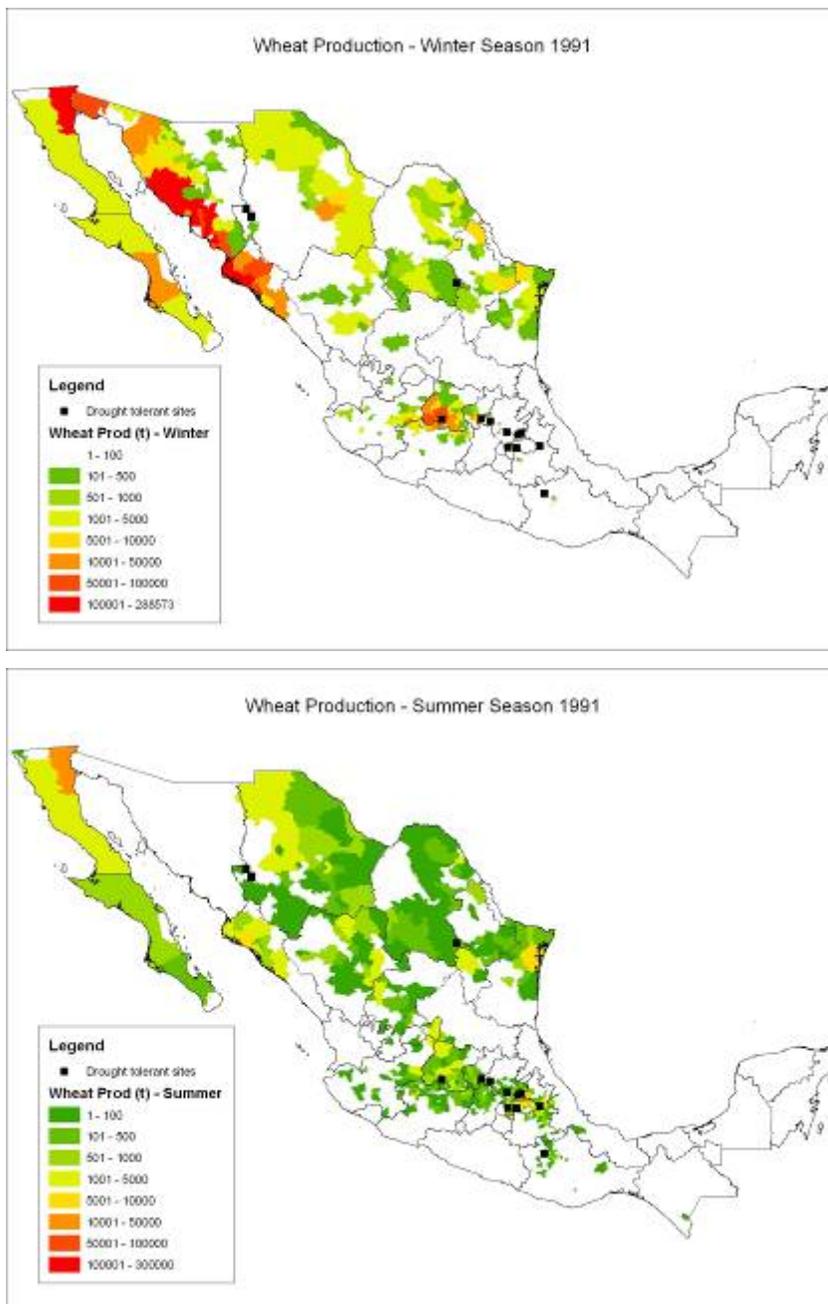


Figura 5. Cambios en la producción de trigo municipal (toneladas), 1991-2006

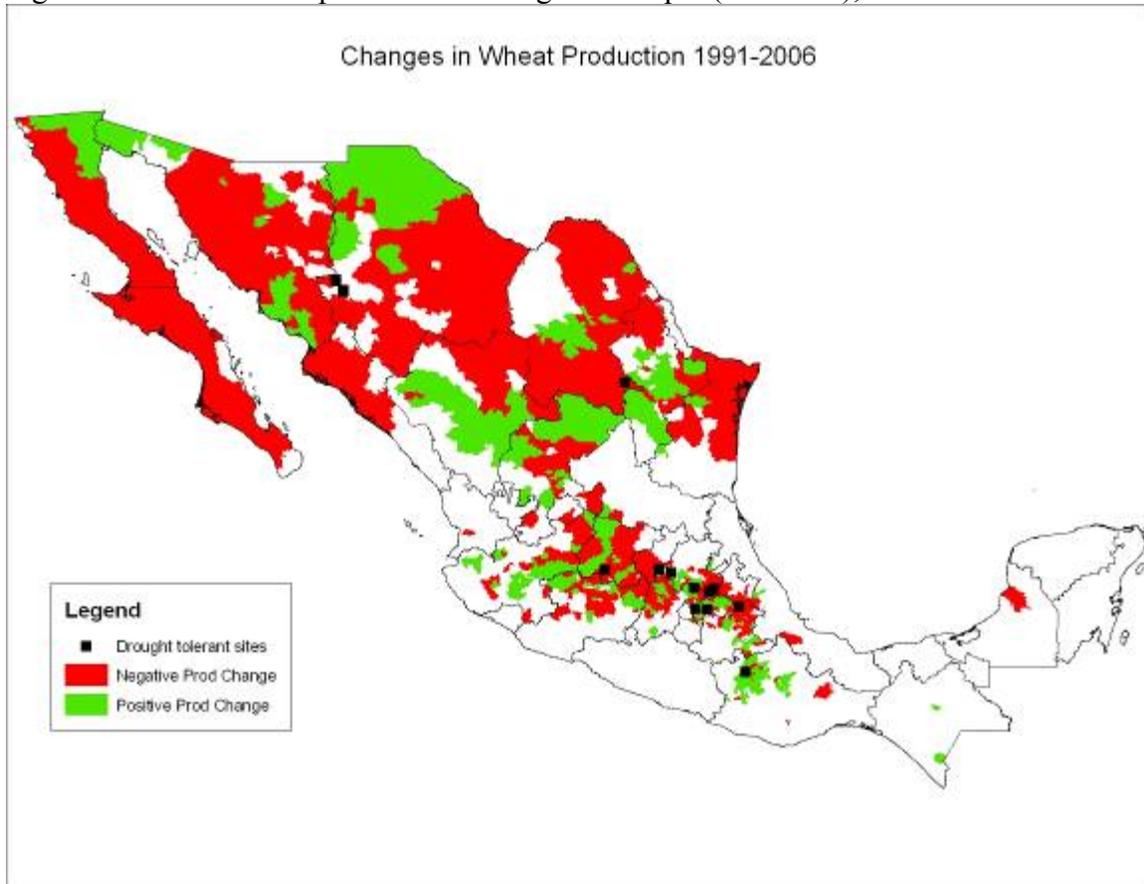


Figura 6. Zona de similitud climática según Homologue de sitios de trigo tolerantes a la sequía

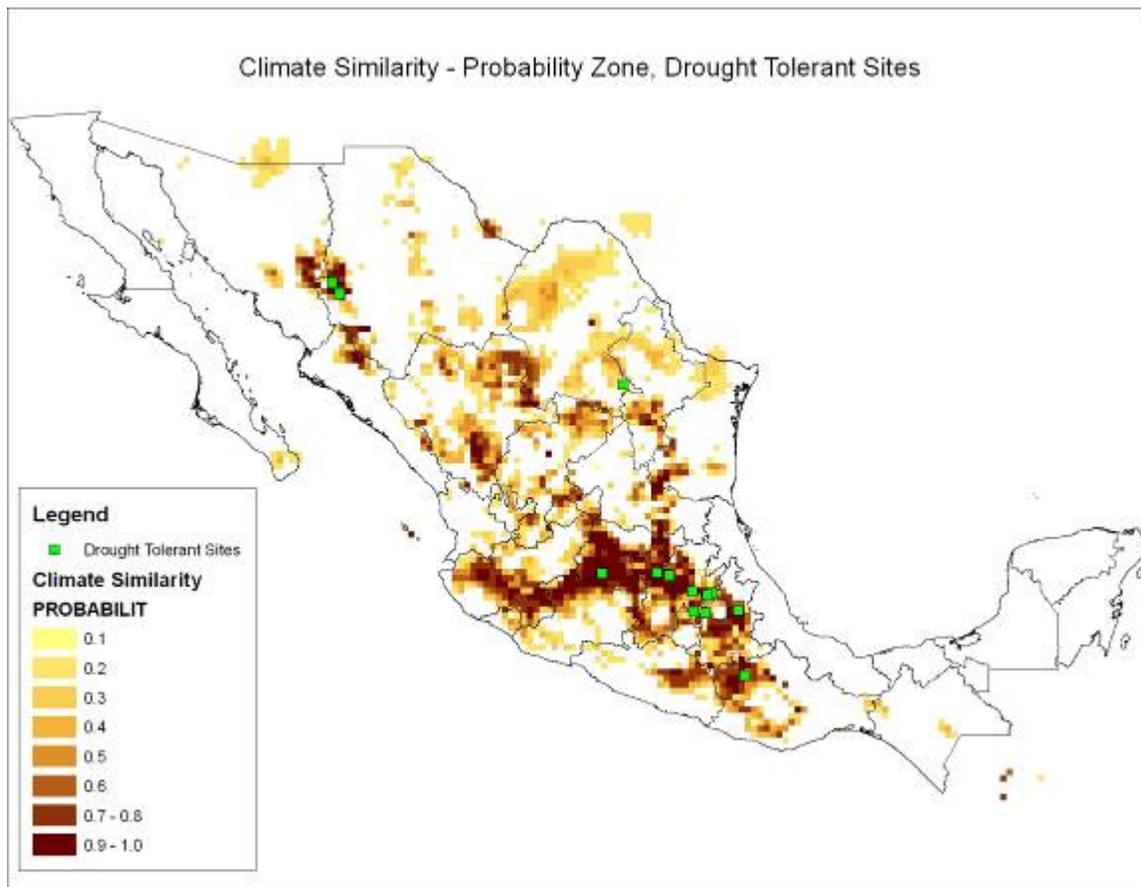


Figura 7. Similitud climática y zona de similitud de suelos según Homologue para sitios de trigo tolerantes a la sequía

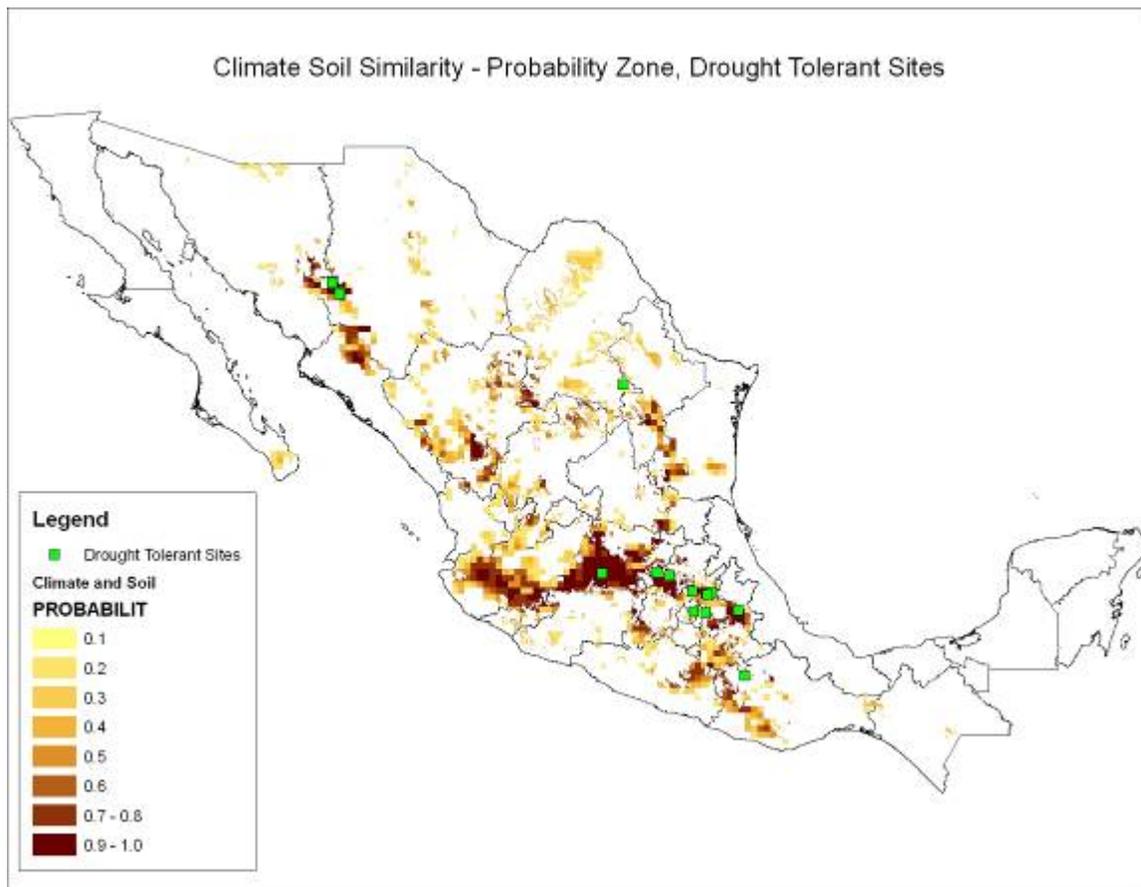


Figura 8. Disponibilidad de agua en el ciclo de verano (índice de precipitación a evapotranspiración) y aumentos de rendimiento en condiciones de sequía controlada

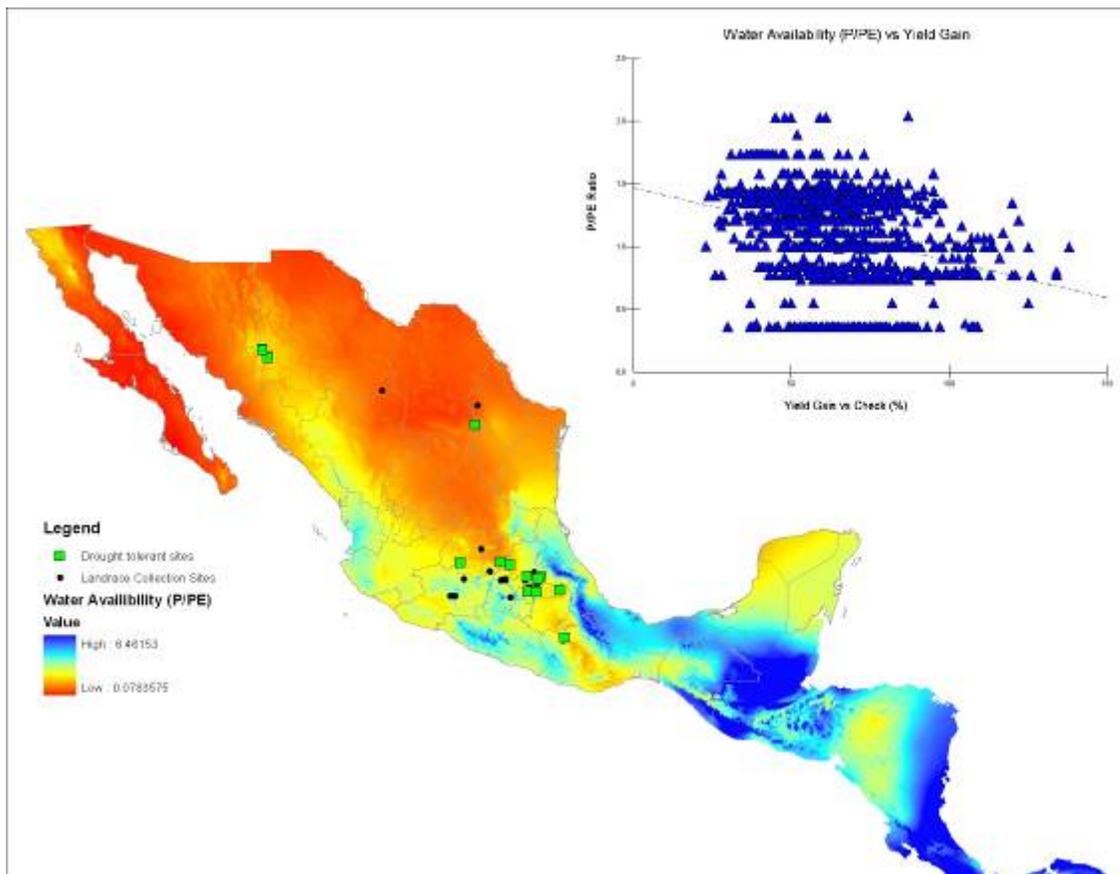


Figura 9. Porcentaje de años de sequía basado en SPI abril–mayo (ciclo de invierno)

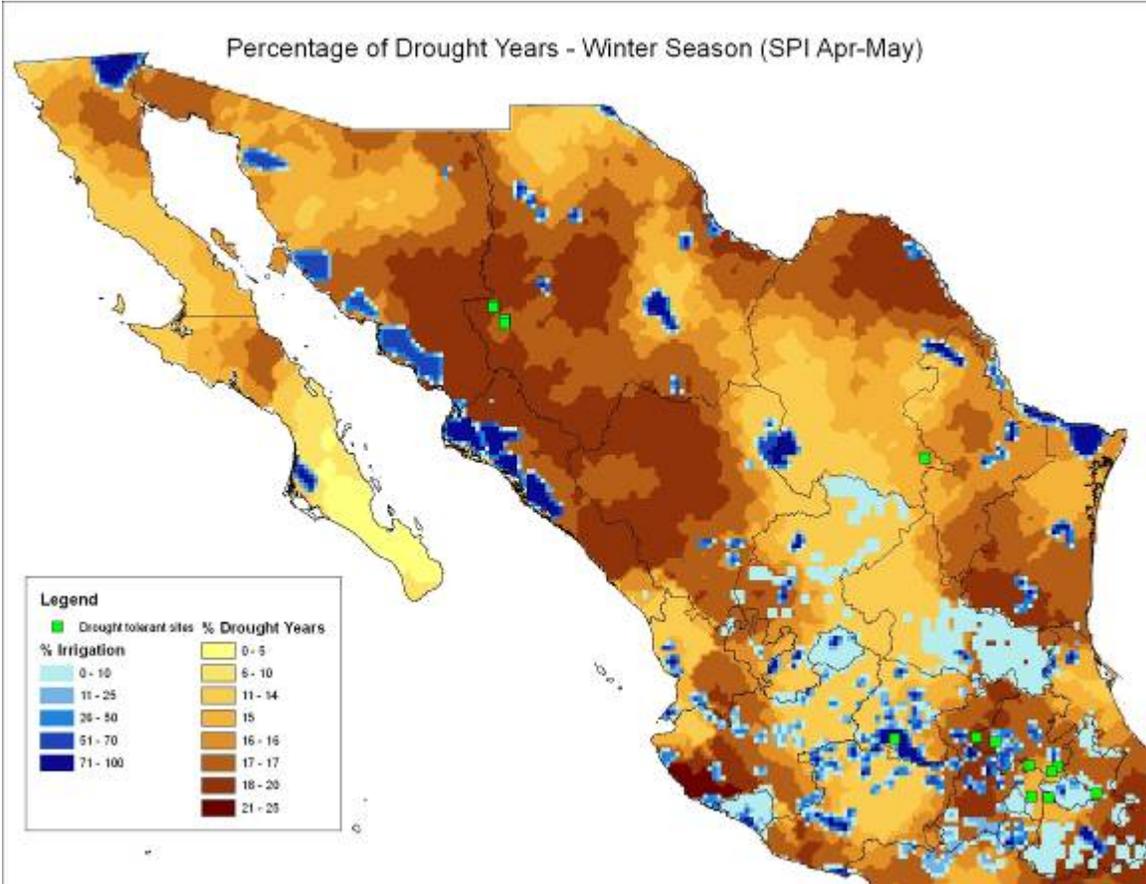


Figura 10. Porcentaje de años de sequía basado en SPI agosto-octubre (ciclo de verano)

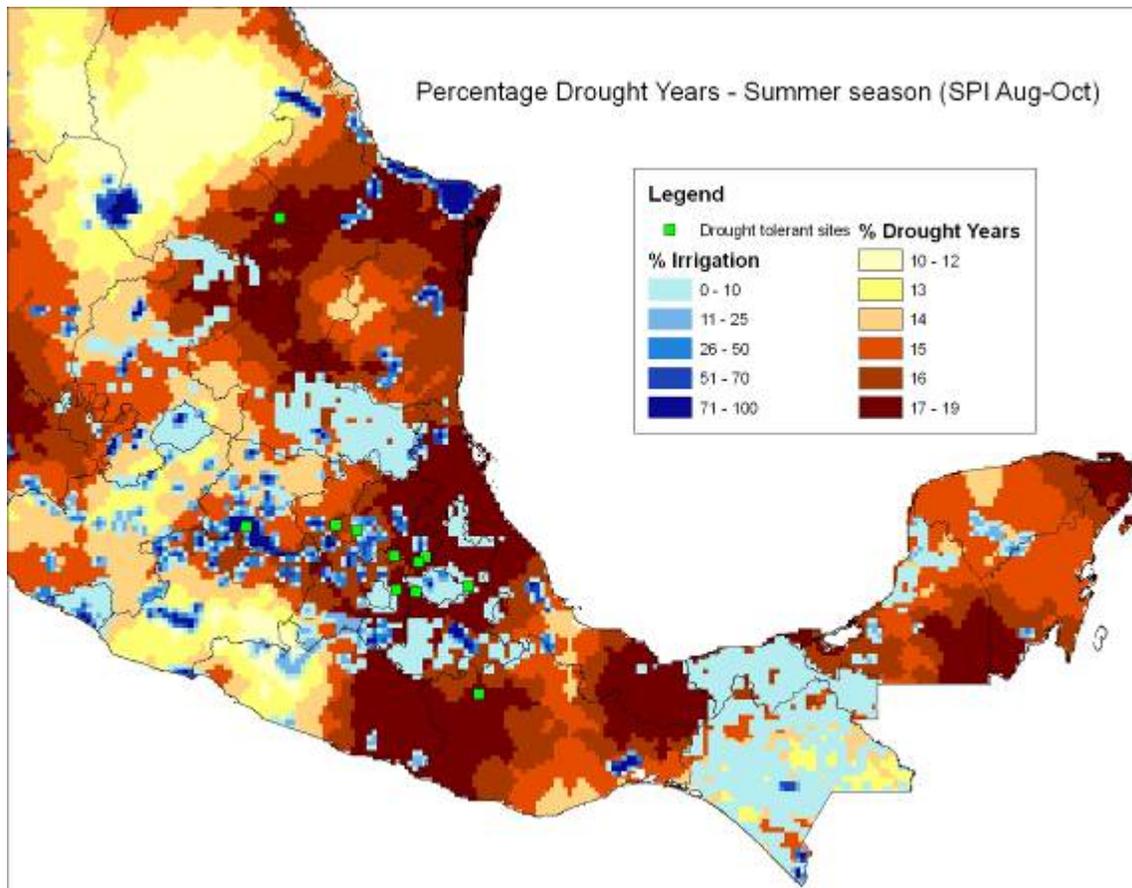


Figura 11. Aumento de rendimiento en condiciones de sequía controlada y porcentaje de años de sequía basados en SPI abril-mayo (ciclo de invierno)

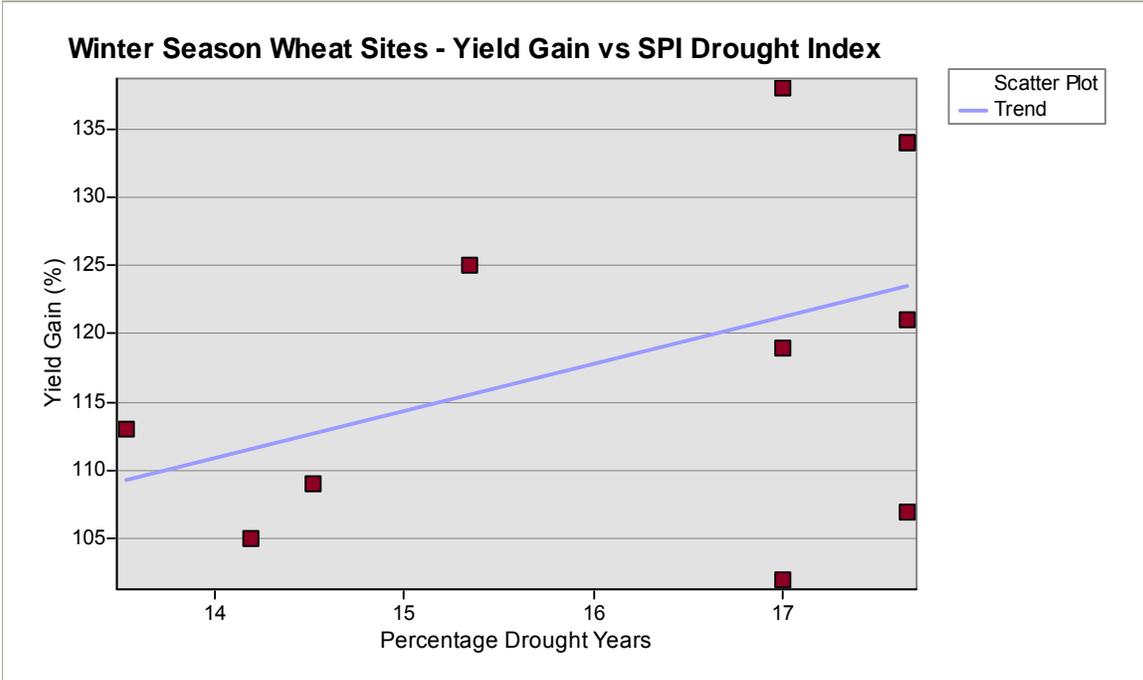


Figura 12. Aumento del rendimiento en condiciones de sequía controlada y porcentaje de años de sequía basado SPI agosto-octubre (ciclo de verano)

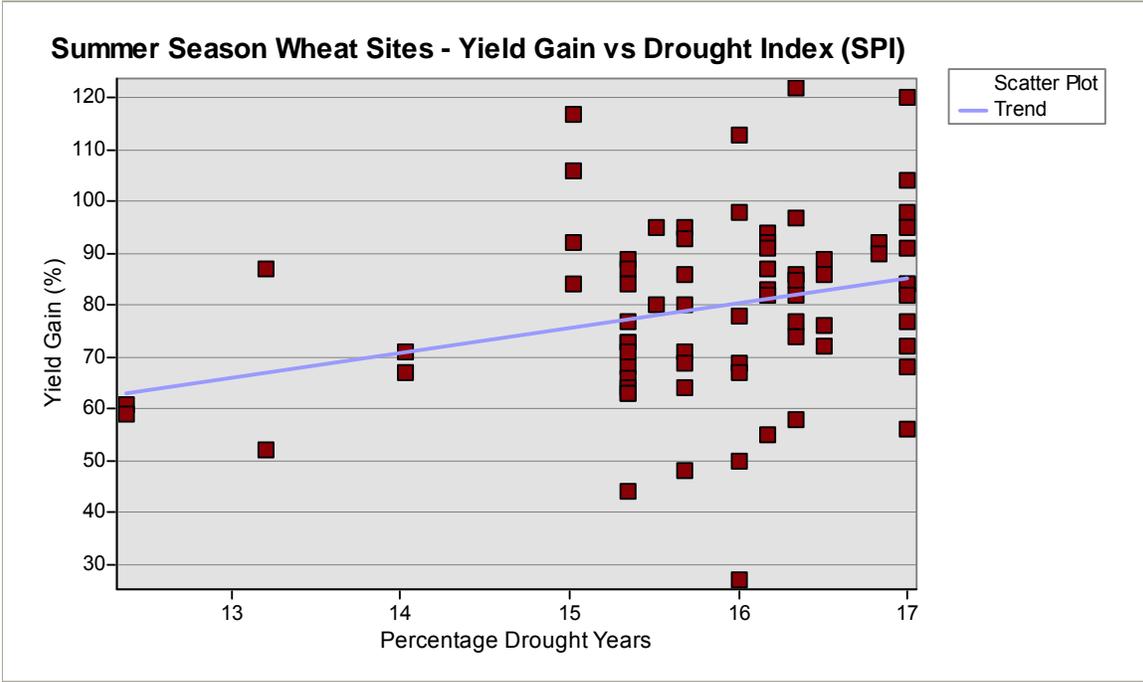


Figura 13. Zonas de idoneidad de la FAO para trigo de secano y con riego (alto rendimiento)

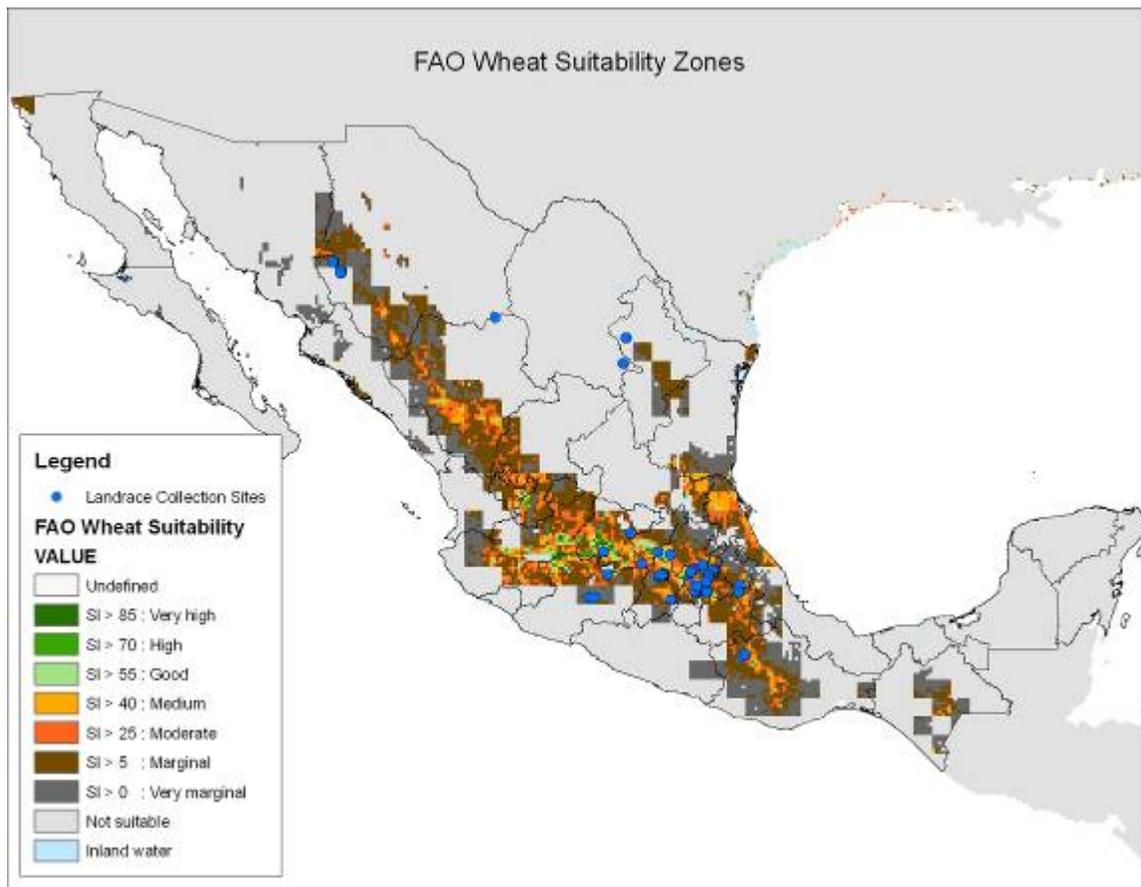


Figura 14. Idoneidad para trigo de secano basada en los parámetros de ECOCROP

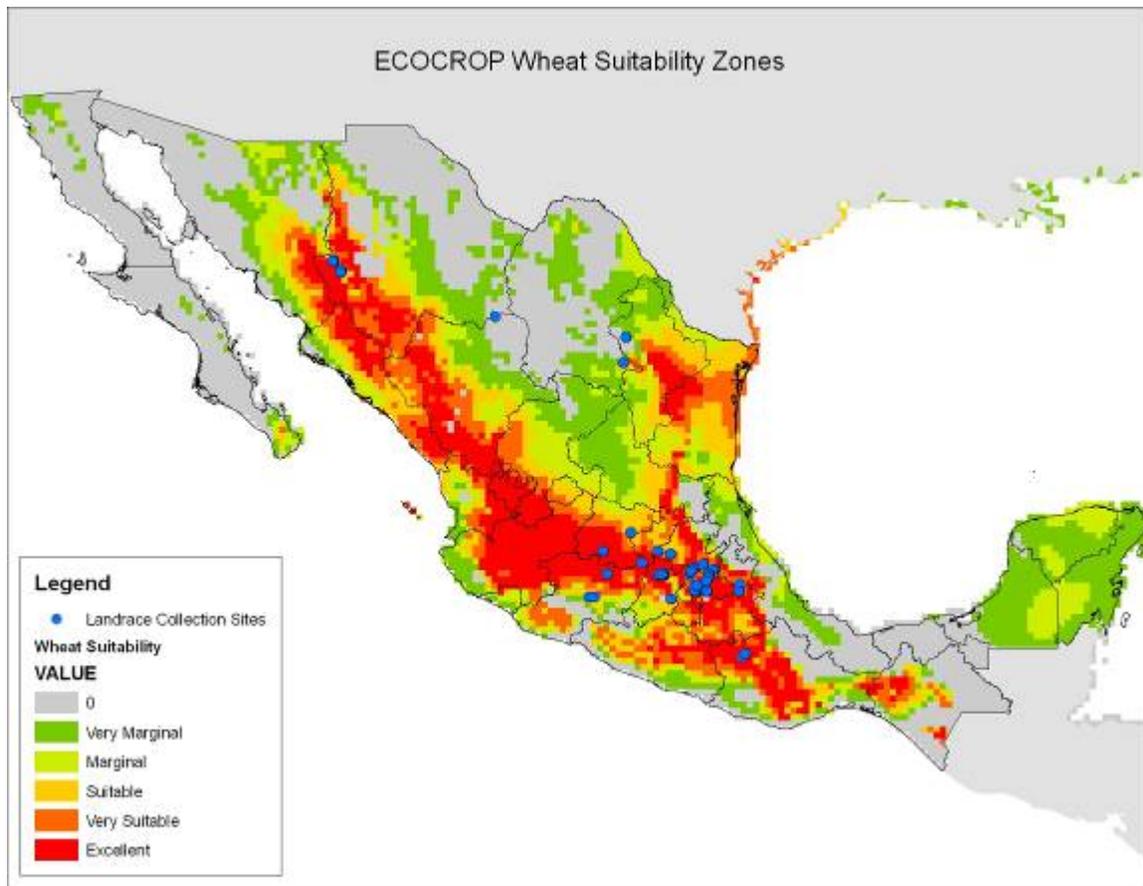


Figura 15. Mega-ambientes de trigo del CIMMYT – idoneidad climática para trigo de ciclo de invierno (ME1) y de ciclo de verano (ME2a)

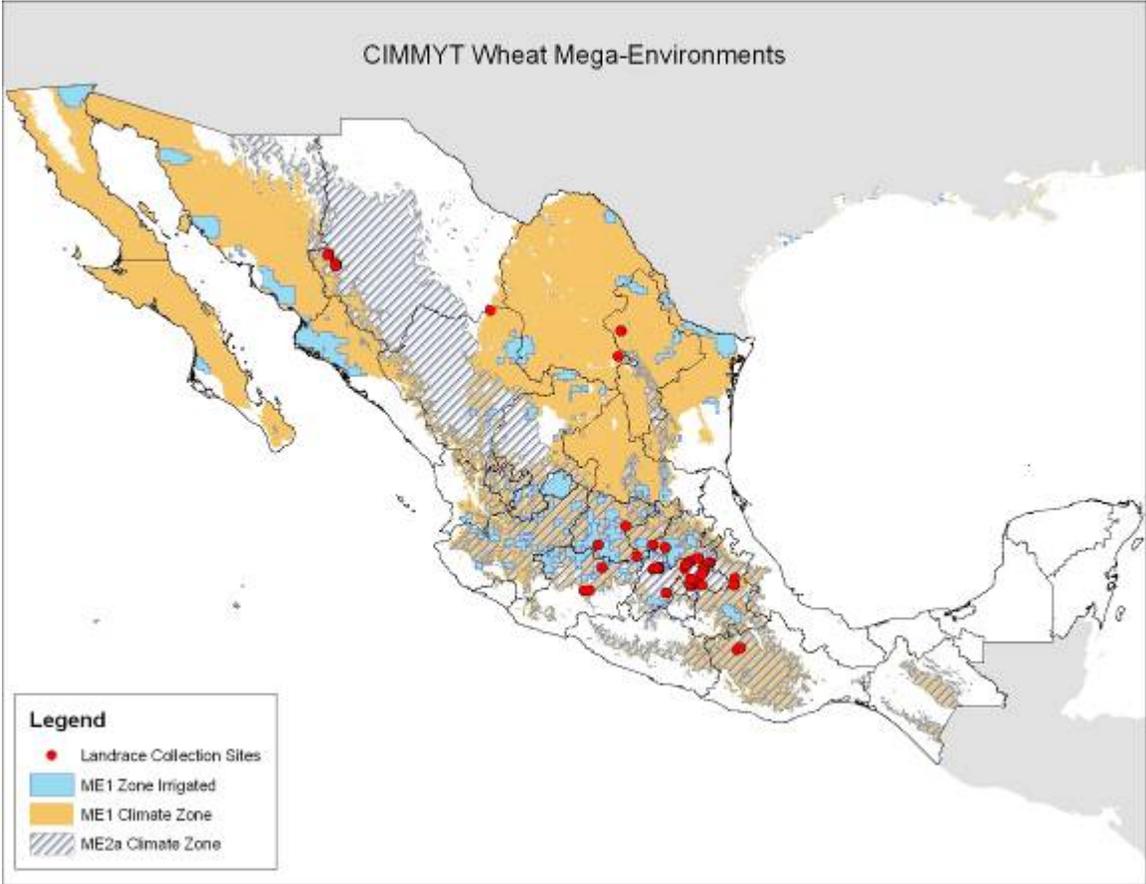


Figura 16. Zonas con probabilidad de sequía y pobreza rural para trigo de ciclo de verano

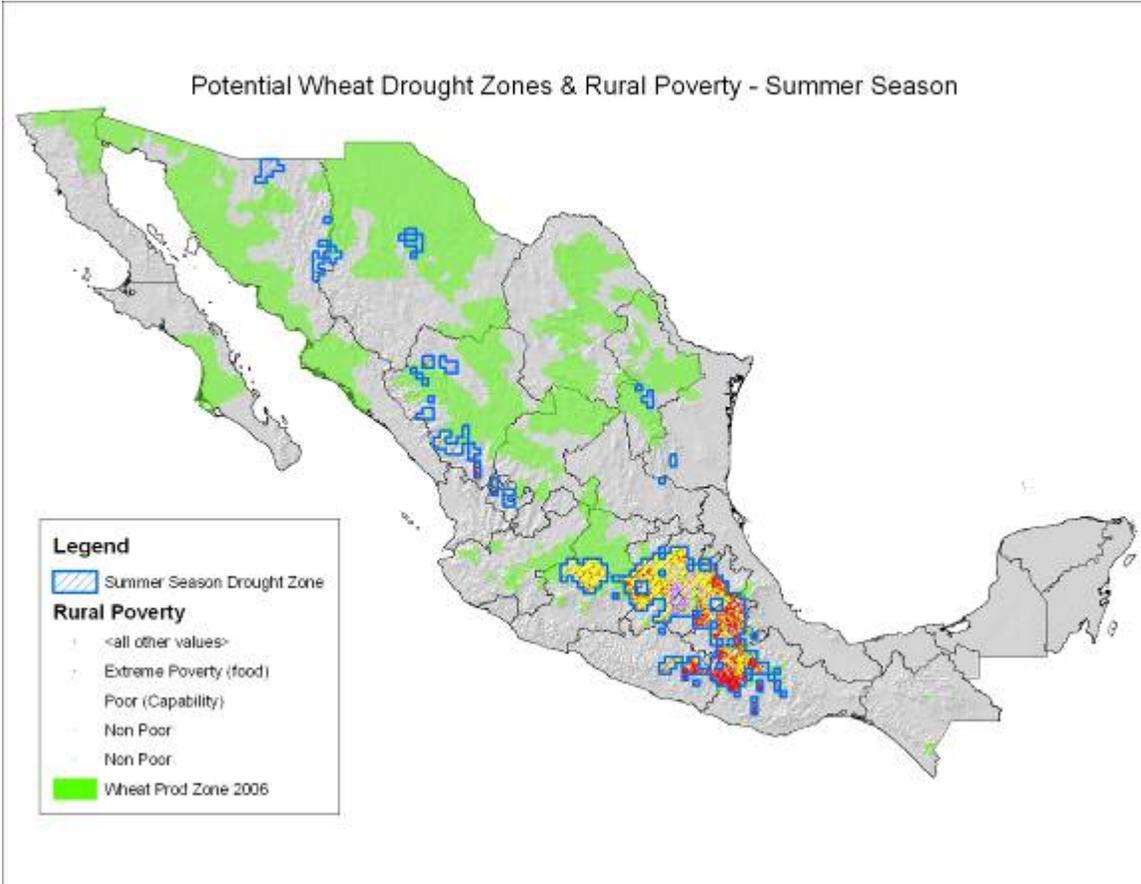
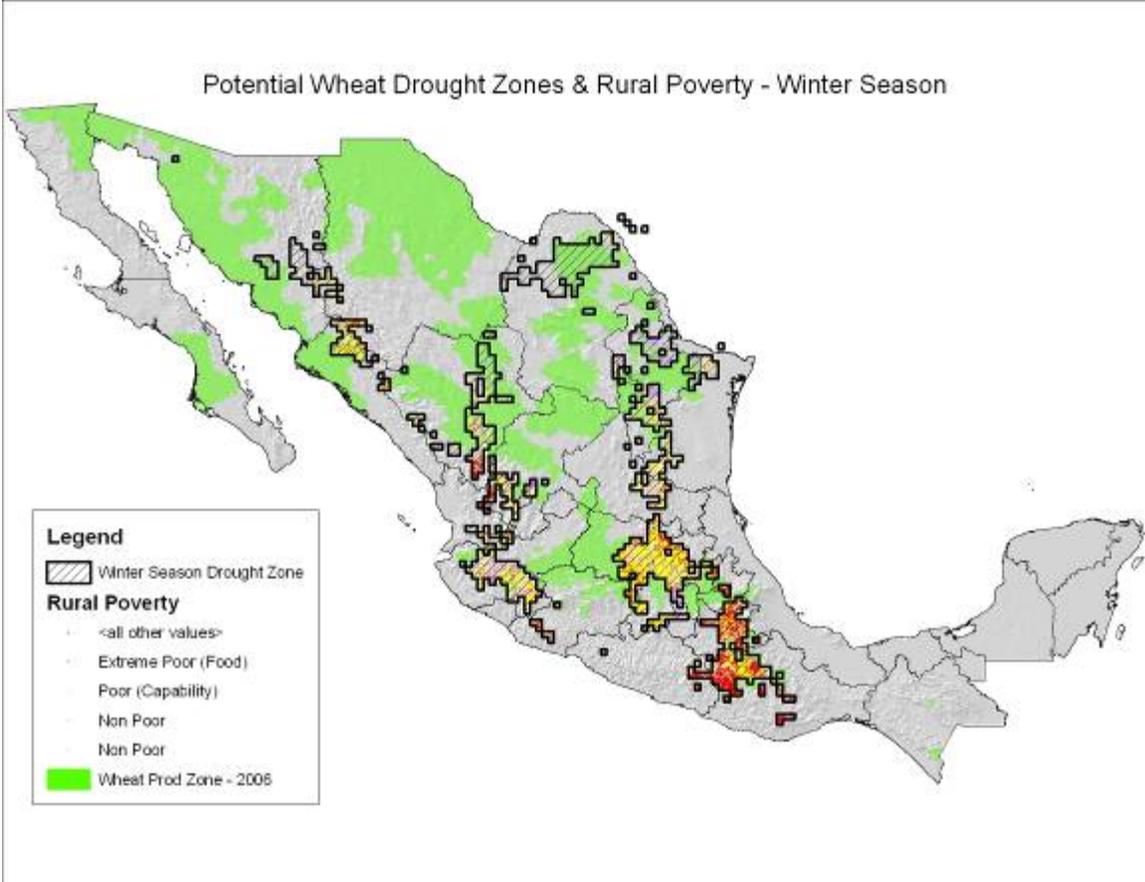


Figura 17. Zonas con probabilidad de sequía y pobreza rural para trigo de ciclo de invierno



Apéndice 1. Rendimiento de grano de los ensayos Sel estrés, Sequía I, II y Calor.

A. Rendimiento de grano obtenido en Sel estrés cultivado en condiciones de sequía y en condiciones de calor durante el ciclo 05.

Gen	Sequía (t/ha)	Calor (t/ha)									
1	0.29	1.79	51	0.93	2.43	101	0.63	2.35	151	1.01	1.94
2	0.80	1.31	52	1.56	2.66	102	1.42	1.98	152	1.99	1.94
3	2.30	3.15	53	1.49	3.71	103	1.09	2.93	153	0.96	1.23
4	0.14	2.09	54	2.04	2.11	104	0.51	1.78	154	1.27	1.19
5	1.72	2.63	55	1.52	1.93	105	1.55	2.37	155	1.37	2.71
6	0.91	1.98	56	1.28	2.05	106	0.83	2.80	156	1.13	2.15
7	1.09	2.58	57	1.14	1.59	107	1.64	1.89	157	0.85	2.11
8	0.59	2.98	58	0.88	1.91	108	0.96	2.54	158	1.07	2.43
9	1.89	2.87	59	3.05	2.26	109	0.86	3.04	159	0.65	2.58
10	0.75	2.78	60	1.21	2.06	110	1.96	2.50	160	0.88	3.13
11	0.59	2.40	61	0.50	1.69	111	2.65	1.99	161	0.63	2.08
12	1.41	2.44	62	0.94	2.81	112	1.57	2.30	162	1.20	2.27
13	0.78	2.94	63	0.99	2.71	113	1.16	2.67	163	0.49	2.54
14	0.81	2.98	64	0.58	2.77	114	1.25	3.09	164	0.78	3.52
15	0.77	2.65	65	1.77	2.18	115	1.30	2.63	165	1.00	1.96
16	1.73	2.64	66	1.69	2.56	116	0.83	2.95	166	1.31	2.17
17	0.49	2.27	67	1.54	2.66	117	2.98	2.48	167	1.50	2.29
18	1.14	2.64	68	1.54	1.90	118	0.95	2.69	168	1.75	1.88
19	1.15	3.20	69	0.46	2.69	119	1.28	2.26	169	1.45	1.79
20	0.85	2.43	70	0.82	2.28	120	0.53	1.30	170	1.29	2.49
21	1.19	2.31	71	1.32	3.44	121	1.50	2.55	171	1.48	2.96
22	1.07	2.69	72	1.20	2.98	122	1.35	2.88	172	1.25	1.74
23	2.02	2.89	73	1.12	2.40	123	2.39	3.66	173	2.20	3.98
24	0.97	3.78	74	2.42	2.39	124	0.52	3.28	174	1.21	2.91
25	1.41	2.41	75	1.09	2.05	125	1.86	1.66	175	2.44	2.28
26	0.88	2.69	76	2.44	1.82	126	0.82	1.80	176	1.69	2.87
27	0.91	2.77	77	0.91	1.31	127	1.70	1.84	177	1.09	2.75
28	0.96	2.87	78	1.06	2.38	128	1.07	2.33	178	1.96	2.16
29	0.51	2.24	79	2.28	3.01	129	0.95	2.79	179	1.83	2.05
30	0.63	2.74	80	0.53	2.08	130	1.14	1.51	180	1.37	2.73
31	1.06	2.46	81	0.77	1.43	131	2.46	2.94	181	1.57	2.70
32	0.33	2.34	82	1.50	2.83	132	1.33	2.55	182	2.54	2.50
33	1.66	1.66	83	1.77	1.73	133	0.74	1.88	183	1.24	2.66
34	1.79	2.10	84	1.83	2.85	134	1.26	1.60	184	1.17	3.16
35	0.82	2.85	85	1.57	2.18	135	1.26	2.87	185	2.79	2.38
36	1.54	2.58	86	0.81	2.28	136	1.87	3.35	186	1.43	2.78
37	0.81	2.12	87	1.22	2.48	137	1.27	2.48	187	1.23	2.46
38	1.59	2.28	88	1.55	2.44	138	2.45	2.06	188	0.69	2.68
39	1.05	2.50	89	1.61	1.88	139	1.91	2.21	189	0.67	2.78
40	1.10	2.98	90	0.80	0.99	140	0.82	2.64	190	1.56	2.51
41	1.29	2.69	91	1.17	1.71	141	1.40	2.59	191	0.80	2.69
42	0.43	2.34	92	1.84	1.83	142	1.56	1.52	192	1.31	3.18
43	1.33	2.32	93	0.97	2.26	143	1.83	2.79	193	0.66	1.83
44	1.27	2.96	94	1.53	2.04	144	0.94	2.79	194	0.51	2.32
45	0.86	2.13	95	1.02	2.28	145	1.32	2.22	195	2.29	1.78
46	1.19	2.24	96	2.15	2.52	146	0.88	2.56	196	0.35	3.86
47	1.37	2.01	97	1.78	1.68	147	0.98	2.58	197	3.83	2.69
48	0.90	2.84	98	0.81	2.21	148	1.94	2.87	198	0.84	2.89
49	1.20	2.14	99	1.15	1.41	149	0.90	2.79	199	1.94	2.53
50	1.41	1.13	100	0.60	1.62	150	2.58	1.99	200	1.16	2.93

Continúa Tabla A...

Gen	Sequía (t/ha)	Calor (t/ha)									
201	1.86	2.38	251	0.91	0.88	301	1.49	3.74	351	1.56	1.31
202	0.53	2.68	252	1.54	3.40	302	0.62	3.42	352	1.51	2.83
203	0.92	1.63	253	1.39	2.74	303	0.75	3.77	353	1.80	2.78
204	0.50	2.54	254	1.03	2.83	304	1.83	2.67	354	0.55	2.78
205	0.70	2.06	255	0.23	1.76	305	0.57	3.42	355	1.45	2.68
206	1.74	2.32	256	0.72	3.16	306	1.69	3.05	356	1.29	3.13
207	1.07	2.69	257	1.10	2.08	307	0.68	2.81	357	1.76	3.13
208	0.64	2.93	258	0.99	1.98	308	1.31	1.68	358	1.86	3.29
209	1.23	2.56	259	1.81	2.89	309	0.63	3.09	359	0.65	3.56
210	1.25	2.64	260	1.91	2.03	310	2.15	3.63	360	1.80	3.04
211	1.23	2.48	261	1.30	2.43	311	1.34	3.11	361	0.92	3.09
212	2.16	3.25	262	0.61	1.83	312	1.35	2.73	362	2.25	3.01
213	1.00	1.29	263	0.18	1.63	313	2.57	2.34	363	2.11	3.07
214	0.80	1.51	264	0.37	1.85	314	2.13	3.83	364	1.02	2.94
215	0.50	2.30	265	0.85	1.24	315	2.32	2.91	365	2.12	2.34
216	0.37	2.49	266	1.39	1.61	316	0.26	2.15	366	1.61	1.84
217	0.89	1.77	267	0.49	2.89	317	1.77	1.64	367	1.90	3.34
218	1.10	2.66	268	1.50	2.96	318	1.17	2.81	368	1.11	2.51
219	1.08	2.99	269	0.96	1.96	319	1.27	2.56	369	0.30	3.08
220	0.62	1.65	270	1.32	1.68	320	0.70	2.52	370	0.97	3.31
221	1.73	3.06	271	0.71	1.35	321	0.93	2.94	371	0.39	1.81
222	2.48	2.66	272	1.15	2.64	322	1.18	3.08	372	0.43	1.93
223	2.12	4.27	273	1.29	3.09	323	0.80	2.82	373	0.20	1.12
224	1.67	2.63	274	1.43	1.91	324	1.73	2.74	374	1.55	2.47
225	1.02	1.93	275	0.94	3.03	325	1.53	3.91	375	1.58	2.87
226	1.27	2.67	276	1.07	2.29	326	1.14	2.26	376	1.39	1.88
227	1.13	3.10	277	0.54	2.85	327	0.94	2.63	377	1.64	2.51
228	2.05	2.33	278	0.65	2.66	328	0.69	2.34	378	0.53	2.86
229	1.00	2.54	279	1.02	2.71	329	3.06	3.03	379	1.56	3.00
230	0.89	2.26	280	2.04	2.36	330	2.76	3.63	380	1.45	2.75
231	0.51	1.72	281	1.40	2.90	331	2.60	2.21	381	1.10	2.54
232	0.82	2.41	282	0.95	2.64	332	0.91	2.43	382	0.94	3.02
233	1.28	2.91	283	0.73	3.15	333	2.12	2.75	383	2.16	3.01
234	0.94	1.98	284	0.55	2.71	334	2.57	2.54	384	0.79	3.21
235	1.59	1.82	285	0.94	2.76	335	1.56	2.43	385	1.19	3.51
236	0.73	2.06	286	1.82	3.74	336	1.15	2.23	386	0.95	2.49
237	1.47	2.56	287	2.97	2.28	337	0.35	2.40	387	1.39	2.16
238	0.67	2.49	288	1.04	1.64	338	1.33	2.56	388	0.67	1.86
239	0.90	2.36	289	1.31	2.41	339	0.39	2.33	389	1.77	2.93
240	0.97	1.51	290	0.69	2.95	340	2.51	2.11	390	1.80	2.91
241	1.35	2.38	291	1.42	2.12	341	1.67	2.97	391	1.74	3.79
242	0.87	2.46	292	1.67	2.39	342	0.37	2.23	392	0.89	3.64
243	1.16	1.56	293	0.13	0.76	343	0.87	2.73	393	0.60	2.70
244	1.51	1.56	294	0.57	2.01	344	0.77	2.26	394	2.78	3.28
245	1.56	1.60	295	0.68	2.06	345	2.44	1.77	395	1.16	2.66
246	1.60	2.03	296	0.85	3.81	346	1.59	2.58	T1	0.80	2.38
247	0.90	3.94	297	0.79	3.88	347	0.98	2.78	T2	0.61	3.08
248	1.62	1.63	298	1.38	1.63	348	0.89	2.99	T3	0.46	2.82
249	2.10	0.99	299	1.69	2.01	349	1.45	2.97	T4	0.94	2.36
250	1.05	1.83	300	1.44	2.58	350	1.58	3.24	T5	1.97	2.64

Sequía: Media= 1.26 t/ha, CV=31t/ha, SLD (5%)=78.2t/ha; Calor: Media=248t/ha, CV=20.7t/ha, SLD (5%)=109t/ha

Gen: Genotipo; T1: SeriM82; T2: Kamabara1; T3: RayonF89; T4: Weebill; T5: Berkut; CV: Coeficiente de variabilidad;

SLD: Distancia mínima significativa.

B. Rendimiento de grano del ensayo Sequía I con resistencia a la sequía y cultivada bajo condiciones de sequía, calor y riego durante los ciclos 05 y 05

Gen	Y05-06			Y06-07		
	Sequía (t/ha)	Calor (t/ha)	Riego (t/ha)	Sequía (t/ha)	Calor (t/ha)	Riego (t/ha)
1	94.0	237.0	277.0	96.6	256.5	369.7
2	137.5	275.0	666.0	139.0	333.0	367.2
3	179.4	337.0	598.0	157.0	228.5	444.1
4	100.0	323.5	665.0	115.6	290.5	510.9
5	156.8	292.0	630.5	119.6	356.0	579.2
6	122.7	299.0	522.0	83.6	262.0	395.3
7	126.1	273.5	458.5	97.9	352.0	515.7
8	196.8	396.5	611.0	142.9	336.0	463.1
9	155.4	338.0	429.5	117.7	261.5	412.4
10	205.2	272.5	534.0	159.5	255.0	402.7
11	142.6	271.0	560.5	118.1	240.5	389.6
12	112.2	284.5	425.0	57.4	354.0	508.0
13	164.7	339.5	579.5	74.3	303.0	328.4
14	179.3	306.0	599.0	185.5	304.0	482.2
15	90.6	231.0	352.0	105.5	271.5	241.5
16	160.5	282.0	436.5	85.4	291.0	427.4
17	142.6	310.5	468.0	84.6	270.0	330.8
18	128.2	321.0	469.0	63.6	268.5	382.8
19	111.2	311.0	481.5	86.7	304.0	429.9
20	147.5	306.5	360.5	69.7	277.5	401.8
21	133.3	267.0	391.0	98.8	286.0	335.3
22	116.9	318.0	459.0	74.1	262.0	442.6
23	185.5	305.0	506.5	112.6	234.0	295.1
24	191.9	273.5	450.5	63.0	296.0	275.0
25	142.8	290.5	448.5	84.2	294.5	425.1
26	160.0	303.0	476.0	101.9	323.0	228.1
27	131.2	263.0	430.5	67.7	275.0	285.0
28	107.8	314.0	519.0	96.7	297.0	400.0
29	82.7	299.5	442.5	70.7	318.5	410.9
T	164.7	323.5	778.5	114.3	342.5	655.2
Media	142	299	501	101	291	404.50
CV	14.8	7.07	12.7	15.8	14.1	11.98
SLD(5%)	48.9	42.3	127	38.3	87.1	102.44

T: Kamabara1; CV: Coeficiente de variabilidad; SLD: Distancia mínima significativa

C. Rendimiento de grano de la población Sequía II con resistencia a la sequía y cultivada bajo condiciones de sequía, calor y riego durante el ciclo 05

Gen	Sequía (t/ha)	Calor (t/ha)	Riego (t/ha)
1	133.7	326.9	503.8
2	197.2	288.2	422.9
3	204.8	247.5	496.1
4	169.6	268.8	488.2
5	141.7	277.3	488.9
6	194.3	303.1	493.7
7	118.2	214.1	341.3
8	139.9	307.4	342.4
9	160.7	179.7	233.6
10	186.7	215.2	438.3
11	84.9	173.2	341.1
12	160.9	114.4	253.5
13	149.1	198.1	402.3
14	172.4	310.3	483.5
15	145.4	203.3	500.7
16	132.5	301.3	439.4
17	170.0	366.5	475.3
18	130.5	232.3	413.5
19	149.4	308.4	481.3
20	139.5	228.9	439.0
21	101.7	293.7	324.9
22	122.2	274.9	379.8
23	146.7	232.2	384.0
24	145.9	300.6	327.6
25	107.7	263.3	395.0
26	129.4	314.3	503.9
27	114.4	273.4	456.3
28	103.3	236.3	441.0
29	94.0	246.6	422.6
T	221.3	371.4	638.3
Media	146	262	425
CV	16.6	14.4	11.5
SLD(5%)	52.3	83.5	108.5

T: Sokoll

D. Rendimiento de grano del ensayo Calor cultivado bajo condiciones de calor y riego durante el ciclo 05

Gen	Calor (t/ha)	Riego (t/ha)
1	315.5	469.6
2	266.5	289.1
3	238.0	492.7
4	296.5	355.6
5	306.0	395.4
6	283.5	369.3
7	255.5	434.4
8	192.5	411.9
9	274.0	418.8
10	210.0	314.6
11	351.0	544.7
12	294.0	531.2
13	169.0	484.3
14	197.5	471.7
15	273.5	420.5
16	217.5	351.6
17	216.5	374.6
18	264.0	341.7
19	260.5	449.7
20	243.5	449.4
21	284.5	423.0
22	259.5	432.5
23	244.5	335.6
24	244.0	316.1
25	278.5	344.8
26	179.5	413.8
27	242.0	364.3
28	232.5	459.4
29	184.5	488.4
T	373.5	648.8
Media	255	420
CV	20.5	10.7
SLD(5%)	104	100

T: Sokoll

Apéndice 2. Selección de genotipos con resistencia al estrés por sequía y por calor.

E. Población de genotipos del ensayo Sel estrés sembrado en 05 en sequía y calor

Gen	Nombre de la cruza	Gen	Nombre de la cruza
1	MICH89.6.17	51	MASSIV/V15.89C
2	MICH89.9.11	52	MASSIV/V15.89C
3	COAH90.25.22	53	MASSIV/PPR47.89C
4	COAH90.26.31	54	MASSIV/PPR47.89C
5	COAH90.27.12	55	MASSIV/PPR47.89C
6	COAH90.27.32	56	MASSIV/PPR47.89C
7	NL90.11.1.7	57	MASSIV/PPR47.89C
8	NL90.11.1.15	58	MASSIV/PPR47.89C
9	NL90.11.1.23	59	MASSIV/PPR47.89C
10	NL90.11.1.32	60	MASSIV/PPR47.89C
11	NL90.11.1.36	61	BEZ/SLM
12	NL90.11.1.37	62	KVZ/PPR47.89C
13	NL90.11.1.45	63	KVZ/TEMPORALERA M 87
14	NL90.11.1.53	64	KVZ/TEMPORALERA M 87
15	NL90.11.1.55	65	DARIZA/MARTE
16	NL90.12.2.3	66	DARIZA/MARTE
17	NL90.12.2.14	67	DARIZA/MARTE
18	NL90.12.2.16	68	DARIZA/MARTE
19	NL90.12.2.17	69	DARIZA/MARTE
20	NL90.12.2.24	70	DIALOG/TEMPORALERA M 87
21	NL90.12.2.28	71	DIALOG/SLM
22	NL90.13.3.10	72	OLIMPIA2/SLM
23	NL90.14.1.7	73	OLIMPIA2/SLM
24	NL90.14.1.8	74	OLIMPIA2/SLM
25	NL90.14.1.11	75	PAVLOVKA/V15.89C
26	NL90.14.1.33	76	PAVLOVKA/V15.89C
27	NL90.14.1.51	77	PAVLOVKA/V15.89C
28	NL90.14.1.66	78	PAVLOVKA/V15.89C
29	NL90.14.1.67	79	PAVLOVKA/V15.89C
30	NL90.14.1.70	80	OLIMPIA/L1-13.89C
31	NL90.14.1.80	81	OLIMPIA/L1-13.89C
32	NL90.14.1.82	82	KRASNODARSKAYA 6/MARTE
33	NL90.15.2.3	83	ZERNOGRADKA6/SLM
34	NL90.15.2.4	84	ZERNOGRADKA6/MARTE
35	NL90.15.2.6	85	ZERNOGRADKA6/MARTE
36	NL90.15.2.11	86	UROZHAYNAYA/TEMPORALERA M 87
37	NL90.15.2.12	87	UROZHAYNAYA/TEMPORALERA M 87
38	NL90.15.2.16	88	UROZHAYNAYA/TEMPORALERA M 87
39	NL90.15.2.17	89	UROZHAYNAYA/TEMPORALERA M 87
40	NL90.15.2.19	90	LAN/CENTELLA
41	NL90.15.2.38	91	ZIRKA/V15.89C
42	NL90.15.2.44	92	ZIRKA/V15.89C
43	NL90.15.2.50	93	ZIRKA/V15.89C
44	NL90.15.2.57	94	ZIRKA/V15.89C
45	NL90.15.2.61	95	KURG.1(3)/M521//1R V308.89C
46	MASSIV/V15.89C	96	KURG.1(3)/M521//2R V402.89C
47	MASSIV/V15.89C	97	KURG.1(3)/M521//2R V402.89C
48	MASSIV/V15.89C	98	KURG.1(3)/M521//V4.89C
49	MASSIV/V15.89C	99	LO/AD.11//SLM
50	MASSIV/V15.89C	100	LO/AD.11//SLM

Continúa tabla E...

Gen	Nombre de la craza	Gen	Nombre de la craza
101	SAITAMA 27//SLM	151	HGO94.1.16
102	TOB/MUT2//SLM	152	HGO94.1.36
103	PK.SS//SLM	153	HGO94.1.38
104	PK.SS/MARTE	154	HGO94.2.9
105	BJ67/7C//SLM	155	HGO94.2.19
106	BJ67/7C//SLM	156	HGO94.2.20
107	7C//SLM	157	HGO94.4.16
108	7C//SLM	158	HGO94.5.32
109	LUT134/P670//SLM	159	HGO94.5.45
110	LUT134/P670//SLM	160	HGO94.6.1.6
111	LUT134/P670//SLM	161	HGO94.6.1.17
112	HBOCUSUPEKAL 67//AD.11//METEORO	162	HGO94.6.1.24
113	PRIAMURSKAYA 93/2*TERREMOTO	163	HGO94.7.1.11
114	PRIAMURSKAYA 93/2*TERREMOTO	164	HGO94.7.1.12
115	PRIAMURSKAYA 93/2*TERREMOTO	165	HGO94.7.1.20
116	PRIAMURSKAYA 93/2*TERREMOTO	166	HGO94.7.1.26
117	PRIAMURSKAYA 93/2*TERREMOTO	167	HGO94.8.13
118	PRIAMURSKAYA 93/2*TERREMOTO	168	HGO94.8.17
119	PRIAMURSKAYA 93/METEORO//STRO	169	HGO94.8.38
120	PRIAMURSKAYA 93/METEORO//STRO	170	HGO94.8.40
121	MITSHURINSKAYA RANNIAYA/2*COSMOS	171	HGO94.8.51
122	LNG/SAVA//2*ROMUMA M 82	172	HGO94.8.54
123	ERSHOVSKAYA 32/2*MARTE	173	HGO94.8.59
124	ERSHOVSKAYA 32/MARTE//SLM	174	HGO94.8.64
125	L670/LUT134	175	HGO94.8.70
126	P862.1/MIRONOVSKAYA 4	176	HGO94.8.75
127	PSN2/MIRONOVSKAYA 4	177	HGO94.8.80
128	P378/ZHNITSA	178	HGO94.8.83
129	LOC92.3.4	179	HGO94.8.86
130	PBL94.12.9.3	180	HGO94.8.90
131	PBL94.12.12.2	181	HGO94.8.91
132	PBL94.12.17.1	182	HGO94.8.93
133	PBL94.14.6	183	HGO94.8.110
134	PBL94.14.18	184	HGO94.8.116
135	PBL94.14.20	185	HGO94.8.118
136	PBL94.14.30	186	HGO94.8.123
137	PBL94.14.39	187	HGO94.8.124
138	PBL94.14.50	188	HGO94.9.1.3
139	PBL94.14.58	189	HGO94.9.1.5
140	PBL94.14.59	190	HGO94.9.1.8
141	PBL94.14.60	191	HGO94.9.1.17
142	QRO94.1.3	192	HGO94.9.1.19
143	QRO94.2.7	193	HGO94.9.1.20
144	QRO94.2.13	194	HGO94.9.1.23
145	QRO94.2.17	195	HGO94.9.1.25
146	QRO94.2.42	196	HGO94.9.1.27
147	QRO94.2.44	197	HGO94.9.1.37
148	QRO94.2.48	198	HGO94.9.1.38
149	QRO94.2.73	199	HGO94.9.1.45
150	QRO94.2.107	200	HGO94.9.1.46

Continúa tabla E...

Gen	Nombre de la craza	Gen	Nombre de la craza
201	HGO94.9.1.52	251	MEX94.22.23
202	HGO94.9.1.54	252	MEX94.22.42
203	HGO94.9.1.61	253	MEX94.22.71
204	HGO94.9.2.10	254	MEX94.22.83
205	HGO94.9.2.11	255	MEX94.22.84
206	HGO94.9.2.17	256	MEX94.22.87
207	HGO94.9.2.18	257	MEX94.22.95
208	HGO94.9.2.19	258	MEX94.22.97
209	HGO94.9.2.24	259	MEX94.22.105
210	HGO94.9.2.25	260	MEX94.23.3
211	HGO94.9.2.29	261	MEX94.23.32
212	HGO94.9.2.31	262	MEX94.24.15
213	HGO94.9.2.44	263	MEX94.24.35
214	HGO94.10.5	264	MEX94.25.55
215	HGO94.11.1.135	265	MEX94.25.69
216	HGO94.11.2.35	266	MEX94.25.84
217	MEX94.1.5	267	PUB94.15.1.12
218	MEX94.1.7	268	PUB94.15.1.14
219	MEX94.2.4	269	PUB94.16.29
220	MEX94.2.10	270	PUB94.16.44
221	MEX94.2.17	271	PUB94.16.50
222	MEX94.2.18	272	PUB94.16.53
223	MEX94.2.19	273	PUB94.16.151
224	MEX94.2.20	274	PUB94.16.165
225	MEX94.2.34	275	PUB94.16.192
226	MEX94.2.38	276	MEX94.26.123
227	MEX94.2.39	277	MEX94.27.1.20
228	MEX94.2.40	278	MEX94.27.1.87
229	MEX94.7.38	279	GTO95.1.1
230	MEX94.11.99	280	GTO95.1.2
231	MEX94.15.31	281	GTO95.1.6
232	MEX94.15.34	282	GTO95.1.15
233	MEX94.15.37	283	GTO95.1.16
234	MEX94.15.40	284	GTO95.1.21
235	MEX94.15.42	285	GTO95.1.22
236	MEX94.15.47	286	GTO95.1.26
237	MEX94.19.56	287	GTO95.1.27
238	MEX94.19.90	288	GTO95.1.33
239	MEX94.19.92	289	CHIH95.1.10
240	MEX94.19.104	290	CHIH95.2.4
241	MEX94.19.119	291	CHIH95.2.6
242	MEX94.21.1	292	CHIH95.2.7
243	MEX94.21.6	293	CHIH95.2.19
244	MEX94.21.14	294	CHIH95.2.32
245	MEX94.21.16	295	CHIH95.2.39
246	MEX94.21.18	296	CHIH95.2.46
247	MEX94.21.27	297	CHIH95.2.49
248	MEX94.21.31	298	CHIH95.2.55
249	MEX94.21.33	299	CHIH95.2.58
250	MEX94.22.21	300	CHIH95.2.60

Continúa tabla E...

Gen	Nombre de la craza	Gen	Nombre de la craza
301	CHIH95.3.27	351	CHIH95.7.10
302	CHIH95.3.28	352	CHIH95.7.15
303	CHIH95.3.29	353	CHIH95.7.16
304	CHIH95.3.31	354	CHIH95.7.17
305	CHIH95.3.33	355	CHIH95.8
306	CHIH95.3.37	356	CHIH95.8.4
307	CHIH95.3.38	357	CHIH95.8.6
308	CHIH95.3.40	358	CHIH95.8.8
309	CHIH95.3.42	359	CHIH95.8.9
310	CHIH95.3.43	360	CHIH95.8.11
311	CHIH95.3.45	361	CHIH95.8.12
312	CHIH95.3.46	362	CHIH95.8.14
313	CHIH95.3.47	363	CHIH95.8.15
314	CHIH95.3.52	364	CHIH95.8.16
315	CHIH95.3.53	365	CHIH95.8.20
316	CHIH95.3.65	366	CHIH95.8.23
317	CHIH95.4.2	367	CHIH95.8.24
318	CHIH95.4.3	368	CHIH95.8.29
319	CHIH95.4.5	369	CHIH95.8.31
320	CHIH95.4.6	370	CHIH95.8.32
321	CHIH95.4.9	371	CHIH95.9.3
322	CHIH95.4.12	372	CHIH95.9.30
323	CHIH95.4.13	373	DGO95.1.11
324	CHIH95.4.14	374	OAX93.10.1
325	CHIH95.4.16	375	OAX93.10.1
326	CHIH95.4.17	376	OAX93.10.1
327	CHIH95.4.18	377	OAX93.10.1
328	CHIH95.4.19	378	OAX93.10.1
329	CHIH95.4.22	379	OAX93.10.1
330	CHIH95.4.24	380	OAX93.10.1
331	CHIH95.5.3	381	OAX93.10.1
332	CHIH95.5.4	382	OAX93.10.1
333	CHIH95.5.5	383	OAX93.10.1
334	CHIH95.5.9	384	OAX93.10.1
335	CHIH95.5.11	385	OAX93.10.1
336	CHIH95.5.12	386	OAX93.10.1
337	CHIH95.5.14	387	OAX93.10.1
338	CHIH95.5.15	388	OAX93.10.1
339	CHIH95.5.21	389	OAX93.10.1
340	CHIH95.5.22	390	OAX93.10.1
341	CHIH95.5.27	391	OAX93.10.1
342	CHIH95.5.29	392	OAX93.10.1
343	CHIH95.5.30	393	OAX93.10.1
344	CHIH95.5.31	394	OAX93.10.1
345	CHIH95.5.32	395	OAX93.10.1
346	CHIH95.5.33	396	SERI M 82
347	CHIH95.5.37	397	KAMBARA1
348	CHIH95.7.2	398	RAYON F 89
349	CHIH95.7.4	399	WEEBILL1
350	CHIH95.7.9	400	BERKUT

* En estas selecciones han sido incluidos algunos landraces resistentes al estrés hídrico procedentes de diferentes partes del mundo con la finalidad de usarlos como referencia en el análisis de los criollos mexicanos.

F. Selecciones Sequía I y Sequía II con genotipos resistentes a sequía y sembradas durante 2005-2007 y 206-2007 respectivamente.

Gen	Landraces I	Landraces II
	Nombre de la cruza	Nombre de la cruza
1	COAH90.26.31	COAH90.25.22
2	MASSIV/PPR47.89C	MASSIV/PPR47.89C
3	OLIMPIA2/SLM	OLIMPIA2/SLM
4	PAVLOVKA/V15.89C	PAVLOVKA/V15.89C
5	P378/ZHNITSA	LUT134/P670//SLM
6	HGO94.2.19	PRIAMURSKAYA 93/2*TERREMOTO
7	HGO94.9.1.5	ERSHOVSKAYA 32/2*MARTE
8	HGO94.9.1.52	PBL94.12.12.2
9	HGO94.9.1.54	QRO94.2.107
10	MEX94.2.38	HGO94.8.59
11	MEX94.23.32	HGO94.8.70
12	PUB94.15.1.12	HGO94.8.93
13	GTO95.1.27	HGO94.8.118
14	CHIH95.1.10	HGO94.9.1.37
15	CHIH95.2.6	HGO94.9.2.31
16	CHIH95.3.28	MEX94.2.18
17	CHIH95.3.37	MEX94.2.19
18	CHIH95.3.38	GTO95.1.27
19	CHIH95.3.52	CHIH95.3.43
20	CHIH95.4.6	CHIH95.3.47
21	CHIH95.4.12	CHIH95.3.52
22	CHIH95.4.19	CHIH95.3.53
23	CHIH95.5.15	CHIH95.4.22
24	CHIH95.5.29	CHIH95.4.24
25	CHIH95.5.33	CHIH95.5.3
26	CHIH95.7.4	CHIH95.5.9
27	CHIH95.8.8	CHIH95.5.22
28	OAX93.10.1	OAX93.10.1
29	OAX93.10.1	OAX93.10.1
30	KAMBARA1(TACUPETO)	SOKOLL

G. Selección de genotipos con resistencia al calor pertenecientes al ensayo Calor y
sembrado durante 05.

Gen	Nombre de la cruza
1	COAH90.25.22
2	NL90.14.1.8
3	MASSIV/PPR47.89C
4	DIALOG/SLM
5	ERSHOVSKAYA 32/2*MARTE
6	PBL94.14.30
7	HGO94.7.1.12
8	HGO94.8.59
9	HGO94.9.1.27
10	HGO94.9.2.31
11	MEX94.2.19
12	MEX94.21.27
13	MEX94.22.42
14	GTO95.1.26
15	CHIH95.2.46
16	CHIH95.2.49
17	CHIH95.3.27
18	CHIH95.3.29
19	CHIH95.3.43
20	CHIH95.3.52
21	CHIH95.4.16
22	CHIH95.4.22
23	CHIH95.4.24
24	CHIH95.8.8
25	CHIH95.8.24
26	OAX93.10.1
27	OAX93.10.1
28	OAX93.10.1
29	OAX93.10.1
30	SOKOLL

Apéndice 3. Resultados de las evaluaciones de calidad de grano y harina en genotipos del ensayo Sequía I_0506

H. Evaluación de la calidad de harina y grano de un subjuego de líneas del ensayo Sequía I sembrado durante 05 en condiciones de sequía.

Gen	PMG (g)	ID GRNHRD	Proteína HI (%)	HHI (%)	Proteína G 12.5%		SDS	MIXTIM	MIXTYP	TM
					MB HHI (%)					
2	43.1	54.0	14.1	12.4	12.3		17.5	2.53	4.95	3.75
3	51.2	60.4	14.3	12.7	12.5		21.3	1.88	5.56	3.25
5	40.7	49.3	14.6	12.5	12.8		21.3	2.92	5.8	4.25
8	40.4	66.8	14.4	13.1	12.6		11.3	2.75	5.99	3.75
9	46.6	63.5	15.6	12.9	13.8		19.0	2.13	6.07	2.75
10	40.2	66.3	13.9	13.1	12.1		21.0	1.83	5.38	3.00
13	39.6	48.2	14.0	12.1	12.2		21.5	1.30	5.33	1.50
14	45.4	62.4	14.1	12.7	12.3		19.8	1.49	5.56	2.50
16	37.4	46.4	14.4	12.0	12.6		22.8	1.27	5.45	2.00
17	40.1	48.1	13.8	11.9	12.0		22.3	1.40	5.32	1.50
21	37.8	45.5	14.6	12.0	12.8		23.0	1.43	5.43	1.75
23	38.1	47.2	13.7	12.0	11.9		21.8	1.55	5.21	1.75
24	39.5	51.1	14.3	12.4	12.5		22.0	1.30	5.22	1.75
26	36.4	47.6	14.3	12.2	12.5		22.5	1.70	5.52	2.50
30	45.5	47.5	14.4	12.4	12.6		22.3	3.50	5.54	5.00

PMG: Peso de mil granos; ID GRNHRD: Dureza de grano; Proteína HI: Proteína de harina integral.; HHI: Humedad de harina integral; Proteína G 12.5% MB: Proteína de grano con 12.5 % de humedad; SDS: Prueba SDS; MIXTIM: Tempo de mixograma; MIXTYP: Tipo de mixograma; TM: Tiempo promedio de mixograma.

I. Evaluación de la calidad de harina y grano de un subjuego de líneas sembradas en ek ensayo Sequía I_0506 bajo condiciones de calor.

Gen	PMG (g)	ID GRNHRD	Proteína HI (%)	HHI (%)	Proteína G 12.5% MB (%)
3	46.3	67.7	13.6	13.0	12.9
4	39.1	52.9	13.1	12.0	12.4
8	41.7	65.9	13.4	12.8	12.7
9	46.4	65.1	13.3	12.9	12.6
12	39.8	49.3	13.4	12.2	12.7
13	33.9	52.3	13.6	12.1	12.9
17	32.5	45.4	13.3	11.8	12.6
18	34.2	54.4	13.4	12.2	12.7
19	34.7	54.2	13.4	12.3	12.7
20	33.9	55.2	13.4	12.3	12.7
21	31.3	52.9	13.5	12.2	12.8
22	32.0	42.4	13.6	11.7	12.9
25	35.0	46.7	13.4	11.9	12.7
29	33.2	51.9	13.4	12.0	12.7
30	39.7	48.6	12.8	12.1	12.1

J. Evaluación de la calidad de harina y grano de Sequía I_05-06 en condiciones de riego

Gen	PMG (g)	ID GRNHRD	Proteína HI (%)	HHI (%)	Proteína HR (%)	HHR (%)	Proteína G 12.5% MB (%)	SDS	MIXTIM	MIXTYP	ALVW (X10-4J)	ALVP/L (X10-4J)
2	39.7	47.5	12.8	10.4	10.8	14.3	12.8	13.8	2.00	5.40	205	1.45
3	38.9	59.5	12.4	11.1	10.0	13.7	12.3	19.0	2.20	5.30	203	1.20
4	39.1	47.5	11.5	10.1	9.6	14.4	11.1	15.5	2.25	5.40	216	2.40
5	40.5	44.0	12.7	10.3	10.4	14.6	12.3	17.0	3.35	5.85	361	1.40
8	48.3	58.5	12.5	11.2	10.1	12.9	12.6	19.8	2.70	5.15	283	0.90
9	47.5	56.0	14.2	11.0	12.0	13.4	13.5	16.8	2.15	4.75	201	0.60
10	42.5	58.0	12.6	11.1	10.5	13.2	12.6	17.5	3.85	3.95	161	1.65
12	43.4	42.5	13.8	10.6	12.3	14.6	13.3	15.0	1.70	5.60	214	2.05
13	36.5	46.5	13.4	10.1	11.6	14.2	13.5	13.5	1.35	5.20	156	1.70
14	49.2	58.0	13.2	11.2	10.9	13.3	12.7	19.0	2.65	4.45	156	0.85
16	39.1	49.0	13.4	10.4	11.8	13.4	13.2	16.3	1.40	5.35	109	1.30
17	36.6	45.5	13.2	10.1	11.7	14.1	13.2	14.5	1.40	5.30	137	2.30
18	34.9	43.5	13.4	10.3	11.8	14.2	13.3	15.8	1.25	5.40	131	1.40
19	35.7	48.5	13.3	10.3	11.4	14.7	13.2	13.5	1.40	5.40	231	1.45
20	37.7	44.5	13.6	10.4	12.2	14.1	13.7	13.5	1.30	5.35	189	1.45
21	38.0	45.5	13.6	10.5	12.0	13.9	13.6	15.3	1.25	5.40	148	1.15
22	38.7	44.5	13.1	10.7	11.7	14.5	13.3	12.3	1.50	5.40	167	2.35
23	35.1	47.0	13.3	10.2	11.5	13.6	13.5	16.0	1.35	5.30	126	2.10
24	35.4	49.0	13.3	10.4	11.5	14.0	13.8	7.2	1.45	5.35	142	2.05
25	38.0	46.5	13.4	10.5	11.6	14.1	13.5	12.3	1.50	5.55	117	2.50
26	38.0	48.5	13.0	10.3	11.9	14.0	13.3	15.0	1.35	5.70	119	1.35
29	41.4	48.5	13.2	10.5	10.3	13.8	13.3	15.5	2.60	5.35	202	1.90
30	41.2	47.0	12.1	10.3	10.1	13.9	11.3	12.8	2.75	5.35	200	1.20

Proteína HR: Proteína de harina refinada; HHR: Humedad de harina refinada; ALVW: Valor de la fuerza general del gluten; ALVP/L: Fuerza de elasticidad; Proteína HR: Proteína de harina refinada.

K. Clasificación de genotipos de acuerdo a las propiedades de su harina y potenciales usos de la misma

Grupo	Genotipos	Tipo de gluten	Tipo de Industria	Masa elaborada	Producto
2	KAMBARA1(TACUPETO) CHIH95.4.6	Gluten medio fuerte extensible	Proceso manual y semimecanizado	Fermentables y no fermentables	Pan blanco Hojaldras
3	HGO94.9.1.54 CHIH95.1.10	Gluten débil endospermo suave	Manual, poca tolerancia al sobre mezclado	Débil, extensible	Galletas y repostería
4	PUB94.15.1.12 CHIH95.3.28 MEX94.2.38 CHIH95.4.12 CHIH95.7.4 GTO95.1.27 CHIH95.3.38 CHIH95.3.37 CHIH95.5.33 CHIH95.5.15 CHIH95.4.19 CHIH95.5.29	Gluten tenaz poco extensible	Poca tolerancia al sobremezclado	Deficientes en expansión	Pobre calidad panadera
5	HGO94.9.1.52 KAMBARA1(TACUPETO) CHIH95.4.6	Medio a fuerte y tenaz	Resistente al amasado	Densas y sin retención de gas	Pastas, sopas alimentarias

Apéndice 4: Documentación de archivos.

L. Detalle de los archivos adjuntos

Nombre del Archivo	Título de la cartografía	Descripción del contenido	Observaciones
Sitios de colecta tolerante a sequía	Mapa1 producción de trigo.	Sitios de colecta de trigo tolerantes a sequía.	Del total de sitios de colecta, se seleccionaron los de mayor rendimiento
Sitios de colecta	Mapa1 producción de trigo, invierno	Sitios de colecta	Sitios de colecta
Limite estatal	Mapa1 producción de trigo, invierno	Limite político de los Estados del país.	Datos del MGM, INEGI, 2000
Producción de trigo, ciclo invierno	Mapa1 producción de trigo, invierno	Producción de trigo (Ton) para 1991, ciclo O-I.	Nivel municipio, de todo el país. datos del VII Censo agropecuario, 1991
Mex_hillsh	Mapa1 producción de trigo, invierno	Sombreado del relieve.	Solo como fondo de los mapas
Limite internacional	Mapa1 producción de trigo, invierno	Fronteras internacionales de México	Datos de ESRI. 2004
Sitios de colecta tolerante a sequía	Mapa2 Producción de trigo, verano	Sitios de colecta de trigo tolerantes a sequía.	Del total de sitios de colecta, se seleccionaron los de mayor rendimiento
Sitios de colecta	Mapa2 Producción de trigo	Sitios de colecta	Sitios de colecta
Limite estatal	Mapa2 Producción de trigo	Limite político de los Estados del país.	Datos del MGM, INEGI, 2000
Producción de trigo, ciclo verano	Mapa2 Producción de trigo	Producción de trigo (Ton) para 1991, ciclo P - V.	Nivel municipio, de todo el país, datos del VII Censo agropecuario, 1991
Mex_hillsh	Mapa2 Producción de trigo	Sombreado del relieve.	Solo como fondo de los mapas
Limite internacional	Mapa2 Producción de trigo	Fronteras internacionales de México	Datos de ESRI. 2004
Sitios de colecta tolerante a sequía	Mapa3 cambios en la producción 91-06	Sitios de colecta de trigo tolerantes a sequía.	Del total de sitios de colecta, se seleccionaron los de mayor rendimiento
Sitios de colecta	Mapa3 cambios en la producción 91	Sitios de colecta	Sitios de colecta
Limite estatal	Mapa3 cambios en la producción 91	Limite político de los Estados del país.	Datos del MGM, INEGI, 2000
Reducción de producción trigo 1991 - 2006	Mapa3 cambios en la producción 91-06	Zonas donde la producción de trigo a disminuido, en el periodo 1991 - 2006	Datos de VII Censo Agropecuario (1991) y Anuario estadístico, SAGARPA, 2006. el procesamiento de la información es de CIMMYT
Reducción de producción trigo 1991 - 2006	Mapa3 cambios en la producción 91-06	Zonas donde la producción de trigo a disminuido, en el periodo 1991 - 2006	Datos de VII Censo Agropecuario (1991) y Anuario estadístico, SAGARPA, 2006. el procesamiento de la información es de CIMMYT
Aumento de	Mapa3 cambios en la	Zonas donde la	Datos de VII Censo

producción trigo 1991 - 2006	producción 91-06	producción de trigo a aumentado, en el periodo 1991 - 2006	Agropecuario (1991) y Anuario estadístico, SAGARPA, 2006. el procesamiento de la información es de CIMMYT
Mex_hillsh	Mapa3 cambios en la producción 91	Sombreado del relieve.	Solo como fondo de los mapas
Limite internacional	Mapa3 cambios en la producción 91	Fronteras internacionales de México	Datos de ESRI. 2004
Sitios de colecta tolerante a sequía	Mapa4 similitud climática	Sitios de colecta de trigo tolerantes a sequía.	Del total de sitios de colecta, se seleccionaron los de mayor rendimiento
Sitios de colecta	Mapa4 similitud climática	Sitios de colecta	Sitios de colecta
Limite estatal	Mapa4 similitud climática	Limite político de los Estados del país.	Datos del MGM, INEGI, 2000
Prob_clima_similar (probabilidad de similitud climática)	Mapa4 similitud climática	Probabilidad de similitud climática con los sitios de colecta tolerantes a la sequía.	Información obtenida del Software Homologue V. 1.0. Jones, P. G. <i>et al.</i> Ciat, Colombia, 2006
Mex_hillsh	Mapa4 similitud climática	Sombreado del relieve.	Solo como fondo de los mapas
Limite internacional	Mapa4 similitud climática	Fronteras internacionales de México	Datos de ESRI. 2004
Sitios de colecta tolerante a sequía	Mapa5 similitud clima - suelo	Sitios de colecta de trigo tolerantes a sequía.	Del total de sitios de colecta, se seleccionaron los de mayor rendimiento
Sitios de colecta	Mapa5 similitud clima - suelo	Sitios de colecta	Sitios de colecta
Limite estatal	Mapa5 similitud clima – suelo	Limite político de los Estados del país.	Datos del MGM, INEGI, 2000
Similitud de clima y suelo (probabilidad)	Mapa5 similitud clima - suelo	Probabilidad de similitud climática y tipo de suelo con los sitios de colecta tolerantes a la sequía	Combinación de similitud climática (Homologue V. 1.0) y tipos de suelos (INIFAB, 1994) para los sitios de colecta.
Mex_hillsh	Mapa5 similitud clima - suelo	Sombreado del relieve.	Solo como fondo de los mapas
Limite internacional	Mapa5 similitud clima - suelo	Fronteras internacionales de México	Datos de ESRI. 2004
Sitios de colecta tolerante a sequía, invierno.	Mapa6 frecuencia de sequías para mayo	Sitios de colecta de trigo tolerantes a sequía, para el periodo diciembre -mayo.	Del total de sitios de colecta, se seleccionaron los de mayor rendimiento
Sitios de colecta	Mapa6 frecuencia de sequías para mayo	Sitios de colecta	Sitios de colecta
Limite estatal	Mapa6 frecuencia de sequías para mayo	Limite político de los Estados del país.	Datos del MGM, INEGI, 2000
Gmia_v3_5mn_pct (irrigacion)	Mapa6 frecuencia de sequías para mayo	Zonas que cuentan con riego artificial. (% de superficie)	Fuente: Global map irrigated areas v. 3
Spi3m_mayo	Mapa6 frecuencia de sequías para mayo	Frecuencia de sequías de tres meses, periodo marzo-mayo	Fuente Standardized precipitation index (SPI). Procesamiento de datos en

			CIMMYT-GISLAB
Limite internacional	Mapa6 frecuencia de sequías para mayo	Fronteras internacionales de México	Datos de ESRI. 2004
Sitios de colecta tolerante a sequía, verano.	Mapa7 frecuencia de sequías, octubre	Sitios de colecta de trigo tolerantes a sequía, para el periodo Mayo- octubre.	Del total de sitios de colecta, se seleccionaron los de mayor rendimiento
Sitios de colecta	Mapa7 frecuencia de sequías, octubre	Sitios de colecta	Sitios de colecta
Limite estatal	Mapa7 frecuencia de sequías, octubre	Limite político de los Estados del país.	Datos del MGM, INEGI, 2000
Gmia_v3_5mn_pct (irrigacion)	Mapa7 frecuencia de sequías, octubre	Zonas que cuentan con riego artificial. (% de superficie)	Fuente: Global map irrigated areas v. 3
Spi3m_octubre	Mapa7 frecuencia de sequías, octubre	Frecuencia de sequías de tres meses, periodo Agosto - octubre	Fuente Standardized precipitation index (SPI). Procesamiento de datos en CIMMYT-GISLAB
Limite internacional	Mapa7 frecuencia de sequías, octubre	Fronteras internacionales de México	Datos de ESRI. 2004
Sitios de colecta tolerante a sequía	Mapa8 susceptibilidad trigo	Sitios de colecta de trigo tolerantes a sequía.	Del total de sitios de colecta, se seleccionaron los de mayor rendimiento
Sitios de colecta	Mapa8 susceptibilidad trigo	Sitios de colecta	Sitios de colecta
Limite estatal	Mapa8 susceptibilidad trigo	Limite político de los Estados del país.	Datos del MGM, INEGI, 2000
Me2a_zone (Mega-Ambiente Me2a)	Mapa8 susceptibilidad trigo	Zonas de potenciales de cultivo de trigo, ciclo verano	CIMMYT, 2007
Me1_zones (Mega-Ambiente Me1)	Mapa8 susceptibilidad trigo	Zonas de potenciales de cultivo de trigo, ciclo invierno	CIMMYT, 2007
Me1_zones_irrig (Mega-Ambiente Me1)	Mapa8 susceptibilidad trigo	Zonas de potenciales de cultivo de trigo, ciclo invierno y que cuentan con riego artificial.	CIMMYT, 2007
Limite internacional	Mapa8 susceptibilidad trigo.	Fronteras internacionales de México	Datos de ESRI. 2004
Sitios de colecta tolerante a sequía	Mapa9_ potencial sequía invierno	Sitios de colecta de trigo tolerantes a sequía.	Del total de sitios de colecta, se seleccionaron los de mayor rendimiento
Sitios de colecta	Mapa9_ potencial sequía invierno	Sitios de colecta	Sitios de colecta
Limite estatal	Mapa9_ potencial sequía invierno	Limite político de los Estados del país.	Datos del MGM, INEGI, 2000
Líneas de pobreza por localidad	Mapa9_ potencial sequía invierno	Localidades rurales clasificadas por línea de pobreza que se localizan dentro de las zonas potenciales de trigo tolerante a la sequía	Bellon, <i>et al.</i> Targeting agricultural research to Benefit poor farmers. Food Policy, 2005. Estudio elaborado en CIMMYT.
Potencial esquía invierno	Mapa9_ potencial sequía invierno	Combinación de zonas de similitudes climática,	Zonas con probabilidad de cultivo de trigo tolerante a la

		frecuencia de sequías (mayo), y mega-ambientes de trigo.	sequía.
Producción trigo invierno 2006	Mapa9_ potencial sequía invierno	Producción de trigo, periodo invierno, 2006	Anuario estadístico de la producción agrícola, SIAP, SAGARPA
Mex_hillsh	Mapa9_ potencial sequía invierno	Sombreado del relieve.	Solo como fondo de los mapas
Limite internacional	Mapa9_ potencial sequía invierno	Fronteras internacionales de México	Datos de ESRI. 2004
Sitios de colecta tolerante a sequía	Mapa10 potencial sequía verano	Sitios de colecta de trigo tolerantes a sequía.	Del total de sitios de colecta, se seleccionaron los de mayor rendimiento
Sitios de colecta	Mapa10 potencial sequía verano	Sitios de colecta	Sitios de colecta
Limite estatal	Mapa10 potencial sequía verano	Limite político de los Estados del país.	Datos del MGM, INEGI, 2000
Líneas de pobreza por localidad	Mapa10 potencial sequía verano	Localidades rurales clasificadas por línea de pobreza que se localizan dentro de las zonas potenciales de trigo tolerante a la sequía	Bellon, <i>et al.</i> Targeting agricultural research to Benefit poor farmers. Food Policy, 2005. Estudio elaborado en CIMMYT.
Potencial esquia verano	Mapa10 potencial sequía verano	Combinación de zonas de similitudes climática, frecuencia de sequías (octubre), y mega-ambientes de trigo.	Zonas con probabilidad de cultivo de trigo tolerante a la sequía.
Producción trigo verano 2006	Mapa10 potencial sequía verano	Producción de trigo, periodo verano, 2006	Anuario estadístico de la producción agrícola, SIAP, SAGARPA
Mex_hillsh	Mapa10 potencial sequía verano	Sombreado del relieve.	Solo como fondo de los mapas
Limite internacional	Mapa10 potencial sequía verano	Fronteras internacionales de México	Datos de ESRI. 2004

Apéndice 5: Relación de cartografía impresa

M. Nombre y descripción de los mapas impresos

Nombre del mapa	Descripción
Mapa1_prod_trigo_inv.	Se presenta la distribución de la producción de trigo en invierno, (1991), a nivel municipio y en toneladas, para la temporada Diciembre – Mayo
Mapa2_prod_trigo_verano	Se presenta la distribución de la producción de trigo en verano, (1991), a nivel municipio y en toneladas, para la temporada Mayo – Octubre
Mapa3_cambios_produccion91_06	Se presentan los cambios en la producción (aumento o decremento) de trigo a nivel municipio, en el periodo comprendido de 1991 a 2006
Mapa4_similitud_climatica	Partiendo de los sitios de colecta con trigo tolerante a la sequía, se obtuvieron zonas con climas similares , valores en porcentajes, donde cercanos a 100 representa alta similitud climática.
Mapa5_similitud_clima_suelo	Porcentaje de similitud climática y tipos de suelo de sitios de colecta de trigo con alta resistencia a sequías. Para este mapa se obtuvieron zonas que presentaran similitud de clima y de tipos de suelos de los sitios de colecta.
Mapa6_frec_seq_mayo	Frecuencia de sequías para el periodo Marzo-Mayo. Mediante la aplicación del modelo SPI (Standardized Precipitation Index) se obtuvieron las frecuencias de sequías en tres meses.
Mapa7_frec_seq_octubre	Frecuencia de sequías para el periodo Agosto - Octubre. Mediante la aplicación del modelo SPI (Standardized Precipitation Index) se obtuvieron las frecuencias de sequías en tres meses.
Mapa8_susceptibilidad_trigo	Zonas susceptibles a cultivo de trigo de acuerdo a Mega-ambientes. Se presentan las zonas con alto potencial de cultivo de trigo de acuerdo a condiciones climáticas (Mega-environment, CIMMYT, 2007), tanto para el periodo O-I como de P-V.
Mapa9_potencial_sequia_invierno	Zonas con alto potencial de sequía para el periodo invierno. Es el resultado de la combinación de los factores Similitud climática, frecuencia de sequías y mega ambientes para la producción de trigo. Es una predicción de sitios que se considera pudieran contener razas criollas con tolerancia a la sequía. También contiene datos de localidades rurales clasificados por líneas de pobreza (2005), tanto de los sitios de colecta de granos como de las zonas potenciales.
Mapa10_potencial_sequia_verano	Zonas con alto potencial de sequía para el periodo verano. Es el resultado de la combinación de los factores Similitud climática, frecuencia de sequías y mega ambientes para la producción de trigo. Es una predicción de sitios que se considera pudieran contener razas criollas con tolerancia a la sequía. También contiene datos de localidades rurales clasificados por líneas de pobreza (2005), tanto de los sitios de colecta de granos como de las zonas potenciales

IV. Conclusiones

A raíz del presente estudio, surgen las siguientes conclusiones:

- En condiciones de sequía se encontraron genotipos mejor adaptados con rendimientos mayores al testigo y otras características agronómicas y fisiológicas favorables.
- Si bien, en condiciones de riego las líneas de Landraces mexicanos incluidos en esta investigación arrojaron rendimientos menores que los testigos, sus reducciones bajo estrés fueron siempre menores, sugiriendo mayor adaptación al estrés.
- En condiciones de calor el testigo rindió más que los Landraces, pero algunos de estos últimos mostraron mejor tolerancia al calor al mantenerse frescos, ser genotipos tempranos y con buenos rendimientos.
- Se identificaron genotipos con potencial uso como germoplasma de mejoramiento tanto para ambientes de estrés hídrico como de calor, ya que en su caracterización mostraron buen comportamiento en ambos ambientes y aparecieron en las selecciones de los dos tipos de estrés.
- Este proyecto pretende generar además una publicación científica en la que se muestren los resultados logrados mediante el esfuerzo conjunto de Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad y el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo.
- Mediante la aplicación de herramientas de SIG se relacionó el comportamiento de razas criollas en ensayos de sequía controlada con el medio ambiente de los sitios de recolección.
- El estudio se realizó basándose en datos previos sobre la disminución de la producción de trigo en México, algunos de los cuales pueden estar relacionados con los recursos hídricos.
- Se elaboraron mapas de frecuencia de sequía espacialmente explícitos relacionados con periodos de estrés por sequía para los dos principales sistemas de producción de trigo en México.
- Se obtuvieron indicaciones de una probable relación entre el comportamiento de la tolerancia a la sequía en ensayos de sequía controlada, y de ambas, la disponibilidad de agua y la frecuencia de estrés por sequía en los sitios de recolección.

- Se identificaron zonas de similitud con los sitios en los que se sabe que hay materiales tolerantes a la sequía.
- Se identificaron y caracterizaron zonas con probabilidades de tener materiales tolerantes a la sequía o adecuados para utilizar tolerancia a la sequía, en términos socioeconómicos y biofísicos.

V. Limitantes de investigaciones en el futuro

Las principales limitantes en el presente estudio incluyen información georreferenciada muy deficiente asociada con las colecciones originales. Todas las colecciones son anteriores a la aplicación generalizada de la tecnología GPS, y, sin duda, el presente estudio contiene errores de ubicación importantes. Se recomienda que, en el futuro, toda recolección sea georeferenciada en su totalidad con el sistema GPS. La ausencia de datos pormenorizados a escala local relacionados específicamente con la irrigación, las fuentes de agua y las propiedades de drenaje del suelo constituyó otra limitante. Sin embargo, esa información a nivel parcela únicamente podría recopilarse de manera realista si se efectúa algún tipo de estudio práctico a nivel regional. No se hicieron estudios de verificación en el terreno de ninguna de las áreas identificadas en el presente análisis, y aunque los conocimientos generales de las áreas identificadas indican que son muy realistas, sería de mucha utilidad realizar estudios en el campo de esas áreas. También existe el potencial para investigar en detalle las tendencias que están surgiendo, que se observaron entre los ambientes con tolerancia a la sequía y el medio ambiente de la fuente con el uso de herramientas estadísticas. Algunos de estos problemas probablemente se tratarán en los estudios de maestría en ciencias en la Universidad Autónoma de Chapingo.

Referencias

- Amani, I., R.A. Fisher y M.P. Reynolds. 1996. Canopy Temperature Depression Association with Yield Irrigated Spring Wheat Cultivars in a Hot Climate. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 176: 119-129.
- Bellon, M. R., J. Berthaud, M. Smale, J. A. Aguirre, S. Taba, F. Aragón, J. Díaz y H. Castro. 2003. Participatory landrace selection for on-farm conservation: An example from the Central Valleys of Oaxaca, Mexico. *Genetic Resources and Crop Evolution* 50: 401–416, 2003. 401
- Bellon, M.R., Hodson, D., Bergvinson, D., Beck, D., Martínez-Romero, E., y Montoya, Y. (2005). Targeting agricultural research to benefit poor farmers: Relating poverty mapping to maize environments in México. *Food Policy* 30 (5-6), 476-92.
- DeLacy, I.H., B. Skovmand y J. Huerta. 2000. Characterization of Mexican wheat landraces using agronomically useful attributes. *Genetic Resources and Crop Evolution* 47: 591–602, 2000.
- Dencic, S., R. Kastori², B. Kobiljski¹ y B. Duggan. 2000. Evaluation of grain yield and its components in wheat cultivars and landraces under near optimal and drought conditions. *Euphytica* 113: 43–52, 2000.
- Dreisigacker, S., P. Zhang, M. L. Warburton, B. Skovmand, D. Hoisington, y A. E. Melchinger. 2005. Genetic Diversity among and within CIMMYT Wheat Landrace Accessions Investigated with SSRs and Implications for Plant Genetic Resources Management. *Crop Sci.* 45:653–661.
- Edwards, D.C.; y T. B. McKee. (1997). Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales. *Climatology Report Number 97–2*, Colorado State University, Fort Collins, Colorado.
- FAOSTAT. (2008). FAO Statistical Databases. Consúltese en línea: <http://faostat.fao.org/>
- Foulkes, M.J., J. W. Snape, V. J. Shearman, M. P. Reynolds, O. Gaju y R. Sylvester-bradley. 2007. Genetic progress in yield potential in wheat: recent advances and future prospects. *Journal of Agricultural Science*. 145: 17–29.

- Hede, A. R., B. Skovmand, M.P. Reynolds, J. Crossa, A.L. Vilhelmsen y O. Stølen. 1999. Evaluating genetic diversity for heat tolerance traits in Mexican wheat Landraces. *Genetic Resources and Crop Evolution* 46: 37–45.
- Hijmans, R.J., Cameron, S.E., Parra, J.L., Jones, P.G. y Jarvis, A. (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 25, 1965-78.
- Hodson, D.P., and J.W. White. (2007). Use of spatial analyses for global characterization of wheat-based production systems. *Journal of Agricultural Science*, 145, 115-125.
- Hunt, L. A., G. van der Poorten, y S. Pararajasingham. 1991. Postanthesis temperature effects on duration and rate of grainfilling in some winter and spring wheats. *Journal of Plant Science*. 71:609–617.
- INEGI. (1991). Censos Agropecuarios, 1991. VII Censo Agropecuario-Ganadero y al VII Censo Ejidal.
- INIFAP. 2001. Guía Técnica para los cultivos del área de influencia del campo experimental Valle del Yaqui. Sonora, México. pp. 169-198.0
- Jones, P.G. y A. Gladkov. (2003). FloraMap®: A computer tool for predicting the distribution of plants and other organisms in the wild, version 1.03. CIAT Publication No. 334. CD-ROM. CIAT, Cali, Colombia.
- Jones, P.G., W.S. Diaz y J. Cock. (2004). Homologue v1.0. CD-ROM. CIAT, Cali, Colombia.
- Mitchell T. D. y P. D. Jones. (2005). An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high-resolution grids. *International Journal of Climatology* 25, 693-712.
- Palmer, W.C. 1965. Meteorological drought. Research Paper No. 45, U.S. Department of Commerce Weather Bureau, Washington, D.C.
- Rajaram, S., H.J. Braun y M. Van Ginkel, 1996. CIMMYT's approach to breed for drought tolerance. *Euphytica* 92: 147–153.
- M.P. Reynolds, F. Dreccer y R. Trethowan. 2007a. Drought-adaptive traits derived from wheat wild relatives and landraces. *Journal of Experimental Botany*, Vol. 58, No. 2, pp. 177–186,

- Reynolds, M.P., C. Saint Pierre, A.S.I. Saad. M. Vargas y A. G. Condon. Evaluating Potential Genetic Gains in Wheat Associated with Stress-Adaptive Trait Expression in Elite Genetic Resources under Drought and Heat Stress. 2007b. *Crop Sci* 47:S-172-S-189.
- Reynolds, M.P., J.I. Ortíz-Monasterio y A. McNab (eds.). 2001. *Application of Physiology in Wheat Breeding*. México, D.F. CIMMYT.
- SAGARPA. (2008). El Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Consúltese en línea: http://www.siap.sagarpa.gob.mx/ar_comagri.html. Fecha de acceso 28/1/2008.
- Siebert, S., Feick, S., Döll, P. y Hoogeveen, J. (2005). *Global map of irrigation areas version 3.0*. Frankfurt and Rome: University of Frankfurt (Main) and FAO.
- Skovmand, B. (1997). *Colección, Preservación y Caracterización de Cultivares Criollos de Origen Español de Trigo y Centeno en México* (Ref. Convenio FB094/E101/94). Sometido a la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad por el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT Int.). Diciembre de 1997. Reporte final.
- Trethowan, R. Hodson, D.P., Braun, H-J., Pfeiffer, W. y van Ginkel, M. (2005). *Wheat breeding environments*. In *Impacts of International Wheat Breeding Research in the Developing World, 1988-2002* (Eds. M. Lantican, J. Dubin, & M. Morris), México D.F.:CIMMYT.
- White, J.W., van Ginkel, M., Rajaram, S. y Corbett, J.D. (2001). A GIS-based approach to revising CIMMYT's wheat megaenvironments. *Agronomy Abstracts* 93, 1.
- You, L. y Wood, S. (2005). Assessing the spatial distribution of crop production using a generalized cross-entropy approach. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 7 (4), 310-23.
- Wardlaw, I.F. y L. Moncur. 1995. The response of wheat to high temperature following anthesis: I. The rate and duration of kernel filling. *Australian Journal of Plant Physiology*. 22:391–397.

- Wardlaw, I.F., I.A. Dawson, y P. Munibi. 1989. The tolerance of wheat to high temperatures during reproductive growth: II. Grain development. Australian Journal of Agricultural Research. 40:15–24.