



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DIVISIÓN DE CIENCIAS FORESTALES

MAESTRIA EN CIENCIAS FORESTALES

**“USO DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN LA
EVALUACIÓN DE RESISTENCIA A SEQUÍA EN RAZAS
CRIOLLAS MEXICANAS DE TRIGO”**

TESIS PROFESIONAL

**Que como requisito parcial
para obtener el grado de:**

MAESTRO EN CIENCIAS

PRESENTA:

ALBERTO SANTILLÁN FERNÁNDEZ

Chapingo, Estado de México, Abril de 2009.



DIRECCIÓN GENERAL ACADÉMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXÁMENES PROFESIONALES



**“USO DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN LA EVALUACIÓN DE
RESISTENCIA A SEQUÍA EN RAZAS CRIOLLAS MEXICANAS DE TRIGO”**

Tesis realizada por Alberto Santillán Fernández bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES

DIRECTOR:



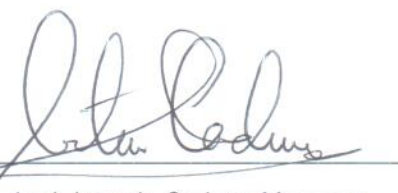
M.C. Eduardo Vargas Pérez

ASESOR:



M.C. Silvia Terrazas Domínguez

ASESOR:



Dr. José Artemio Cadena Meneses

Chapingo, Estado de México, Abril de 2009

DEDICATORIA:

A mis padres y hermanos: LOS ADMIRO Y AMO.

A mi madre la Sra. Flor Fernández Tobòn que es el ser más maravilloso del mundo, gracias por el apoyo moral su cariño y comprensión que desde siempre me ha brindado, por guiar mi camino y estar junto a mí en los momentos más difíciles.

A mi padre el Sr. Fernando Santillán Fernández por que ha sido para mí un hombre grande y maravilloso y que siempre he admirado, gracias por guiar mi vida con energía, esto es lo que ha hecho que sea lo que soy.

A mis hermanos como un testimonio de gratitud y correspondiendo al esfuerzo y apoyo recibido.

A mis padres a quienes nunca les he dicho que los AMO, pero que son las personas que mas admiro en este mundo por que aun en los momentos mas difíciles han soportado las tempestades y me han mostrado que siempre hay un mañana y un bien por venir, por que una palabra suya convierte una tormenta en arco iris, por que con una sonrisa me muestran la luz en la oscuridad, por brindarme tanto amor, ustedes que están ahí guiando cada paso que doy, por que cuando sentí que el mundo no tenia razón de ser sus palabras guiaron mi vida; por que siempre quieren darme mas de lo que tienen, por que aun siendo niño me hicieron sentir hombre, a pesar de mis errores, por que siempre me brindan la fuerza necesaria para seguir adelante y no claudicar en mis metas.

A ti mamá, a ti papá, porque son personas trabajadoras, sencillas, honradas y muy respetables; por que a pesar de las dificultades en su camino nunca muestran debilidad y siempre salen victoriosos, por que una palabra suya lo significa todo para mí.

A mis hermanas: Esmeralda "melita" y Margarita "manguito" por su incondicional apoyo y ayuda, por que aunque nunca se los he dicho saben que las AMO, por los consejos y ejemplos que me han dado, aun siendo más pequeñas que yo, las admiro por su fortaleza e inteligencia, nunca claudiquen en sus objetivos. A mi hermano Fernando "nano" por su amor y cariño, por los momentos inolvidables compartidos. A todos por formar una bonita familia, espero ser un aliento para que logren sus metas. A mi futuro sobrino y a mi cuñado Adán, que se ha llevado uno de los tesoros de la familia.

A ti **“pequeñita hermosa”** por ser parte de mi vida, por enseñarme que el amor si existe, por que llegaste en un momento crítico de mi existir y tus palabras calmaron la tempestad, por que un te amo tuyo convierte mis lágrimas en sonrisas; porque eres lo que antes de conocerte ya habías sido “la mujer de mis sueños”. Por hacer del tiempo algo bello y placentero y darle sentido a mi vida, por que tus palabras son una dulce melodía para mi corazón, por eso y muchas cosas más. Te AMO. Doy gracias a dios por haberte puesto en mi camino, te pido perdón por los malos momentos.

A mis tías: Srita. Nicolasa “Niquito”, Sra. Violeta “Viole”, Sra. Catalina “Caty”, Sra. Verónica “Vero” y Sra. María “Mary”; y tíos Sr. Bulmaro “Mayo”, Sr. Serafín “Sera”, Sr. Lennin y Sr. Jaime Rogelio † quien desgraciadamente se nos adelanto en el camino, a ti donde quiera que estés. Así como también a todos mis primos. A todos ustedes por todo el apoyo y cariño recibido; con respeto y admiración Betto.

A mis abuelitos, Sr. Jesús y Sra. Angélica por su amor, cariño y apoyo incondicional; a usted abuelito por enseñarme con su ejemplo a ser humilde, honrado y trabajador; a usted abuelita por las palabras de aliento que siempre me ha brindado, y por darme lo maspreciado que tengo en este mundo “MI MADRE”.

Una especial dedicación a mis “súper amigos”, MC. Laura Lizet Soto Ortega, Ing. Reynaldo Hernández García, Ing. Francisco López Hernández, Lic. Lidio Flores Cruz, MC. Melquíades Prezas Castañeda, Ing. Daniel Hernández García y MC. Alan Fernando Burke Roco; por su ayuda en un momento crítico de mi vida; por que su apoyo moral ha marcado la diferencia para seguir con mis objetivos.

Con cariño, respeto y admiración a la familia Flores Cruz, Sr. Hilario Flores Martínez y Sra. Amelia Cruz Sánchez e hijos: Ing. Laurentino, Rene, Lic. Lidio, Elizabeth, Sandra, Luís Alberto, Noe Martín y María Luisa; por brindarme cariño y calor de hogar, y hacerme sentir parte de una hermosa familia.

A mis amigos, J. Iván, Samuel, Elena, Briza, Minqus, Ulises, Lulú, Gaby, Ramón, Fabián, Carlos Segura “Panza” de León, Gerardo Ramírez, Darinel “Darío” † y Tzuc † que Dios los tenga en la gloria, por las inolvidables aventuras, por que nuestra amistad perdure para siempre. Así, como a todos mis compañeros de la mayor de fútbol soccer. Y a todos mis compañeros de trabajo en la empresa INYDES, en especial a su director Ing. Jesús Cuanalo, por la confianza que me ha brindado.

CON CARÍO RESPETO Y ADMIRACIÓN
BETTO

AGRADECIMIENTOS:

A quien nos acompaña, guía y cuida en todo momento y hace posible realizar nuestros sueños, a DIOS nuestro señor. Por darme la dicha de vivir y ser parte de la familia Santillán Fernández y sobre todo por brindarme unos excelentes padres.

A la Universidad Autónoma Chapingo, mi segunda casa, porque durante 10 inolvidables años me dio el honor de sentir los más maravillosos y amargos momentos de mi vida. Por que de niño hizo de mí una persona adulta y por brindarme la oportunidad de realizar mi formación profesional.

Al CONACYT, por el apoyo financiero para realizar los estudios de maestría.

Un especial agradecimiento al M.C. Eduardo Vargas Pérez, M.C. Silvia Terrazas Domínguez, Dr. José Artemio Cadena Meneses, Dr. Dave P. Hodson, Dr. Ignacio Benítez Riquelme y Dra. Amparo Borja de la Rosa, por compartirme mucha de su sabiduría y por que constantemente me hacen recordar hacia donde voy. Y por supuesto, por su colaboración en la presente; gracias a ellos puedo concluir una de mis tantas metas. Así también agradezco a todos aquellos académicos que de manera directa o indirecta influyeron en mi formación profesional, con sus enseñanzas y sabios consejos. En general, a todos aquellos que de una u otra forma colaboraron para la realización de la presente, por su tiempo dedicado, ayuda y acertados comentarios, en especial al personal del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) de el Batán, Texcoco, estado de México, por permitirme realizar la investigación.

Al M.C. Víctor Hernández Martínez y Lic. Eduardo Carrasco Martínez, por su valiosa aportación en la presente, y por la amistad que nos une. Al C. Joel Martínez Cedillo, por introducirme a este maravilloso mundo del saber, que son las matemáticas. Al Ing. García Pineda Mardonio, por ser la primera persona en la Universidad Autónoma Chapingo que me alentó a concluir exitosamente mis estudios.

A mis padrinos el Sr. Francisco Toscano y Sra. Guadalupe Tobón; e hijos: Francisco, Miguel y Casandra; por todo el amor, cariño, respeto y comprensión que desde niño me han brindado, gracias por guiar mi vida, son los mejores padrinos que dios pudo darme.

A la familia Monrroy, Sr. Antonio y Sra. Lina por brindarme cobijo y calor de hogar, durante 10 años, por los regaños y consejos recibidos, y por todos los momentos inolvidables que pase al lado de ellos.

**CON CARÍÑO RESPETO Y ADMIRACIÓN
BETTO**

BIOGRAFIA

Alberto Santillán Fernández nació el 25 de septiembre de 1982, en el poblado de Todos Santos Almolonga, del Municipio de Tepexi de Rodríguez, en el Estado de Puebla. Cursa sus dos primeros años de educación primaria en la escuela "18 de Marzo" de dicha localidad, a la edad de 8 años la familia decide trasladarse a la ciudad de Puebla en busca de mejores condiciones de vida, y ahí concluye su educación primaria en la "Escuela Primaria Oficial Carmen Serdán" en el año de 1995.

Continúa su preparación en la Escuela Secundaria Técnica No. 88, en Balcones del Sur, Puebla, de 1995 a 1998; para posteriormente ingresar a la Preparatoria Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo en el año de 1998, donde se gradúa en 2001, e ingresa a la Licenciatura en Estadística de la misma Universidad, obteniendo el grado en enero de 2006. Para agosto del mismo año, logra ingresar al Posgrado de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo, concluyendo sus estudios en Agosto de 2008.

ÍNDICE	Página.
ÍNDICE DE CONTENIDO	i
ÍNDICE DE CUADROS	v
ÍNDICE DE GRÁFICOS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
RESUMEN	viii
SUMMARY	viii
 I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	 1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Planteamiento del problema.....	1
1.3 Objetivo general.....	3
1.4 Objetivos específicos	3
1.5 Justificación.....	4
1.6 Alcances	6
1.7 Limitantes	7
1.8 Organización del Estudio	7
 II. MARCO TEÓRICO.....	 9
2.1 Introducción.....	9
2.2 Sequia	9
2.2.1 Definición de Sequia: Conceptual y Operacional	10
2.2.1.1 Conceptual	10
2.2.1.2 Operacional	10
2.2.2 Sequia Meteorológica	10
2.2.3 Sequia Agrícola	11
2.2.4 Sequia Hidrológica.....	11
2.2.5 Sequia Socioeconómica	11
2.2.6 Índices de Precipitación	12
2.2.7 Índice de Porcentaje Normal	12
2.2.8 Índice de Palmer (PDSI, por sus siglas en inglés).....	12
2.2.9 Índice de Precipitación Estandarizado (SPI, por sus siglas en inglés).....	14

2.2.10 Índice de Humedad de Cultivos (CMI, por sus siglas en ingles)	15
2.2.11 Índice de Recuperación de Sequia (I + D + i)	15
2.2.12 Deciles	16
2.3 Trigo	17
2.3.1 Origen	17
2.3.2 Clasificación taxonómica	17
2.3.3 Condiciones edafo-climáticas	18
2.3.4 Siembra	18
2.3.5 Fertilización	20
2.3.6 Riego	20
2.3.7 Cosecha	21
2.3.8 Rendimiento	21
2.3.9 Comercialización	22
2.3.10 Importancia económica y distribución geográfica	22
2.3.11 Problemática actual del trigo en México	23
2.3.12 Usos	24
2.4 Sistemas de información geográfica (SIG)	25
2.4.1 Componentes de un SIG	26
2.4.2 Información que maneja un SIG	26
2.4.3 Sistemas de coordenadas	27
2.4.4 Proyecciones	28
2.4.5 Base de datos geográfica	28
2.4.5.1 Formato raster	29
2.4.5.2 Formato vectorial	29
2.4.6 Almacenamiento de información	29
2.4.7 Análisis y modelación de la información	30
2.4.8 Salida y representación de la información	31
2.4.9 Aplicaciones de los sistemas de informacion geográfica	32
2.4.10 Listado de software SIG	33
2.5 Conclusión	33

III. METODOLOGÍA	34
3.1 Introducción	34
3.2 Datos del sitio	34
3.3 Herramientas de cómputo	34
3.4 Extracción de datos	35
3.5 Índices de sequía	38
3.6 Zonas productoras de trigo existentes	38
3.7 Zonas de similitud de sitios de sequía	41
3.8 Zonas de sequía	44
3.9 Zonas de idoneidad para el trigo	47
3.10 Zonas potenciales para materiales tolerantes a sequía	50
3.11 Conclusión	52
IV. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	53
4.1 Introducción	53
4.2 Prueba de normalidad	53
4.2.1 Shapiro-Wilk	55
4.2.2 Anderson-Darling	55
4.3 Teorema central del límite	57
4.4 Significancia estadística	57
4.5 Correlación	59
4.6 Conclusión	63
V. RESULTADOS OBTENIDOS	64
5.1 Introducción	64
5.2 Ciclo diciembre-mayo (ciclo de invierno)	64
5.2.1 Análisis de variables ambientales	64
5.2.2 Análisis de variables edáficas	67
5.2.3 Análisis de la variable sequía	68
5.2.4 Análisis de la variable irrigación	70
5.2.5 Intersección de las variables ambientales, edáficas, sequía e irrigación	71
5.2.6 Uso de suelo y vegetación	73

5.2.7 Rezago social	76
5.3 Ciclo mayo-octubre (ciclo de verano)	77
5.3.1 Análisis de variables ambientales.....	77
5.3.2 Análisis de variables edáficas.....	79
5.3.3 Análisis de la variable sequía	80
5.3.4 Análisis de la variable irrigación.....	83
5.3.5 Intersección de las variables ambientales, edáficas, sequía e irrigación	83
5.3.6 Uso de suelo y vegetación.....	85
5.3.7 Rezago social	86
5.4 Conclusión	87
VI. CONCLUSIONES Y LIMITANTES	88
6.1 Introducción.....	88
6.2 Conclusiones	88
6.3 Limitantes	90
ANEXOS	91
I. Esquema de un diseño experimental alfa-látice_	91
II. Programas en SAS	92
BIBLIOGRAFÍA	93

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Índice de Palmer	13
Cuadro 2. Índice SPI.....	15
Cuadro 3. Clasificación Deciles	16
Cuadro 4. Temperaturas mínimas, óptimas y máximas para el cultivo del trigo	18
Cuadro 5. Comercialización en la región del Bajío	22
Cuadro 6. Ciclo diciembre-mayo	36
Cuadro 7. Ciclo mayo-octubre.	37
Cuadro 8. Los principales tipos de suelo con los sitios tolerantes a la sequía.....	43
Cuadro 9. Mega-Ambiente.....	48
Cuadro 10. Prueba de normalidad para la variable RENDIMIENTO (YLD).	55
Cuadro 11. Prueba de normalidad para la variable RENDIMIENTO (YLD) con la transformación "Log".	56
Cuadro 12. Prueba de normalidad para la variable RENDIMIENTO (YLD) con la transformación "SQRT"	56
Cuadro 13. Significancia estadística, ciclo diciembre-mayo (25)	59
Cuadro 14. Significancia estadística, ciclo mayo-octubre (18).....	59
Cuadro 15. Matriz de correlación, ciclo diciembre-mayo (25)	60
Cuadro 16. Matriz de correlación, ciclo mayo-octubre (18)	60
Cuadro 17. Significancia estadística, ciclo diciembre-mayo (458)	61
Cuadro 18. Significancia estadística, ciclo mayo-octubre (899).....	61
Cuadro 19. Matriz de correlación, ciclo diciembre-mayo (458).....	62
Cuadro 20. Matriz de correlación, ciclo mayo-octubre (899)	62
Cuadro 21. Correlación de REND, ciclo diciembre-mayo	62
Cuadro 22. Correlación de REND, ciclo mayo-octubre.....	63
Cuadro 23. Valores de mapa de temperaturas, ciclo diciembre-mayo.	64
Cuadro 24. Valores de mapa de precipitación, ciclo diciembre-mayo.	65
Cuadro 25. Valores de mapa de suelo, ciclo diciembre-mayo.....	67
Cuadro 26. Frecuencia de sequía por quintiles, ciclo diciembre-mayo.....	69
Cuadro 27. Valores de mapa de temperaturas, ciclo mayo-octubre.	77
Cuadro 28. Valores de mapa de precipitación, ciclo mayo-octubre.....	78
Cuadro 29. Valores de mapa de suelo, ciclo mayo-octubre.	79
Cuadro 30. Frecuencia de sequía por quintiles, ciclo mayo-octubre.	81

ÍNDICE DE GRAFICOS

Gráfico 1. Distribución normal o de Gauss.	54
Gráfico 2. Prueba de normalidad para la variable RENDIMIENTO con la transformación "SQRT".	56
Gráfico 3. Frecuencia de sequía por quintiles, ciclo diciembre-mayo.	69
Gráfico 4. Frecuencia de sequía por quintiles, ciclo mayo-octubre.	82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Producción de trigo (toneladas) - 1991.	2
Figura 2. Producción de trigo (toneladas) - 2006.	2
Figura 3. Cambios en la producción de trigo 1991 - 2006.	24
Figura 4. Sitios diciembre-mayo.	35
Figura 5. Sitios mayo-octubre.	36
Figura 6. Producción de trigo (toneladas) - Invierno 1991.	39
Figura 7. Producción de trigo (toneladas) - Verano 1991.	40
Figura 8. Zona de similitud climática según Homologue para sitios de trigo tolerantes a la sequía.	42
Figura 9. Similitud climática y zona de similitud de suelos según Homologue	44
Figura 10. Porcentaje de años de sequía basado en SPI abril-mayo (ciclo de invierno).	46
Figura 11. Porcentaje de años de sequía basado en SPI agosto-octubre (ciclo de verano).	47
Figura 12. Zonas de idoneidad de la FAO para trigo de secano y con riego (alto rendimiento).	48
Figura 13. Idoneidad para trigo de secano basada en los parámetros de ECOCROP	49
Figura 14. Mega-Ambientes de trigo del CIMMYT, ME1 y ME2a.	49
Figura 15. Zonas con probabilidad de sequía y pobreza rural para trigo de ciclo de verano.	51
Figura 16. Zonas con probabilidad de sequía y pobreza rural para trigo de ciclo de invierno	52
Figura 17. Mapa de temperatura, ciclo de invierno.	65
Figura 18. Mapa de Precipitación, ciclo de invierno.	66
Figura 19. Mapa de variables ambientales, ciclo de invierno	66
Figura 20. Mapa de suelo, ciclo de invierno.	68
Figura 21. Mapa de frecuencia de sequia para el ciclo de invierno.	68
Figura 22. Mapa de frecuencia de sequia de los quintiles 3 y 4 para el ciclo de invierno.	70

Figura 23. Distribución de irrigación en el territorio mexicano.....	71
Figura 24. Regiones, con comportamiento excepcional bajo sequía para el ciclo de invierno	71
Figura 25. Mapa de la zona que comprende el sitio de colecta de Chihuahua.....	72
Figura 26. Mapa de la zona que comprende el sitio de colecta de Coahuila.....	72
Figura 27. Mapa de la zona que comprende el sitio de colecta de Guanajuato	73
Figura 28. Uso de Suelo y Vegetación, ciclo de Invierno.....	74
Figura 29. Uso de Suelo y Vegetación, región de Chihuahua	74
Figura 30. Uso de Suelo y Vegetación, región de Coahuila	75
Figura 31. Uso de Suelo y Vegetación, región de Guanajuato	75
Figura 32. Correlación entre zonas tolerantes a sequia y grado de rezago social, invierno	76
Figura 33. Mapa de temperatura, ciclo de verano.	77
Figura 34. Mapa de precipitación, ciclo de verano.....	78
Figura 35. Mapa de variables ambientales, ciclo de verano	79
Figura 36. Mapa de suelo, ciclo de verano	80
Figura 37. Mapa de frecuencia de sequía para el ciclo de verano.....	81
Figura 38. Mapa de frecuencia de sequía de los quintiles 4 y 5 para el ciclo de verano.	82
Figura 39. Distribución de la irrigación en el territorio mexicano.....	83
Figura 40. Regiones, con comportamiento excepcional bajo sequía para el ciclo de verano	84
Figura 41. Mapa de la zona que comprende los sitios de colecta para el ciclo de verano.	84
Figura 42. Uso de Suelo y Vegetación, ciclo de verano	85
Figura 43. Correlación entre zonas tolerantes a sequia y grado de rezago social, verano.....	86
Figura 44. Esquemas más comunes de los diseños alfa-látices.....	91

“USO DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN LA EVALUACIÓN DE RESISTENCIA A SEQUÍA EN RAZAS CRIOLLAS MEXICANAS DE TRIGO”

“USE OF GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS FOR THE EVALUATION OF DROUGHT RESISTANCE ON AN INBRED PLANT BREED CROP (WHEAT) FROM MEXICO”

M.C. E. Vargas-Pérez¹ Lic. A. Santillán-Fernández²

RESUMEN

El presente proyecto se basa en un estudio 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), 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 casi 9,500 muestras de semilla en más 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.

Tiene dos componentes principales, el primero es la evaluación en campo de las 9,500 razas criollas mexicanas en ensayos de estrés de sequía controlada. El segundo componente importante es 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, climáticas, de irrigación y demográficas de los sitios de colecta; con el objeto de pronosticar en cuáles regiones de México hay o no razas criollas de desempeño excepcional en condiciones de sequía controlada. Por tanto el componente clave del proyecto se centrará en el desarrollo y la aplicación de una nueva metodología, que incluya el uso de herramientas de SIG tales como ArcMap, para la elaboración de mapas digitales y modelos predictivos para México. En esta investigación se presentan los resultados obtenidos en cuanto al segundo objetivo del proyecto.

Palabras Clave: Sequía, Trigo y SIG.

SUMMARY

The present project is based on a chief study developed in 1994, which is entitled “Collection, Preservation and Characterization of Wheat and Rye as Inbred Crops from Spanish Origin in Mexico” (Reference: Agreement FB094/E101/94), developed by CONABIO (National Commission for the Knowledge and Use of Biodiversity) and CIMMYT (International Center of Maize and Wheat Improvement) for its acronyms in Spanish. As a result, in 1994 there were gathered almost 9500 seed samples throughout more than 3000 agricultural fields in 12 Mexican states: Chihuahua, Coahuila, Durango, Mexico, Guanajuato, Hidalgo, Jalisco, Michoacán, Oaxaca, Puebla, Querétaro y Tlaxcala.

The project has two main components; the first one, is the field evaluation of almost 9500 domestic inbred plant breeds under controlled drought essays; the second and most important one, is the use of GIS tools and technologies focused to integrate the behavior of domestic inbred plant breeds under certain degree of stress. Such stress is given by: drought, environmental, climate, irrigation, and demographic variables within the collecting sites; the previous variables are expected to be key factors to reach out the main objective of forecasting the regions of Mexico with or without domestic inbred plant breeds and exceptional performance under controlled drought conditions. The main component of the project will be centered on the development and application of a new methodology, including the use of GIS tools such as ArcMap, for the elaboration of digital maps and predictive models for Mexico. In this work are presented the results related to the second project objective.

Key words: Drought, Wheat and GIS.

¹ Director de Tesis. E-mail: vargas.lalo@gmail.com

² Tesista. E-mail: necbetto@yahoo.com.mx

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se desarrollará el planteamiento y justificación del problema, los objetivos generales y específicos, así como los alcances y limitaciones a los que se enfrenta la investigación.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Uno de los cereales más importantes en la alimentación mexicana, lo constituye junto con el maíz (*Zea mays*), el trigo (*Triticum aestivum* L.), empleado fundamentalmente como materia prima para la realización de pan. Su cultivo data de la época de la conquista, cuando los frailes, lo introdujeron a México para la realización de pan sacramental; desde entonces se ha convertido en base fundamental de la dieta de los mexicanos.

La superficie cultivada de trigo en México ha estado disminuyendo de más de un millón de hectáreas hace 20 años a apenas poco más de 600,000 hectáreas en 2006 (Ver Figuras 1 y 2; información por municipios. SAGARPA, 2008). Esto se debe en parte a una disminución en la disponibilidad de agua de riego en las cuencas de almacenamiento de las zonas clave de producción en Sonora, Sinaloa, y el Bajío. Se necesitan con urgencia mayores niveles de tolerancia a sequía en condiciones de temporal y una mayor eficiencia del uso del agua, en condiciones de riego. Las mayores zonas conurbanas mexicanas están localizadas en áreas donde gran parte de la producción se lleva a cabo bajo condiciones de temporal. Los costos de transporte son crecientemente prohibitivos para llevar grano de trigo de regiones distantes con riego y alto rendimiento. Cada vez más, México necesitará encontrar sus fuentes de trigo de las regiones de temporal cerca de las grandes ciudades, mayormente en el centro del país. Hoy día, la mayor parte de trigo panadero es importado, mientras en realidad muchas regiones de México podrían transformarse en áreas de producción de trigo. El principal requisito es una mayor tolerancia a la baja humedad en el suelo.

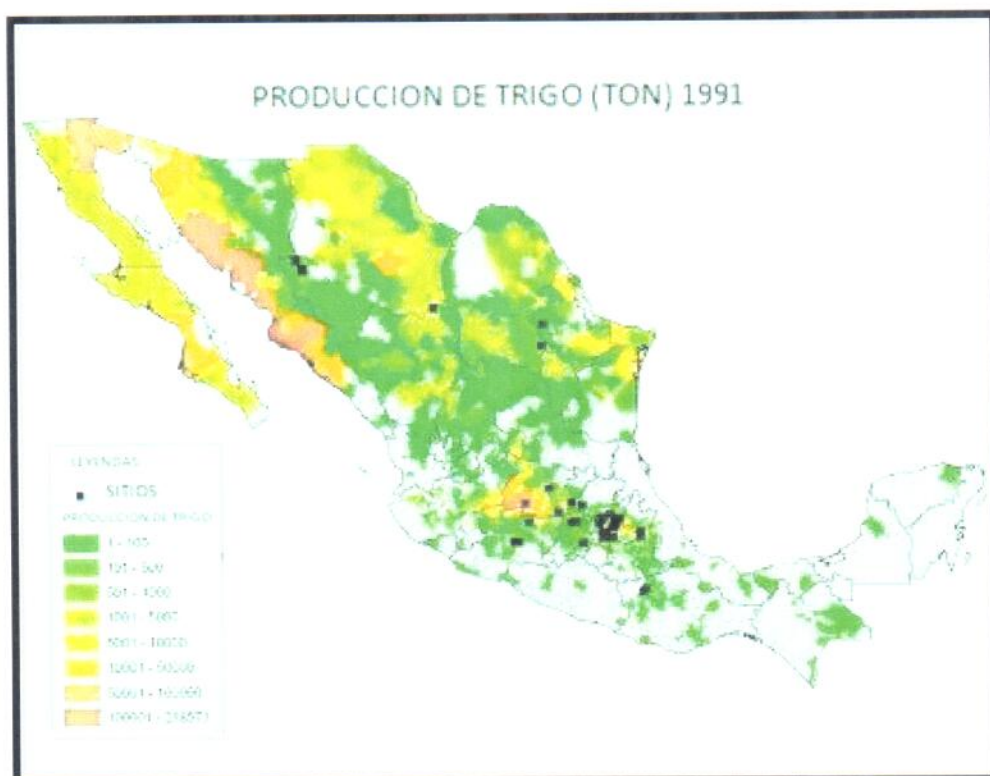


Figura 1. Producción de trigo (toneladas) -1991



Figura 2. Producción de trigo (toneladas)-2006

El presente proyecto se basa en un estudio 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), 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 casi 9,500 muestras de semilla en más 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). Se colectó un total de 9,441 trigos harineros y 53 trigos duros de razas criollas.

El proyecto actual tiene dos componentes principales. En primer término, la evaluación de campo de un subconjunto de 9,500 razas criollas mexicanas en ensayos de estrés de sequía controlada en el área experimental del CIMMYT en la estación del CIANO, cerca de Cd. Obregón, Sonora. 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 esta investigación se presentan los resultados obtenidos en cuanto al segundo objetivo del proyecto.

1.3 OBJETIVO GENERAL

- Predecir cuales regiones de México tienen o tuvieron razas criollas mexicanas de trigo con comportamiento excepcional bajo sequía controlada.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaborar mapas digitales y modelos predictivos para México incluyendo variables edáficas, ambientales, demográficas, de sequía e irrigación, seleccionadas; usando herramientas de Sistemas de Información Geográfica tales como ArcMap, Flora Map y ArcView.

-
- Desarrollar una metodología sustentada en Sistemas de Información Geográfica de modo que podría ser considerada como un estudio de "prueba conceptual".

1.5 JUSTIFICACIÓN

Los cambios climáticos que está sufriendo el mundo actual, obligan a la humanidad a tomar medidas preventivas que garanticen su sobrevivencia; México no es la excepción, y una de esas medidas se enfoca al agro mexicano, el cual es afectado por prolongadas sequías, por ello, el presente estudio se enfatiza en localizar regiones dentro del territorio mexicano que cumplan con ciertas características tanto ambientales, de suelo, sequía e irrigación, que garanticen el cultivo de razas criollas mexicanas de trigo con comportamiento excepcional bajo sequía controlada.

Los primeros trigos fueron introducidos a México en la primera mitad del siglo XVI, posiblemente hacia 1523 por monjes Dominicos, quienes en Oaxaca producían harina para elaborar pan sacramental. Especialmente en este periodo temprano, muchos de estos trigos fueron cultivados bajo condiciones de temporal con humedad residual. Durante las últimas seis décadas, muchas de estas razas criollas fueron reemplazadas por los agricultores a favor de trigos modernos (Skovmand *et al.*, 1997). Dado el potencial genético de las introducciones originales, se vio la necesidad de identificarlas para mantener algo de esa diversidad antes que todas o la mayor parte de ellas se perdiesen. Algunas de estas razas criollas fueron colectadas en México en los años 30 y 40 pero desafortunadamente se perdieron (Skovman, 1997). Recorridos de colecta hechos por INIFAP y CIMMYT a principios de los 90 indicaron que todavía se cultivaba un buen número de diversas razas criollas en México. Se creía entonces que estos trigos criollos ya no eran cultivados en España, ni eran mantenidos en colecciones ex-situ en los bancos de germoplasma españoles.

Como resultado de estas observaciones, se puso en marcha en 1994 el proyecto titulado "Colección, Preservación y Caracterización de Trigos y Centenos Criollos de Origen Español de Trigo y Centeno en México" (Ref. Convenio FB094/E101/94) entre CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad) y CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo). Los dos objetivos de este proyecto fueron:

1. Colectar variedades de trigo antiguo introducidas de España en la época colonial, y multiplicar suficiente semilla para mantener estas colecciones seguras en instalaciones de conservación ex-situ.

-
2. Caracterizar y evaluar estas razas criollas con respecto a su potencial para utilizarlas en fitomejoramiento moderno.

Así, el primer objetivo fue cabalmente logrado sobre lineamientos establecidos. Respecto al segundo objetivo, se llevaron a cabo varios estudios, entre ellos:

- La evaluación preliminar de un subconjunto de materiales criollos colectados, así como su respuesta al cultivo hidropónico con elevados niveles de aluminio, indicativo del potencial de adaptación a suelos ácidos (Hede *et al.*, 1997).
- La evaluación de tolerancia al calor en un subconjunto de 2,255 muestras (Hede *et al.*, 1999).
- La evaluación de 465 selecciones de espigas individuales procedentes de 24 sitios, con respecto a 15 características agronómicas (DeLacy *et al.*, 2000).
- La presencia de carbón común en muestras de Coahuila (Huerta-Espino *et al.*, 2001).
- La evaluación de un subconjunto según la respuesta de resistencia a áfido ruso del trigo (*Diuraphis noxia*).
- La evaluación de 1,600 accesiones de Oaxaca, más otras 400 líneas en un sitio techado y cubierto para ver su respuesta a sequía artificial y luego seleccionar las mejores para probarlas en Sonora (Skovmand *et al.*, 2002).

Un estudio preliminar bajo condiciones de sequía extrema en parcelas pequeñas con dos repeticiones en la estación del CIANO, del CIMMYT, Cd. Obregón, Sonora, durante el ciclo del año 2004, identificó 5 % de los 9,494 trigos criollos mexicanos con posibilidades de tolerancia a sequía más allá de la observada en el germoplasma más moderno. El presente estudio se enfoca a la 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 SIG, más que a la línea genética que siguen estas variedades.

Por tanto el componente clave del proyecto se centrará en el desarrollo y la aplicación de una nueva metodología, que incluya el uso de herramientas de SIG tales como ArcMap, para la elaboración de mapas digitales y modelos predictivos para México incluyendo variables ambientales, de suelo, sequía e irrigación, previamente seleccionadas de cada uno de los sitios de colecta.

Los lugares de colección de los 9,494 trigos criollos Mexicanos serán “plateados”; además, se medirán las características de comportamiento en condiciones de sequía y las características fisiológicas relacionadas en ensayos bajo ambiente controlado en Cd. Obregón para incluirse como variables analíticas en modelos de análisis de puntos espaciales, los que a su vez permitirán desarrollar modelos predictivos que incorporen variables ambientales encontradas como asociadas con tolerancia a sequía. El propósito será predecir cuales regiones dentro de México tienen o tuvieron razas criollas con comportamiento excepcional bajo sequía controlada. Esto permitirá la identificación de ciertas regiones de México donde la colecta adicional puede muestrear una mayor frecuencia de materiales tolerantes a sequía. Es posible que tales accesiones con su larga historia de exposición a diversas condiciones ambientales, puedan contener genes que representen una diversidad nueva, no estudiada, tema que no se abordará en el presente estudio.

1.6 ALCANCES

La investigación será realizada en:

1. CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo), conjuntamente con la UACH (Universidad Autónoma Chapingo), específicamente en el área de Sistemas de información Geográfica.
2. Se realizará con información proporcionada por ambas instituciones.
3. La información que se utilizará permitirá:
 - a) Evaluar la resistencia a sequía en razas criollas mexicanas de trigo y determinar las relaciones entre la respuesta de sequía y el lugar de colecta mediante las herramientas de Sistemas de información Geográfica (SIG).
 - b) Elaborar mapas digitales y modelos predictivos para México incluyendo variables edáficas, ambientales, demográficas, de sequía e irrigación; de zonas potenciales para el cultivo de trigo bajo condiciones de sequía.
4. 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.
5. Finalmente, se debe tener claro que el alcance primordial de la investigación es la determinación de zonas potenciales, en México, para el cultivo de trigo, bajo condiciones de sequía, mediante las herramientas de SIG

1.7 LIMITANTES

Las principales limitantes en el presente estudio incluyen:

1. 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.
2. 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.
3. 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.

1.8 ORGANIZACIÓN DEL ESTUDIO

Capítulo 1. Introducción

Se presenta el planteamiento del problema. La presente investigación se refiere a la 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 Sistemas de información Geográfica (SIG). Se presenta el objetivo general y los objetivos específicos de la investigación, así como sus alcances y limitaciones y finalmente la justificación de la investigación.

Capítulo 2. Marco Teórico

Se presenta el fundamento teórico de la investigación, que consiste en tomar como base los conceptos, teorías, investigaciones y/o antecedentes útiles para el estudio. Dado que se va a realizar una evaluación de resistencia a sequía en razas criollas mexicanas de trigo, utilizando herramientas de SIG, se definirá en qué consiste la sequia, los Sistemas de Información Geográfica, así como aspectos físicos, biológicos y económicos del cultivo de trigo.

Capítulo 3. Metodología

En este capítulo se menciona cómo se realizó la investigación, la metodología que se siguió y utilizó para la obtención de variables, datos e información, la formulación de la hipótesis y los métodos a seguir para la aplicación correcta de dicho estudio.

Capítulo 4. Análisis Estadístico

En este punto se presentan, los fundamentos teóricos y prácticos que garanticen una mayor confiabilidad en la manipulación de los datos, a los cuales se aplicará la investigación.

Capítulo 5. Resultados Obtenidos

Se presenta la propuesta del Proyecto de Tesis, esto es, se desarrolla el Marco Teórico de manera explícita y se muestran los resultados extraídos de la investigación en forma clara y con su respectivo análisis.

Capítulo 6. Conclusiones y Limitantes

Finalmente, dentro de este capítulo se encuentran las conclusiones y limitantes de la investigación, esto es, la respuesta a los objetivos específicos establecidos en un principio; para la 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 Sistemas de información Geográfica (SIG) que se fundamenta en el Marco Teórico.

Anexos

Bibliografía

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 INTRODUCCIÓN

La sequía hoy por hoy es uno de los principales problemas a los que se enfrenta el sector agrícola, no solo México sufre los estragos de una disminución en las precipitaciones pluviales; varias zonas del planeta presentan el mismo problema; lo que repercute de manera directa en la alimentación de sus poblaciones, pues sus producciones no alcanzan a satisfacer las necesidades alimentarias de las mismas, generando de esta manera rezago y pobreza entre sus habitantes.

Es un problema de tal magnitud que los gobiernos, y organizaciones mundiales como FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación), e instituciones filantrópicas; han tomado cartas en el asunto e implementado programas de apoyo al campo, para mejorar las técnicas producción bajo condiciones de sequia, con la finalidad de erradicar la hambruna en las poblaciones.

Tales programas, se han complementado con la tecnología que impera en la actualidad, como es el caso de los Sistemas de Información Geográfica, herramienta mediante la cual se pueden realizar estudios detallados de zonas en particular, definiendo para ello las variables de interés.

En el presente estudio se relacionan los SIG, con el cultivo de trigo bajo condiciones de sequia, mostrando para ello una pequeña revisión bibliográfica de dichos temas, con la finalidad de hacer más comprensible la investigación.

2.2 SEQUIA

La sequía es un rasgo normal recurrente del clima. Ocurre en casi todas las partes del mundo, aunque sus características varían de región a región; se origina por una deficiencia de precipitación durante un periodo prolongado de tiempo, resultando una escasez de agua para alguna actividad, grupo o sector del medio ambiente; lo que hace evidente que no puede considerarse únicamente como un fenómeno físico, sino también social.

La sequía debe considerarse como una relación a mediano y largo plazo entre las precipitaciones y la evapotranspiración (evaporación por transpiración) en un área particular. También está relacionada con el calendario, es decir, la principal temporada de ocurrencia, los retrasos en el inicio de la temporada de lluvias, ocurrencia de estas en relación con las principales etapas de crecimiento de los cultivos; y la eficacia (intensidad y número de eventos de precipitaciones) de las lluvias. Otros factores climáticos tales como altas temperaturas, fuertes vientos y baja humedad relativa son a menudo asociados con ella en muchas regiones del mundo y pueden agravar significativamente su intensidad. (UN/ISDR, 2007).

La sequía no debe ser considerada únicamente como un fenómeno físico, pues sus impactos en la sociedad son a menudo el resultado de la interacción entre un evento natural (menos precipitaciones de lo esperado como consecuencia de la variabilidad climática natural) y la demanda de personas en el lugar de abastecimiento de agua.

2.2.1 DEFINICION DE SEQUIA: CONCEPTUAL Y OPERACIONAL

2.2.1.1 CONCEPTUAL

Ayudan a entender el concepto de sequía. Por ejemplo: La sequía es un período prolongado de deficientes precipitaciones que han causado un gran daño a los cultivos, lo que resulta en la pérdida de rendimiento. (UN/ISDR, 2007).

2.2.1.2 OPERACIONAL

Ayudan a identificar el inicio, final, e intensidad de la sequía. Esto suele hacerse mediante la comparación de la situación actual con la media histórica, a menudo sobre un período de registro de 30 años. (UN/ISDR, 2007).

Existen diversas definiciones tanto conceptuales como operacionales de sequia, sin embargo, en términos de tipologías, estas son comúnmente clasificadas como meteorológicas, agrícolas, hidrológicas, y socio-económicas.

2.2.2 SEQUIA METEOROLOGICA

Se define generalmente sobre el grado de sequedad y la duración del período seco. La definición de sequía meteorológica debe ser específica para cada región ya que las condiciones atmosféricas que se traducen en deficiencias de las precipitaciones son muy variables de una región a otra. (UN/ISDR, 2007).

2.2.3 SEQUIA AGRICOLA

La sequía agrícola vincula diferentes características meteorológicas, centrándose en la escasez de precipitaciones, la evapotranspiración potencial de las plantas, el déficit de agua en el suelo, el agua subterránea reducida o los niveles de embalse; así como las características biológicas específicas de la planta, su etapa de crecimiento, y de la física y las propiedades biológicas del suelo. (UN/ISDR, 2007). Se habla de sequía agrícola cuando la cantidad de agua disponible en el medio ambiente para que un determinado cultivo, germine, madure y tenga un rendimiento óptimo, no es la adecuada.

2.2.4 SEQUIA HIDROLOGICA

Se asocia con los efectos de los períodos de precipitación (nieve incluida), que se reflejan en déficits de agua en la superficie (reducción de caudales, depósitos y niveles de ríos y lagos) y abastecimiento de agua en el subsuelo (aguas subterráneas). Aunque el clima es el principal contribuyente de la sequía hidrológica, otros factores tales como el cambio de uso de suelo (por ejemplo, la deforestación), la degradación de la tierra, y la construcción de presas, afecta a todas las características hidrológicas. (UN/ISDR, 2007).

2.2.5 SEQUIA SOCIOECONOMICA

La sequía Socioeconómica se produce cuando la demanda de un bien económico es superior a la oferta del mismo, como consecuencia de un déficit en el abastecimiento de agua, para la producción de estos. En la mayoría de los casos, la demanda de bienes económicos es cada vez mayor, resultado de un aumento de la población y el consumo per cápita. (UN/ISDR, 2007).

Cuando comienza la sequía, el sector agrícola es por lo general el primero en ser afectado debido a su fuerte dependencia por almacenar agua; afectando consecuentemente a la población. Las sequías agrícola, hidrológica, y socio-económica se producen con menos frecuencia que la sequía meteorológica porque los impactos en estos sectores están relacionados con la disponibilidad de las aguas superficiales y del subsuelo.

La adopción de prácticas de labranza y la plantación de variedades más resistentes a la sequía puede disminuir el efecto de la misma significativamente por la conservación de agua en el

suelo y la reducción de la transpiración. Por lo tanto, los efectos de la sequía son un producto tanto natural como de nuestra capacidad para gestionar el riesgo.

2.2.6 INDICES DE PRECIPITACION

Para medir los estragos y riesgos de la sequia, los científicos se han dado a la tarea de crear índices de precipitación, como medidas que garanticen el análisis de la misma, con la finalidad de prevenir y/o conocer más sobre fenómeno. Hay varios índices que miden la cantidad de precipitación pluvial para un determinado período; ninguno de los cuales es estrictamente superior al resto de los demás; sino que cada uno por separado funciona adecuadamente según las circunstancias y variables a evaluar, es decir, algunos son más adecuados que otros para determinados usos. En la mayoría de las investigaciones relacionadas a la sequia resulta útil consultar uno o más índices antes de tomar una decisión. Los principales índices empleados son:

2.2.7 INDICE DE PORCENTAJE NORMAL

Muy eficaz para la comparación de una sola región o temporada; es una de las más simples mediciones de las precipitaciones de un lugar, por lo que fácilmente es mal interpretado y da indicadores de diferentes condiciones, dependiendo de la ubicación y temporada. Se calcula dividiendo la precipitación real (actual) entre la precipitación normal (periodo de 30 años), multiplicando el resultado por 100 para obtener el porcentaje. Esto puede ser calculado para una variedad de escalas de tiempo. Normalmente, estas escalas van desde un solo mes a un grupo de meses que representan una particular temporada, o estación del año. La precipitación normal para un lugar específico se considera 100%. El uso de este índice implica una distribución normal, donde la media y la mediana se consideran la misma. (Willeke et al., 1994).

2.2.8 INDICE DE PALMER (PDSI, por sus siglas en inglés)

Desarrollado por W. C. Palmer, en 1965; es un algoritmo para medir la humedad del suelo, enfocado a regiones relativamente homogéneas; fue el primer índice de sequía desarrollado en los Estados Unidos. Sus principales desventajas radican en que no es muy adecuado para las zonas montañosas o zonas con condiciones climáticas extremas; además de que la escala de tiempo no se especifica lo que puede ser muy engañoso.

W.C. Palmer desarrolló este índice para medir la oferta de la humedad (Palmer, 1965); basó su índice sobre la oferta y la demanda en concepto de la ecuación de balance hídrico, teniendo en cuenta algo más que el déficit de precipitación en lugares específicos. El objetivo de este índice era proporcionar las mediciones de las condiciones de humedad que se han normalizado por lo que las comparaciones utilizando el índice podían hacerse entre lugares y entre meses (Palmer 1965).

El Índice de Palmer se aplica dentro de los Estados Unidos, pero tiene poca aceptación en otros lugares (Kogan, 1995). Una explicación para esto es suministrada por Smith et al. (1993), quien sugirió que no es muy exacto en regiones donde hay extremos en la variabilidad de las precipitaciones o la escorrentía. En el Cuadro 1 se muestran los valores y descripción de este índice.

INDICE DE PALMER	
4 ó Más	Extremadamente Húmedo
3.0 a 3.99	Muy Húmedo
2.0 a 2.99	Moderadamente Húmedo
1.0 a 1.99	Ligeramente Húmedo
0.5 a 0.99	Incipientemente Húmedo
0.49 a -0.49	Cerca de Normal
-0.5 a -0.99	Sequía Incipiente
-1.0 a -1.99	Sequía Leve
-2.0 a -2.99	Sequía Moderada
-3.0 a -3.99	Sequía Grave
-4.0 ó Menos	Sequía Extrema

Cuadro 1. Índice de Palmer

El PDSI es un índice de sequía meteorológica, que responde a las condiciones climáticas que han sido anormalmente secas o anormalmente húmedas en cierto lugar. Cuando cambian las condiciones de normal a seco o húmedo, el PDSI no toma en cuenta el caudal, el lago y los niveles de embalse, y a más largo plazo los impactos hidrológicos (Karl y Knight, 1985). El PDSI se calcula sobre la base de la precipitación y la temperatura de datos, así como el contenido de agua disponible (AWC), de la tierra. A partir de los insumos, todos los términos básicos de la ecuación de

balance hídrico se pueden determinar, incluyendo la evapotranspiración, recarga del suelo, el escurrimiento, y la pérdida de humedad de la capa superficial. Los impactos humanos sobre el balance hídrico, como el riego, no se consideran. La descripción completa de las ecuaciones se puede consultar en el estudio original realizado por Palmer (1965) y en el más reciente análisis realizado por Callejón (1984).

2.2.9 INDICE DE PRECIPITACION ESTANDARIZADO (SPI, por sus siglas en inglés)

Es un índice basado en la probabilidad de precipitación para cualquier escala de tiempo. Puede ser calculado para diferentes escalas proporcionando una alerta temprana de sequía y ayuda a evaluar la gravedad de esta; es menos complejo que el índice de Palmer.

Desarrollado por: T.B. McKee, NJ Doesken, J. y Kleist, Colorado State University, 1993. Fue diseñado para cuantificar el déficit de precipitación para múltiples escalas de tiempo. Estas escalas reflejan los efectos de la sequía sobre la disponibilidad de los diferentes recursos hídricos. La humedad del suelo responde a los cambios de precipitación en un periodo relativamente corto; mientras que las aguas subterráneas, los caudales de ríos, y mantos friáticos, reflejan este cambio a largo plazo. Por estas razones, McKee et al. (1993) originalmente calculo SPI para 3, 6, 12, 24, y 48 meses.

El cálculo de SPI para cualquier lugar se establece a largo plazo, registrando la precipitación en el periodo deseado. Este registro sigue una distribución de probabilidad, que luego se transforma en una distribución normal (normalización) de modo que la media de SPI y la ubicación deseada del periodo sea igual a cero (Edwards y McKee, 1997). Los valores positivos de SPI indican una mayor precipitación, y los valores negativos una menor precipitación.

McKee et al. (1993) utiliza el sistema de clasificación que se muestra en el Cuadro 2 para definir la intensidad de sequía que expresan los índices de SPI. McKee et al. (1993) también define los criterios para cada caso de sequía en cualquiera de las escalas de tiempo. La sequía se produce cuando el índice SPI es continuamente negativo y alcanza una intensidad de -1.0 o menos. Se dice que no habrá sequía si SPI se convierte en positivo. Cada caso de sequía, tiene una duración definida por un comienzo y un final, y una intensidad por cada mes. La suma de los índices SPI para todos los meses que presenten sequía proporcionara la magnitud de la misma.

INDICE SPI	
2 ó Más	Extremadamente Húmedo
1.5 a 1.99	Muy Húmedo
1.0 a 1.49	Moderadamente Húmedo
-0.99 a 0.99	Cerca de Normal
-1.0 a -1.49	Moderadamente Seco
-1.5 a -1.99	Severamente Seco
-2 o Menos	Extremadamente Seco

Cuadro 2. Índice SPI

2.2.10 INDICE DE HUMEDAD DE CULTIVOS (CMI, por sus siglas en ingles)

Desarrollado por: W.C. Palmer, 1968, es un derivado del índice de Palmer (PDSI), que refleja la humedad a corto plazo en los principales cultivos de las regiones estudiadas; no está destinado a evaluar a largo plazo las sequías; pero si tiene la facultad de identificarlas

El índice de humedad de cultivos (CMI) utiliza un enfoque meteorológico para vigilar semana a semana las condiciones de los cultivos. Se basa en la media de la temperatura y la precipitación total para cada semana, así como el valor CMI de la semana anterior.

Debido a que está diseñado para controlar a corto plazo condiciones de humedad que afectan a un cultivo en desarrollo, el CMI no es una buena herramienta a largo plazo para el estudio de sequía.

2.2.11 INDICE DE RECUPERACION DE SEQUIA (I + D + i)

El Índice de Recuperación de Sequía (I + D + i) ha sido recientemente desarrollado como una herramienta para la definición de la gravedad y duración de la misma, y para predecir el inicio y el final de sus períodos. Se calcula con un nivel de cuenca hidrográfica, que incorpora el suministro de componentes de precipitación; es adaptable a cada región en particular y su principal fortaleza es su capacidad para tener en cuenta tanto el clima como los factores de abastecimiento de agua.

2.2.12 DECILES

Son grupos de precipitación mensual, basados en la segmentación de una distribución normal, donde por definición el clima no puede ocurrir más a menudo que el 20% del tiempo; proporcionan una medición estadística exacta de las precipitaciones, con el inconveniente de que cálculos precisos requieren un largo registro de datos climáticos.

Fue desarrollado por Gibbs y Maher (1967) a fin de evitar algunas de las deficiencias del "Índice de Porcentaje Normal". Dividen a la distribución normal en Deciles, el primer decil es la cantidad de precipitación que no ha excedido el 10% más bajo de los registros. El segundo decil es la cantidad de precipitación que no ha excedido el 20% más bajo de los registros. Estos deciles continuaran hasta que la cantidad de lluvias registrada por el décimo decil sea mayor a la cantidad de precipitaciones en el largo plazo. Por definición, el quinto decil es la mediana, y es la cantidad de precipitación que no supera en un 50% los datos durante el periodo de registro. Los deciles se agrupan en cinco clasificaciones, como se muestra en el Cuadro 3.

DECILES CLASIFICACIONES	
Deciles 1-2 (20%)	Muy por debajo de lo Normal
Deciles 3-4 (40%)	Por debajo de lo Normal
Deciles 5-6 (60%)	Cerca de lo Normal
Deciles 7-8 (80%)	Por encima de lo Normal
Deciles 9-10 (100%)	Muy por encima de lo Normal

Cuadro 3. Clasificación Deciles

En la presente investigación se empleo el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI), a fin de vigilar las condiciones de suministro de humedad, dado que este índice identifica las nuevas sequías meses antes de lo que el Índice de Palmer y su cálculo se da en diversas escalas de tiempo.

2.3 TRIGO

El trigo es la planta más ampliamente cultivada del mundo, puede incluso superar la cantidad de todas las demás especies productoras de semillas, silvestres o domesticadas. Cada mes del año una cosecha de trigo madura en algún lugar del mundo. Es la cosecha más importante en los Estados Unidos y Canadá y crece en extensas zonas en casi todos los países de América Latina, Europa y Asia. (INFOAGRO, 2008)

Es una planta de la familia *Poaceae*, con espigas de cuyos granos molidos se saca la harina, de la cual existe un gran número de especies. Las más comunes son el trigo macarronero *Triticum turgidum* var. *durum* y el trigo harinero o panadero *Triticum aestivum*, este último, el cereal panificable más cultivado en el mundo". Contiene los cinco nutrientes: carbohidratos, proteínas, grasas, minerales y vitaminas (Scade, 1975).

2.3.1 ORIGEN

El origen del actual trigo cultivado se encuentra en la región asiática comprendida entre los ríos Tigris y Eufrates, habiendo numerosas gramíneas silvestres comprendidas en esta área y están emparentadas con el trigo. Desde Oriente Medio el cultivo del trigo se difundió en todas las direcciones. (Scade, 1975).

Las primeras formas de trigo recolectadas por el hombre hace más de doce mil años eran del tipo *Triticum monococcum* y *T. dicocccum*, caracterizadas fundamentalmente por tener espigas frágiles que se disgregan al madurar. (Scade, 1975).

2.3.2 CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA

- Reino: Vegetal
- División: *Spermatophyta*
- Clase: Monocotiledonea
- Orden: Poales
- Familia: *Poaceae*
- Género: *Triticum*
- Especie: Existe una gran variedad de especies. Entre las más útiles al ser humano se encuentran: *Triticum aestivum* L. y *Triticum turgidum* L.

2.3.3 CONDICIONES EDAFO-CLIMÁTICAS

- **Suelo y pH**

El trigo requiere de suelos profundos, para el buen desarrollo del sistema radicular, con buen contenido de materia orgánica y de un buen drenaje; pH de 6.0 a 7.0 como óptimo, sin embargo, puede tolerar un pH más alto. Prospera mal en tierras ácidas; las prefiere neutras o algo alcalinas. También los microorganismos beneficiosos del suelo prefieren los suelos neutros o alcalinos (INFOAGRO, 2008).

- **Temperatura**

La temperatura ideal para el crecimiento y desarrollo del trigo está entre 20° C y 30° C. El trigo se cultiva principalmente en zonas templadas, sin embargo, las plantas pueden crecer en áreas con temperaturas altas. En el Cuadro 4, se muestran las temperaturas en grados centígrados, a las cuales el cultivo de trigo se adapta. (INFOAGRO, 2008).

Cultivo	°T mínima	°t óptima	°t máxima
Trigo	2 a 4	20 a 30	31 a 43

Cuadro 4. Temperaturas mínimas, óptimas y máximas para el cultivo del trigo

- **Humedad**

Respecto a la humedad del suelo el trigo requiere entre 600 mm hasta 800 mm de agua por ciclo. La luz no es un factor limitante, debido a la generación de variedades mejoradas que se han adaptado bien a fotoperiodos cortos. Se ha demostrado en años secos que un trigo puede desarrollarse bien con 300 ó 400 mm de lluvia, siempre que la distribución de esta lluvia sea escasa en invierno y abundante en primavera (INFOAGRO, 2008).

2.3.4 SIEMBRA

El trigo tiene 2 estaciones de crecimiento:

- **El trigo invernal.** Se planta en otoño y se cosecha en primavera. El grano germina en otoño y crece lentamente hasta la primavera. Las heladas podrían afectar adversamente a las plantas jóvenes, pero una capa de nieve las protege e induce al aislamiento.
- **El trigo primaveral.** Se planta en primavera y se cosecha a principios de otoño. En lugares que padecen inviernos demasiado rigurosos, se siembra el trigo en primavera, lo más

pronto posible, de manera que se pueda recoger la cosecha antes de que comiencen los hielos de otoño.

Se efectúa generalmente en seco, empleando técnicas de siembra al voleo o en hileras a chorrillo. La siembra al voleo consiste en la distribución de la semilla sobre el suelo lo más homogéneamente posible, puede realizarse de manera manual o utilizando sembradoras centrífugas. La siembra en hileras se lleva a cabo con sembradoras de precisión para granos pequeños, la distancia entre surcos varía entre los 10 cm hasta 20 cm. La fecha de siembra para el ciclo Otoño-Invierno es desde el 15 de noviembre hasta el 31 de diciembre; para el ciclo de verano, se siembra cuando se establecen las lluvias del temporal. (Anuario Estadístico para México, 2005)

La densidad de siembra varía en función de diversos factores como:

- Forma de preparación del terreno (Labranza tradicional o labranza de conservación)
- Tipo de siembra (riego o temporal)
- Tipo de semilla (certificada o seleccionada)
- Método de siembra (manual o mecanizado). Técnica de siembra: Al voleo ó en hilera

Sin embargo, de manera general podemos decir que la densidad de siembra más utilizada para temporal varía entre los 100 Kg a 120 Kg de semilla por hectárea, mientras que en riego se siembran hasta 250 Kg de semilla por hectárea. En México, la mayor cantidad de trigo cultivado es bajo condiciones de riego, siendo esta en porcentaje mayor a 70 %, mientras que el cultivo de temporal, cada vez está siendo menor en gran parte por las sequías que afectan al país. (Anuario Estadístico para México, 2005).

Las características climáticas de las localidades donde se cultiva el trigo de primavera, máxima pluviosidad en primavera y comienzo de verano y máxima temperatura en pleno y final de verano favorecen la producción de granos de maduración rápida, con endospermo de textura vítrea y alto contenido proteico adecuado para la panificación. El área de producción de trigos de primavera se va extendiendo progresivamente hacia el hemisferio norte, con la introducción de variedades nuevas cultivadas por sus características de maduración rápida.

El trigo de invierno, cultivado en un clima de temperatura y pluviosidad más constantes, madura más lentamente produciendo cosechas de mayor rendimiento y menor riqueza proteica, más adecuado para galletas y pastelería que para panificación.

2.3.5 FERTILIZACIÓN

El nitrógeno (Scade, 1975) es el elemento que más frecuentemente se requiere en la producción de trigo, sin embargo, es recomendable realizar análisis de suelo para saber la cantidad de nitrógeno disponible, así como de otros elementos nutritivos. En caso de que exista un exceso de nitrógeno disponible para el trigo puede traer consecuencias negativas como son:

- a) Prolongación de la fase vegetativa
- b) Retraso de la maduración
- c) Disminución de la resistencia al frío
- d) Mayor sensibilidad a enfermedades y al acame

El trigo aprovecha adecuadamente el nitrógeno en las etapas fenológicas de germinación y amacollamiento, una fertilización tardía con este elemento puede provocar que el cultivo produzca flores estériles. Se estima que para producir 1000 Kg de grano, el cultivo extrae alrededor de 30 a 35 Kg de nitrógeno del suelo (Scade, 1975).

El elemento fósforo, endurece los tejidos de trigo, dando mayor rigidez a la planta, mejorando la resistencia a heladas, al acame, siendo además un elemento importante en la fecundación de la flor anticipando la maduración de la semilla. Este elemento debe ser aplicado al momento de la siembra y el cultivo lo requiere en cantidades que oscilan entre los 80 Kg hasta los 100 Kg por hectárea (Scade, 1975).

El elemento potasio interviene en la formación de almidón y en el desarrollo de las raíces del trigo, reduce la transpiración, por lo que aumenta la resistencia a la sequía, a enfermedades, y al frío. El potasio es requerido en mayores cantidades en la etapa de encañado del cultivo necesitándose en un promedio 40 Kg por hectárea (Scade, 1975).

2.3.6 RIEGO

El trigo requiere mayor cantidad de agua durante la germinación, la floración y la formación del grano. La cantidad de agua que se debe proporcionar al cultivo depende directamente, de la precipitación y de la evaporación. De manera general se realiza un riego de pre siembra o al momento de la siembra y de 4 a 5 riegos de auxilio, dependiendo de la textura del suelo. Los riegos

de auxilio se le proporcionan al trigo tomando en cuenta las condiciones del clima y del estado fenológico del cultivo de la siguiente manera:

- a) Primer riego de la siembra para la germinación de la semilla
- b) Segundo riego durante el estado de amacollamiento
- c) Tercer riego durante el encañe
- d) Cuarto riego durante la formación de la banderilla o embuche
- e) Quinto riego durante la floración
- f) Último riego durante el estado lechoso del grano.

Para el trigo se usa con frecuencia el sistema de riego por gravedad, en la modalidad de surcos o por inundación; en algunos casos se usa riego por aspersión.

2.3.7 COSECHA

El trigo se cosecha cuando los granos se encuentran bien maduros, utilizándose principalmente dos indicadores de cosecha:

- a) El porcentaje de humedad en el grano no debe de ser mayor a 16 %
- b) La coloración de la espiga es de un amarillo-rojizo y su raquis se rompe fácilmente.

Los métodos que se utilizan en la cosecha de trigo son el manual y el mecánico. El método manual consiste en la siega del cultivo utilizando herramientas como hoz y guadaña, se forman gavillas para que el grano termine de perder humedad, cuando la espiga se desgrana es el momento de trillar y limpiar el grano. El método mecánico consiste en el uso de máquinas asociadas como cosechadoras combinadas, estas cortan, trillan y limpian el grano en una sola operación. En la producción a pequeña escala se puede trillar con animales de tiro.

La época de cosecha es en el mes de mayo para siembras de otoño-invierno y el mes de noviembre para las siembras de verano.

2.3.8 RENDIMIENTO

El rendimiento del cultivo del trigo ha aumentado de manera exponencial a nivel mundial en los últimos años debido a la mejora genética de las variedades y a la mejora de las técnicas de

manejo del cultivo. El rendimiento se basa en tres parámetros fundamentales como son: número de plantas por unidad de superficie, número de granos por planta y peso del grano, y cuyo producto daría como resultado el rendimiento final del cultivo.

El número de plantas por unidad de superficie se regula mediante la densidad de siembra; siendo los otros dos parámetros regulables por la mejora genética, especialmente el número de granos por planta, éste no se ha obtenido aumentando el número de ahijamientos, sino a que las espigas de las nuevas variedades contienen más granos que las antiguas.

El aumento de biomasa de las nuevas variedades de trigo a dado lugar a un aumento en el rendimiento de paja. El índice más utilizado para medir la eficacia de la planta para transformar la biomasa en grano es el índice de cosecha, que es la relación porcentual entre el peso del grano y el peso total de la planta. Este índice ha tenido un papel fundamental en la mejora de los rendimientos en trigo harinero.

2.3.9 COMERCIALIZACIÓN

La comercialización del trigo está regionalizada de manera similar a la que se tiene en la producción, siendo las regiones más importantes la del bajo y el Noreste. En el Cuadro 5 se muestra la comercialización en la región del bajo (Anuario Estadístico para México, 2005).

CONCEPTO	PORCENTAJE
Comercializadores Privados	42
Harineras Locales	26
Industrias del pan, galletas y repostería	25
Otros	7

Cuadro 5. Comercialización en la región del bajo.

2.3.10 IMPORTANCIA ECONÓMICA Y DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA

El trigo se cultiva en todo el mundo, desde los límites del Ártico hasta cerca del Ecuador, aunque la cosecha es más productiva entre los 30° y 60° de latitud Norte y entre 27° y 40° de latitud Sur. Las altitudes varían desde el nivel del mar a los 3.050 m en Kenya y 4572 m en el Tíbet. Es

adaptable a condiciones diversas, desde las xerofíticas, hasta las de la costa. Las variedades cultivadas que son de muy diferente genealogía y crecen bajo condiciones de suelo y clima muy variados, muestran características muy diversas. (INFOAGRO, 2008).

En México, la producción de trigo, esta regionalizada, y comprende dos principales zonas, la del Bajío en el centro del país, y la del Noroeste del mismo. Donde para el año 2005 se sembraron 538,027 hectáreas, cosechándose 533,510 hectáreas con un rendimiento promedio de 5.267 ton/ha (anuario estadístico agropecuario, 2005); la mayor parte de ellas bajo condiciones de riego (Anuario Estadístico para México, 2005).

Es considerado un alimento para consumo humano, aunque gran parte se destina a la alimentación animal, así como a subproductos de la transformación industrial. La propiedad más importante del trigo es la capacidad de cocción de la harina debida a la elasticidad del gluten que contiene. Esta característica permite la panificación, constituyendo un alimento básico para el hombre. Se cultiva en todo el mundo siendo la principal área la zona templada del hemisferio norte.

Encabezando la lista por volumen de producción de trigo mundial, se encuentran China, India, Estados Unidos, Rusia, Francia (pertenece a la Unión Europea, donde es el principal productor) y Canadá, en ese orden. Países latinoamericanos aparecen hasta en el lugar número 14 con Argentina y México en el número 25. El volumen de China en 1992 fue de 3,733 millones y el de México en el mismo año fue de 115 millones. (Anuario Estadístico para México, 2005).

2.3.11 PROBLEMÁTICA ACTUAL DEL TRIGO EN MÉXICO

La situación actual de la comercialización del trigo con precios internacionales a la alza y con el incremento en la dependencia de los trigos de importación por parte de la industria nacional, ha afectado significativamente la economía del cultivo del trigo en México (Anuario Estadístico para México, 2005).

Los costos de producción por tonelada de trigo se han incrementado notablemente sobre todo en la última década, en tanto que la tasa de los rendimientos se ha estancado y para algunos periodos ha sido incluso negativa (ver Figura 3).

El continuo incremento de los costos del bombeo de agua del subsuelo ha originado que el trigo cosechado en esa modalidad eleve sus costos de producción, colocando a los productores

trigueros en una situación de baja competitividad en los mercados de granos, provocando que se ponga en riesgo la sostenibilidad de la actividad triguera (Anuario Estadístico para México, 2005).

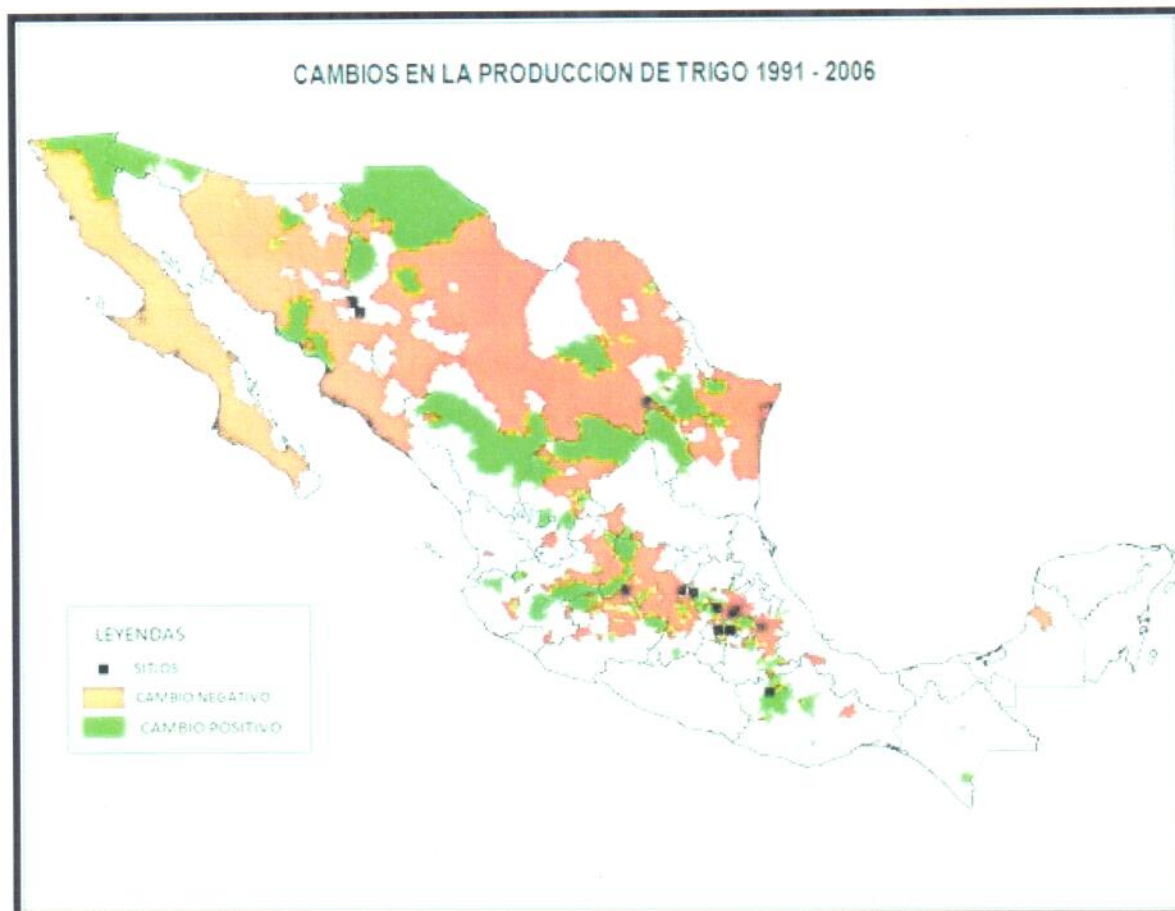


Figura 3. Cambios en la producción de trigo 1991-2006

2.3.12 USOS

La mayor parte del trigo completo libre de envolturas se destina para elaborar harinas. Esta harina es usada para productos tales como el pan, pasteles, galletas y macarrones. Entre las preparaciones industriales del trigo completo se encuentran: trigo integral, trigo inflado, harina, pan, pasta, salvado, cereales para desayuno, etc.

2.4 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)

En 1854 el pionero de la epidemiología, el Dr. John Snow proporcionó, el clásico ejemplo de este concepto cuando cartografió la incidencia de los casos de cólera en un mapa del distrito de SoHo en Londres. Este *protoSIG* permitió a Snow localizar con precisión un pozo de agua contaminado como fuente causante del brote (Wikipedia/SIG, 2008).

Un **Sistema de Información Geográfica (SIG o GIS**, por sus siglas en inglés) es una integración organizada de *hardware*, *software*, datos geográficos, y personal, diseñado para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas la información geográficamente referenciada con el fin de resolver problemas complejos de planificación y gestión. También puede definirse como un modelo de una parte de la realidad referido a un sistema de coordenadas terrestre y construido para satisfacer necesidades concretas de información (Wikipedia/SIG, 2008).

En un SIG se usan herramientas de gran capacidad de procesamiento gráfico y alfanumérico, estas herramientas van dotadas de procedimientos y aplicaciones para captura, almacenamiento, análisis y visualización de la información georeferenciada.

La mayor utilidad de un sistema de información geográfico esta íntimamente relacionada con la capacidad que posee éste de construir modelos o representaciones del mundo real a partir de las bases de datos digitales, esto se logra aplicando una serie de procedimientos específicos que generan aún más información para el análisis.

La construcción de modelos de simulación como se llaman, se convierte en una valiosa herramienta para analizar fenómenos que tengan relación con tendencias y así poder lograr establecer los diferentes factores influyentes.

El SIG funciona como una base de datos con información geográfica (datos alfanuméricos) que se encuentra asociada por un identificador común a los objetos gráficos de un mapa digital. De esta forma, señalando un objeto se conocen sus atributos e, inversamente, preguntando por un registro de la base de datos se puede saber su localización en la cartografía.

La razón fundamental para utilizar un SIG es la gestión de información espacial. El sistema permite separar la información en diferentes capas temáticas y las almacena independientemente, permitiendo trabajar con ellas de manera rápida y sencilla, facilitando de esta manera la posibilidad

de relacionar la información existente a través de la topología de los objetos, con el fin de generar otra nueva que no podríamos obtener de otra forma.

2.4.1 COMPONENTES DE UN SIG

- **Equipos (Hardware).** Es donde opera el SIG. Hoy por hoy, programas de SIG se pueden ejecutar en un amplio espectro de equipos, desde servidores hasta computadores personales usados en red o trabajando en modo "desconectado".
- **Programas (Software).** Los programas de SIG proveen las funciones y las herramientas necesarias para almacenar, analizar y desplegar la información geográfica.
- **Datos.** Probablemente la parte más importante de un sistema de información geográfico son los datos. Los datos geográficos y tabulares pueden ser adquiridos por quien implementa el sistema de información, así como por terceros que ya los tienen disponibles. El sistema de información geográfico integra los datos espaciales con otros recursos de datos y puede incluso utilizar los manejadores de base de datos más comunes para manejar la información geográfica.
- **Recurso humano.** La tecnología de los SIG está limitada si no se cuenta con el personal que opera, desarrolla y administra el sistema; Y que establece planes para aplicarlo en problemas del mundo real.
- **Procedimientos.** Un SIG operará acorde con un plan bien diseñado y con unas reglas claras del negocio, que son los modelos y las prácticas operativas características de cada organización.

2.4.2 INFORMACIÓN QUE MANEJA UN SIG

Se parte de la idea que un SIG es un conjunto de procedimientos usados para almacenar y manipular datos geográficamente referenciados, es decir, objetos con una ubicación definida sobre la superficie terrestre bajo un sistema convencional de coordenadas.

Se dice que un objeto en un SIG es cualquier elemento relativo a la superficie terrestre que tiene tamaño es decir, que presenta una dimensión física (alto - ancho - largo) y una localización espacial o una posición medible en el espacio relativo a la superficie terrestre.

A todo objeto se asocian unos atributos que pueden ser:

- **Gráficos.** Son las representaciones de los objetos geográficos asociados con ubicaciones específicas en el mundo real. La representación de los objetos se hace por medio de puntos, líneas o áreas.
- **No gráficos o alfanuméricos.** También llamados atributos alfanuméricos. Corresponden a las descripciones, cualificaciones o características que nombran y determinan los objetos o elementos geográficos.

En un SIG los atributos gráficos y no gráficos se tienen que relacionar y esto se logra mediante un atributo de unión.

2.4.3 SISTEMA DE COORDENADAS

Un sistema de coordenadas geográficas es un sistema de referencia usado para localizar y medir elementos geográficos. Para representar el mundo real, se utiliza un sistema de coordenadas en el cual la localización de un elemento esta dado por las magnitudes de latitud y longitud en unidades de grados, minutos y segundos (Geologia.cicese, 2008).

La longitud varía de 0 a 180 grados en el hemisferio Este y de 0 a -180 grados en el hemisferio Oeste de acuerdo con las líneas imaginarias denominadas meridianos.

La latitud varía de 0 a 90 grados en el hemisferio norte y de 0 a -90 grados en el hemisferio sur de acuerdo con las líneas imaginarias denominadas paralelos o líneas ecuatoriales. El origen de este sistema de coordenadas queda determinado en el punto donde se encuentran la línea ecuatorial y el meridiano de Greenwich (Geologia.cicese, 2008).

Las coordenadas cartesianas son generalmente usadas para representar una superficie plana. Los puntos se representan en términos de las distancias que separan a dicho punto de los ejes de coordenadas.

En un SIG a través del índice es posible ver las categorías, por estas categorías se accede a los objetos y por los objetos se tiene acceso a los atributos gráficos y no gráficos que se almacenan en la base de datos geográfica. Los archivos o mapas que conforman una categoría se pueden cargar por cada usuario para atender sus necesidades. De igual manera puede hacer operaciones

con objetos que pertenezcan a la misma categoría o a categorías diferentes. Estas operaciones pueden ser de tipo espacial (unión, intersección) o racionales (Continuidad, vecindad, proximidad)

2.4.4 PROYECCIONES

La superficie de referencia más comúnmente usada para la descripción de localizaciones geográficas es una superficie esférica. Esto es válido aún sabiendo que la Figura de la tierra se puede modelar más como un elipsoide que como una esfera. Se sabe sin embargo que para la generación de una base de datos que permita la representación de elementos correctamente georeferenciados, y en unidades de medidas comunes como metros o kilómetros, debe ser construida una representación plana (Geologia.cicese, 2008).

Toda proyección lleva consigo la distorsión de una o varias de las propiedades espaciales ya mencionadas. El método usado para la proyección será el que en definitiva nos permita decidir cuales propiedades espaciales sean conservadas y cuales distorsionadas. Proyecciones específicas eliminan o minimizan la distorsión de propiedades espaciales particulares. Las superficies de proyección más comunes son los planos, los cilindros y los conos, según el caso se exige la proyección azimutal, cilíndrica y cónica respectivamente (Geologia.cicese, 2008).

Las propiedades especiales de forma, área, distancia y dirección son conservadas o distorsionadas dependiendo no solo de la superficie de proyección, sino también de otros parámetros. Puesto que cada tipo de proyección requiere de una forma diferente de transformación matemática para la conversión geométrica, cada método debe producir distintas coordenadas para un punto dado. Por ejemplo: Transformación de mercator, transformación estereográfica (Geologia.cicese, 2008).

2.4.5 BASE DE DATOS GEOGRÁFICA

La esencia de un SIG está constituida por una base de datos geográfica. Esta es, una colección de datos acerca de objetos localizados en una determinada área de interés en la superficie de la tierra, organizados en una forma tal que puede servir eficientemente a una o varias aplicaciones. Una base de datos geográfica requiere de un conjunto de procedimientos que permitan hacer un mantenimiento de ella tanto desde el punto de vista de su documentación como de su administración. La eficiencia está determinada por los diferentes tipos de datos almacenados en diferentes estructuras. El vínculo entre las diferentes estructuras se obtiene mediante el campo clave

que contiene el número identificador de los elementos. Tal número identificador aparece tanto en los atributos gráficos como en los no gráficos. Los atributos no gráficos son guardados en tablas y manipulados por medio de un sistema manejador de bases de datos (Geologia.cicese, 2008).

Los atributos gráficos son guardados en archivos y manejados por el software de un sistema SIG. Los objetos geográficos son organizados por temas de información, o capas de información, llamadas también niveles. Aunque los puntos, líneas y polígonos pueden ser almacenados en niveles separados, lo que permite la agrupación de la información en temas son los atributos no gráficos. Los elementos simplemente son agrupados por lo que ellos representan.

Los formatos estándar para un archivo de diseño son el formato celular o RASTER y el formato tipo VECTOR.

2.4.5.1 FORMATO RASTER

El formato raster se obtiene cuando se "digitaliza" un mapa o una fotografía o cuando se obtienen imágenes digitales capturadas por satélites. En ambos casos se obtiene un archivo digital de esa información. La captura de la información en este formato se hace mediante los siguientes medios: scanners, imágenes de satélite, fotografía aérea, cámaras de video entre otros.

2.4.5.2 FORMATO VECTORIAL

La información gráfica en este tipo de formatos se representa internamente por medio de segmentos orientados de rectas o vectores. De este modo un mapa queda reducido a una serie de pares ordenados de coordenadas, utilizados para representar puntos, líneas y superficies. La captura de la información en el formato vectorial se hace por medio de: mesas digitalizadoras, convertidores de formato raster a formato vectorial, sistemas de geoposicionamiento global (GPS), entrada de datos alfanumérica, entre otros.

2.4.6 ALMACENAMIENTO DE INFORMACIÓN

En esta etapa se administra la información geográfica y descriptiva contenida en las bases de datos y los elementos en que físicamente son almacenados.

La información en un SIG es almacenada en cuatro grandes conjuntos de bases de datos:

- **Bases de datos de imágenes:** Estas imágenes representan fotográficamente el terreno.

-
- **Bases de datos complementarios de imágenes:** Esta base de datos contiene símbolos gráficos y caracteres alfanuméricos georeferenciados al mismo sistema de coordenadas de la imagen real a la que complementan.
 - **Bases de datos cartográficos:** Almacena la información de los mapas que representan diferentes clases de información de una área específica. Corresponden a las coberturas o categorías.
 - **Bases de datos de información descriptiva:** Esta base facilita el almacenamiento de datos descriptivos en las formas más comunes de tal forma que puedan ser utilizados por otros sistemas.

2.4.7 ANÁLISIS Y MODELACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Permite realizar las operaciones analíticas necesarias para producir nueva información con base en la existente, con el fin de dar solución a un problema específico. Las operaciones de análisis y modelación se pueden clasificar en:

A. Generalización cartográfica.

Capacidad de generalizar características de un mapa o presentación cartográfica, con el fin de hacer el modelo final menos complejo.

B. Análisis espaciales

Incluye las funciones que realicen cálculos sobre las entidades gráficas. Va desde operaciones sencillas como longitud de una línea, perímetros, áreas y volúmenes, hasta análisis de redes de conducción, intersección de polígonos y análisis de modelos digitales del terreno.

Los diferentes tipos de análisis que un SIG debe realizar son:

1. **Contigüidad:** Encontrar áreas en una región determinada.
2. **Coincidencia:** Análisis de superposición de puntos, líneas, polígonos y áreas.
3. **Conectividad:** Análisis sobre entidades gráficas que representen redes de conducción.
4. **Enrutamiento:** Como se mueve el elemento conducido a lo largo de la red.
5. **Radio de acción:** Alcance del movimiento del elemento dentro de la red.

-
6. **Apareamiento de direcciones:** Acople de información de direcciones a las entidades gráficas.
 7. **Análisis digital del terreno:** Análisis de la información de superficie para el modelaje de fenómenos geográficos continuos. Con los modelos digitales de terreno (DTM: la representación de una superficie por medio de coordenadas X, Y, Z) que son la información básica para el análisis de superficies.
 8. **Operación sobre mapas:** Uso de expresiones lógicas y matemáticas para el análisis y modelación de atributos geográficos. Estas operaciones son soportadas de acuerdo con el formato de los datos (raster o vectorial)
 9. **Geometría de coordenadas:** Operaciones geométricas para el manejo de coordenadas terrestres por medio de operadores lógicos y aritméticos. Algunas de esas operaciones son: proyecciones terrestres de los mapas, transformaciones geométricas (rotación, traslación, cambios de escala), precisión de coordenadas, corrección de errores.

2.4.8 SALIDA Y REPRESENTACIÓN DE LA INFORMACIÓN

La salida de información de un SIG puede ser de tipo textual o de tipo gráfico. Ambos tipos de información pueden ser presentados en forma digital o analógica.

La representación digital se utiliza cuando dicha información, o en general, a otro medio sistematizado. El medio analógico es el que se presenta al usuario como respuesta a un interrogante del mismo. La información textual analógica consiste normalmente en un conjunto de tablas que representan la información almacenada en la base de datos o representan el resultado de algún tipo de análisis efectuado sobre ésta. La información analógica gráfica consiste en mapas, gráficos o diagramas. Ambos tipos de información pueden ser presentados en una pantalla o impresos en el papel.

El sistema debe proveer la capacidad de complementar la información gráfica, antes de su presentación definitiva, por medio de una simbología adecuada y manejar la posibilidad de adicionar elementos geométricos que permitan una calidad y una visualización fáciles de entender por el usuario.

2.4.9 APLICACIONES DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

La utilidad principal de un Sistema de Información Geográfica radica en su capacidad para construir modelos o representaciones del mundo real a partir de las bases de datos digitales y para utilizar esos modelos en la simulación de los efectos que un proceso de la naturaleza o una acción antrópica produce sobre un determinado escenario en una época específica. La construcción de modelos constituye un instrumento muy eficaz para analizar las tendencias y determinar los factores que las influyen así como para evaluar las posibles consecuencias de las decisiones de planificación sobre los recursos existentes en el área de interés (Wikipedia/SIG, 2008)..

Un SIG permite resolver una variedad de problemas del mundo real. El SIG puede manipularse para resolver los problemas usando varias técnicas de entrada de datos, análisis y resultados.

a) **Entrada de datos**

- Digitalizar o escanear.
- Convertir datos digitales de otros formatos.
- Adquirir otros datos disponibles.

b) **Manipulación y análisis**

- Respuestas a preguntas particulares.
- Soluciones a problemas particulares.

c) **Salida de datos**

- Despliegue en pantalla de los datos.
- Copias duras (planos y mapas) usando una impresora.
- Listados.
- Reportes.

Se pueden nombrar otras aplicaciones de tipo general dentro de las muchas posibilidades que suministra un SIG. Las principales cuestiones que puede resolver un Sistema de Información Geográfica, ordenadas de menor a mayor complejidad, son:

1. **Localización:** preguntar por las características de un lugar concreto.
2. **Condición:** el cumplimiento o no de unas condiciones impuestas al sistema.

-
3. **Tendencia:** comparación entre situaciones temporales o espaciales distintas de alguna característica.
 4. **Rutas:** cálculo de rutas óptimas entre dos o más puntos.
 5. **Pautas:** detección de pautas espaciales.
 6. **Modelos:** generación de modelos a partir de fenómenos o actuaciones simuladas.

Por ser tan versátiles los Sistemas de Información Geográfica, su campo de aplicación es muy amplio, pudiendo utilizarse en la mayoría de las actividades con un componente espacial. La profunda revolución que han provocado las nuevas tecnologías ha incidido de manera decisiva en su evolución.

2.4.10 LISTADO DE SOFTWARE SIG

- **Software no libre comercial:** ArcGIS (ArcView, ArcInfo), Mapinfo, Maptitude, Geomedia, GenaMap, Autodesk Map, MicroStation Geographics, GeoWeb Publisher, SmallWorld, Manifold, Idrisi, MapPoint, TatukGIS, TNT mips, MiraMon.
- **Software libre:** GRASS GIS, JUMP, MapServer, Quantum GIS, gvSIG, SAGA GIS, MapWindow GIS.
- **Software no libre freeware:** Spring, FGIS.

2.5 CONCLUSION

La información que se ha reunido en este capítulo permite entender los conceptos de sequia, SIG y trigo que rodean a esta investigación; mismos que ayudan a estructurar y organizar las actividades operacionales que garanticen la exitosa ejecución de la misma.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 INTRODUCCIÓN

Esta sección describe los principales métodos, herramientas y conjuntos de datos que se utilizaron en el estudio.

3.2 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. En 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.

3.3 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.

3.4 EXTRACCIÓN DE DATOS

Las líneas más resistentes a sequía de la primera ronda de prueba (475) fueron sembradas en el año subsiguiente (2005), identificando 9 % de los 475 trigos criollos que poseen tolerancia a sequía (43). La variable de estudio en ambos casos fue rendimiento medido en gramos por metro cuadrado.

De acuerdo a su fecha de colecta, los 43 trigos seleccionados, finalmente se dividieron en dos grandes grupos, los trigos cosechados en Mayo (25), y los cosechados en Octubre (18). De tal forma que el análisis correspondiente, se hizo para dos ciclos, Diciembre-Mayo (ciclo de Invierno) para los trigos de mayo; y Mayo-Octubre (ciclo de Verano) para los trigos de Octubre, teniendo como entendido que el ciclo biológico del trigo, desde su siembra hasta su cosecha es, para el ciclo de invierno de cinco meses y para el de verano de cuatro. Identificando en cada caso las coordenadas geográficas de cada sitio de colecta. (Ver Cuadros 6 y 7). La ubicación de estos sitios de colecta se muestra en las Figuras 4 y 5.



Figura 4. Sitios Diciembre-Mayo

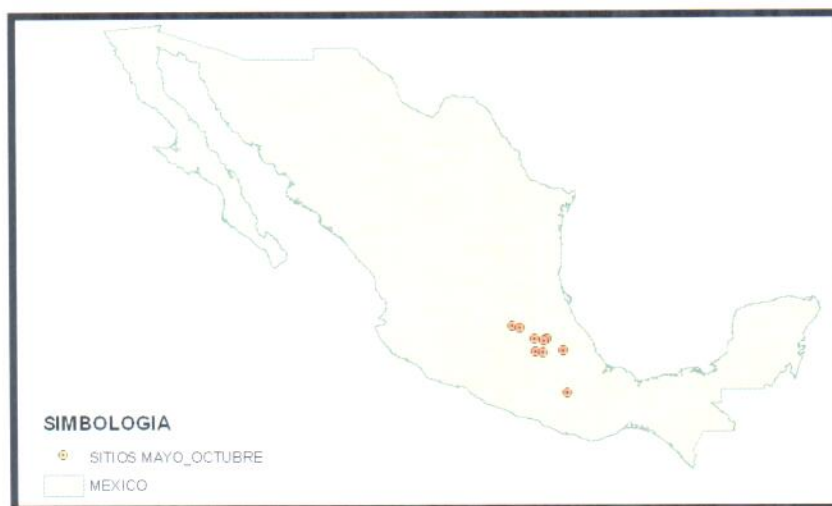


Figura 5. Sitios Mayo-Octubre

CLAVE	MES DE COLECTA	ESTADO	RENDIMIENTO (g/m ²)	COORDENADAS	
				X	Y
COAH90.25.22	MAYO	COAHUILA	230	-100.7500	25.4333
COAH90.26.31	MAYO	COAHUILA	97	-100.7500	25.4333
GTO95.1.27	ABRIL	GUANAJUATO	297	-101.3000	20.4000
CHIH95.1.10	MAYO	CHIHUAHUA	185	-108.3017	27.9017
CHIH95.2.6	MAYO	CHIHUAHUA	105	-108.3075	27.9161
CHIH95.3.28	MAYO	CHIHUAHUA	85	-108.3167	27.8472
CHIH95.3.37	MAYO	CHIHUAHUA	85	-108.3167	27.8472
CHIH95.3.38	MAYO	CHIHUAHUA	64	-108.3167	27.8472
CHIH95.3.43	MAYO	CHIHUAHUA	215	-108.3167	27.8472
CHIH95.3.47	MAYO	CHIHUAHUA	257	-108.3167	27.8472
CHIH95.3.52	MAYO	CHIHUAHUA	213	-108.3167	27.8472
CHIH95.3.53	MAYO	CHIHUAHUA	232	-108.3167	27.8472
CHIH95.4.6	MAYO	CHIHUAHUA	70	-108.5006	28.1553
CHIH95.4.12	MAYO	CHIHUAHUA	99	-108.5006	28.1553
CHIH95.4.19	MAYO	CHIHUAHUA	74	-108.5006	28.1553
CHIH95.4.22	MAYO	CHIHUAHUA	306	-108.5006	28.1553
CHIH95.4.24	MAYO	CHIHUAHUA	276	-108.5006	28.1553
CHIH95.5.3	MAYO	CHIHUAHUA	260	-108.5011	28.1544
CHIH95.5.9	MAYO	CHIHUAHUA	257	-108.5011	28.1544
CHIH95.5.15	MAYO	CHIHUAHUA	113	-108.5011	28.1544
CHIH95.5.22	MAYO	CHIHUAHUA	251	-108.5011	28.1544
CHIH95.5.29	MAYO	CHIHUAHUA	63	-108.5011	28.1544
CHIH95.5.33	MAYO	CHIHUAHUA	84	-108.5011	28.1544
CHIH95.7.4	MAYO	CHIHUAHUA	102	-108.5019	28.1875
CHIH95.8.8	MAYO	CHIHUAHUA	68	-108.5119	28.1483

Cuadro 6. Ciclo Diciembre-Mayo

CLAVE	MES DE COLECTA	ESTADO	RENDIMIENTO	COORDENADAS	
			(g/m ²)	X	Y
PBL94.12.12.	SEPTIEMBRE	PUEBLA	246	-97.6667	19.4167
QRO94.2.107	OCTUBRE	QUERETARO	258	-99.8333	20.4167
HGO94.2.19	OCTUBRE	HIDALGO	84	-98.8833	19.9167
HGO94.8.59	OCTUBRE	HIDALGO	220	-98.3667	19.9000
HGO94.8.70	OCTUBRE	HIDALGO	244	-98.3667	19.9000
HGO94.8.93	OCTUBRE	HIDALGO	254	-98.3667	19.9000
HGO94.8.118	OCTUBRE	HIDALGO	279	-98.3667	19.9000
HGO94.9.1.5	OCTUBRE	HIDALGO	98	-98.4833	19.8167
HGO94.9.1.37	OCTUBRE	HIDALGO	383	-98.4833	19.8167
HGO94.9.1.52	OCTUBRE	HIDALGO	143	-98.4833	19.8167
HGO94.9.1.54	OCTUBRE	HIDALGO	118	-98.4833	19.8167
HGO94.9.2.31	OCTUBRE	HIDALGO	216	-98.4833	19.8167
MEX94.2.18	OCTUBRE	EDO. MEX	248	-99.5000	20.3333
MEX94.2.19	OCTUBRE	EDO. MEX	212	-99.5000	20.3333
MEX94.2.38	OCTUBRE	EDO. MEX	159	-99.5000	20.3333
MEX94.23.32	OCTUBRE	EDO. MEX	118	-98.8500	19.3667
PUB94.15.1.1	OCTUBRE	PUEBLA	57	-98.5333	19.3333
OAX93.10.1	OCTUBRE	OAXACA	216	-97.5000	17.6667

Cuadro 7. Ciclo Mayo-Octubre

Para efectos prácticos, el trigo cosechado en abril, se toma dentro del ciclo Diciembre-Mayo, y el cosechado en septiembre dentro del de Mayo-Octubre.

Empleando la herramienta Intersect de Arctoolbox de ArcMap se desarrollaron mapas geográficos con las bases de datos de las regiones donde fueron colectados los 25 trigos cosechados en Mayo, y los 18 trigos cosechados en Octubre. Los mapas contienen toda la información relevante disponible al comportamiento en condiciones de sequía. De tal forma que las variables estudiadas fueron:

- **Ambientales:** Perfiles de temperatura durante el periodo crítico del ciclo de cultivo: mínima (IT), máxima (XT) y media (MT); además de disponibilidad de agua para el cultivo Precipitación (PRE), Potencial de Evapotranspiración (PET) y PPE (PRE/PET) (En lo sucesivo se emplean las abreviaturas para referirse a los correspondientes términos).
- **Edáficas:** Características del suelo (tipo, textura, pH).
- **Sequía:** De los datos de precipitación por mes de 1901 a 2002 para todo México, se generaron mapas de frecuencia de sequía para todo el territorio.

-
- **Irrigación:** Recursos alternativos de agua; zonas sin riego, y zonas con un riego menor a 10 %, y mayores a 10 %.

Ligando las variables de los mapas geográficos y bases de datos correspondientes a sus lugares de colecta, para cada ciclo, se realizaron los mapas digitales, y en consecuencia se desarrollaron los modelos predictivos para la identificación de regiones en México donde la colecta adicional pudo muestrear una mayor frecuencia de materiales tolerantes a sequía para cada ciclo de cultivo.

3.5 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 (Edwards y McKee, 1997). 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 positivos indican una precipitación mayor a la mediana; los valores negativos indican una precipitación menor a la mediana (Ver Cuadro 2).

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 frecuencia de sequia se calcularon (% de años) con valores $SPI \leq -1$ para todos los centroides de celdas reticulares en México para periodos de tiempo específicos.

3.6 ZONAS PRODUCTORAS DE TRIGO EXISTENTES

Se utilizaron los datos disponibles publicados a escala municipal para delinear las principales zonas productoras de trigo en México. Los datos a escala municipal corresponden a dos periodos: 1991 (INEGI, 1991) (ver Figura 1) y los datos más recientes de 2006 (SAGARPA, 2008) (ver Figura 2). 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 (ver Figura 6) 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 (ver Figura 7) (Tlaxcala, Estado de México, etc.), aunque también algunas áreas a niveles bajos.

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 3 se muestran las áreas donde se detectaron cambios positivos o negativos de producción.

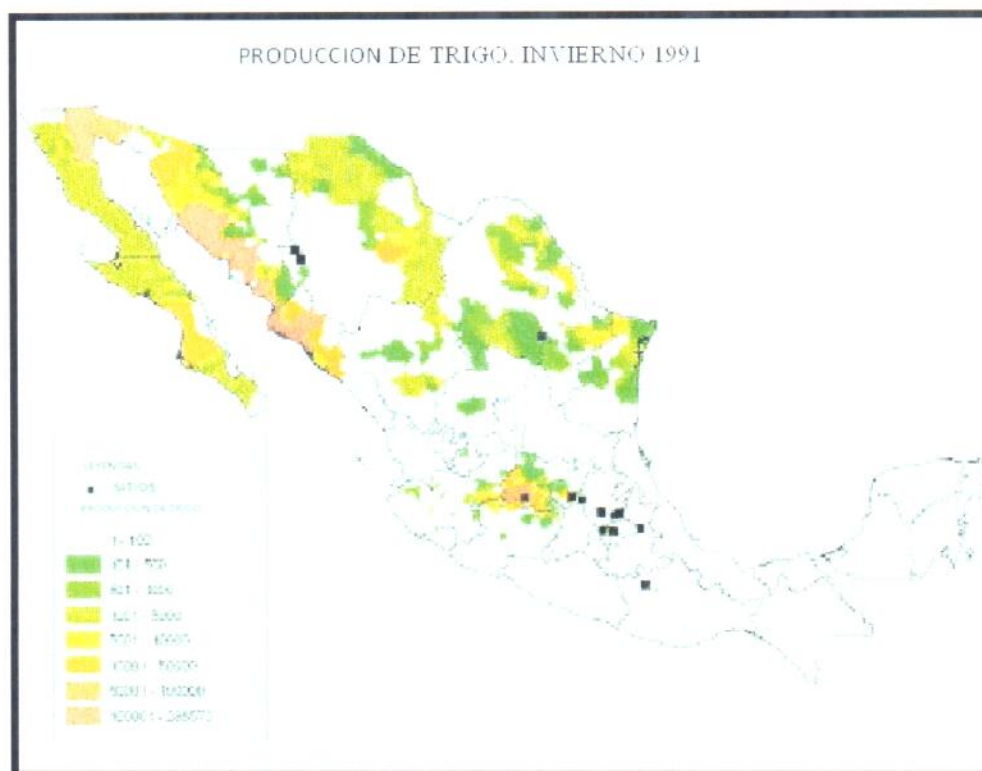


Figura 6. Producción de trigo (toneladas) – Invierno 1991

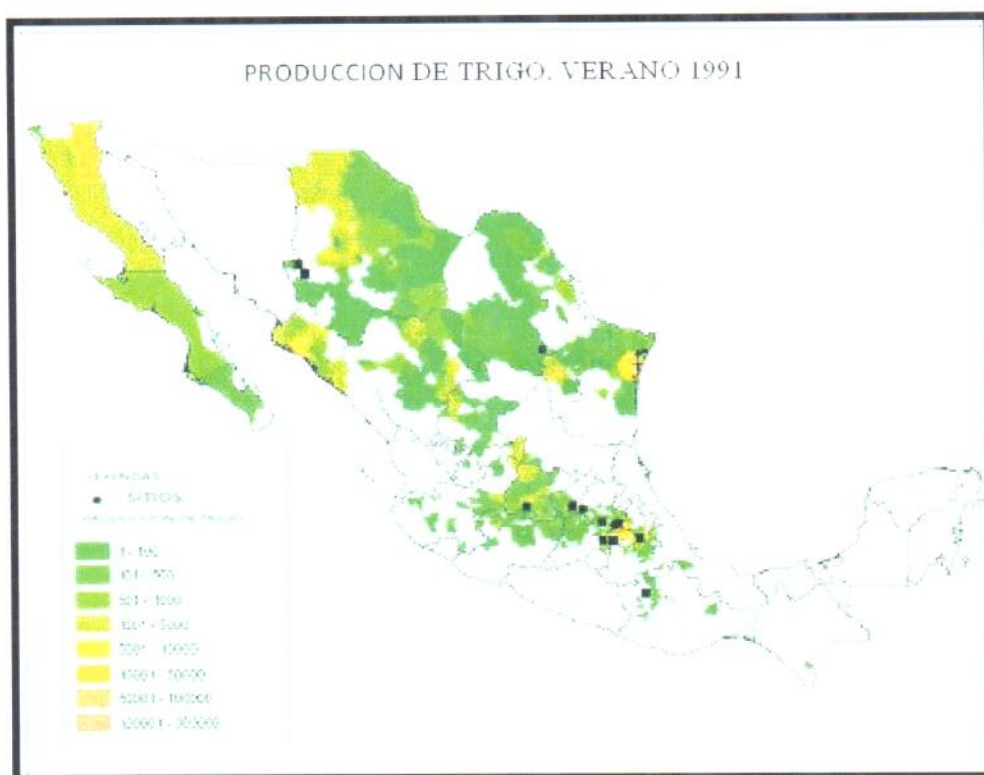


Figura 7. Producción de trigo (toneladas) – Verano 1991

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. 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 3 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 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.

3.7 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 8 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 en sobre todo en los altiplanos del norte y del centro.

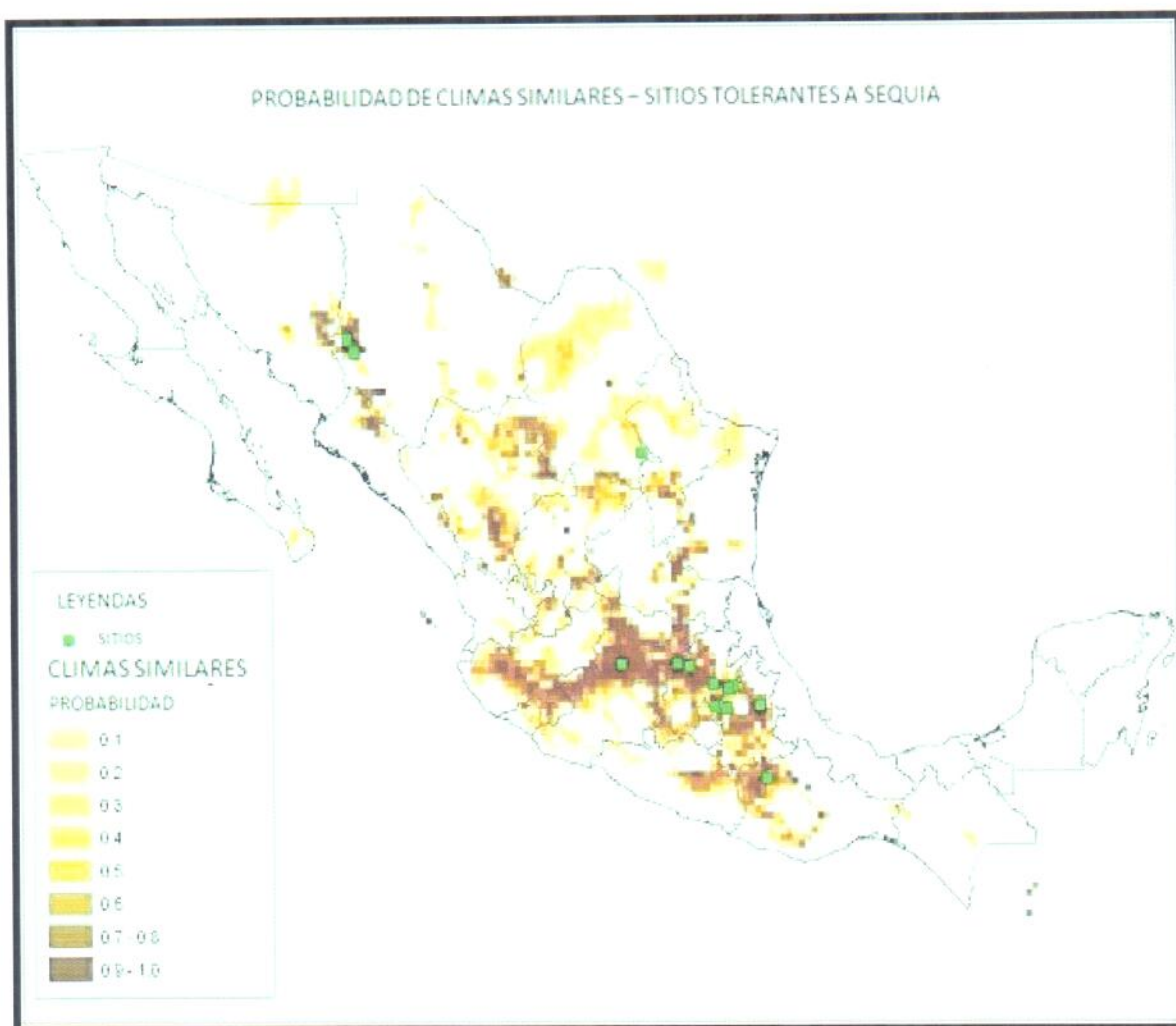


Figura 8. Zona de similitud climática según Homologue (Jones, P.G., W.S. Díaz y J. Cock, 2004) para sitios de trigo tolerantes a la sequía

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 (ver Cuadro 8).

En la Figura 9 se muestra 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.

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	FEOSOL HAPLICO	GRUESA	6.40
HGO94.2.19	-98.8833	19.9167	FEOSOL 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	FEOSOL 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

Cuadro 8. Los principales tipos de suelo con los sitios tolerantes a la sequía

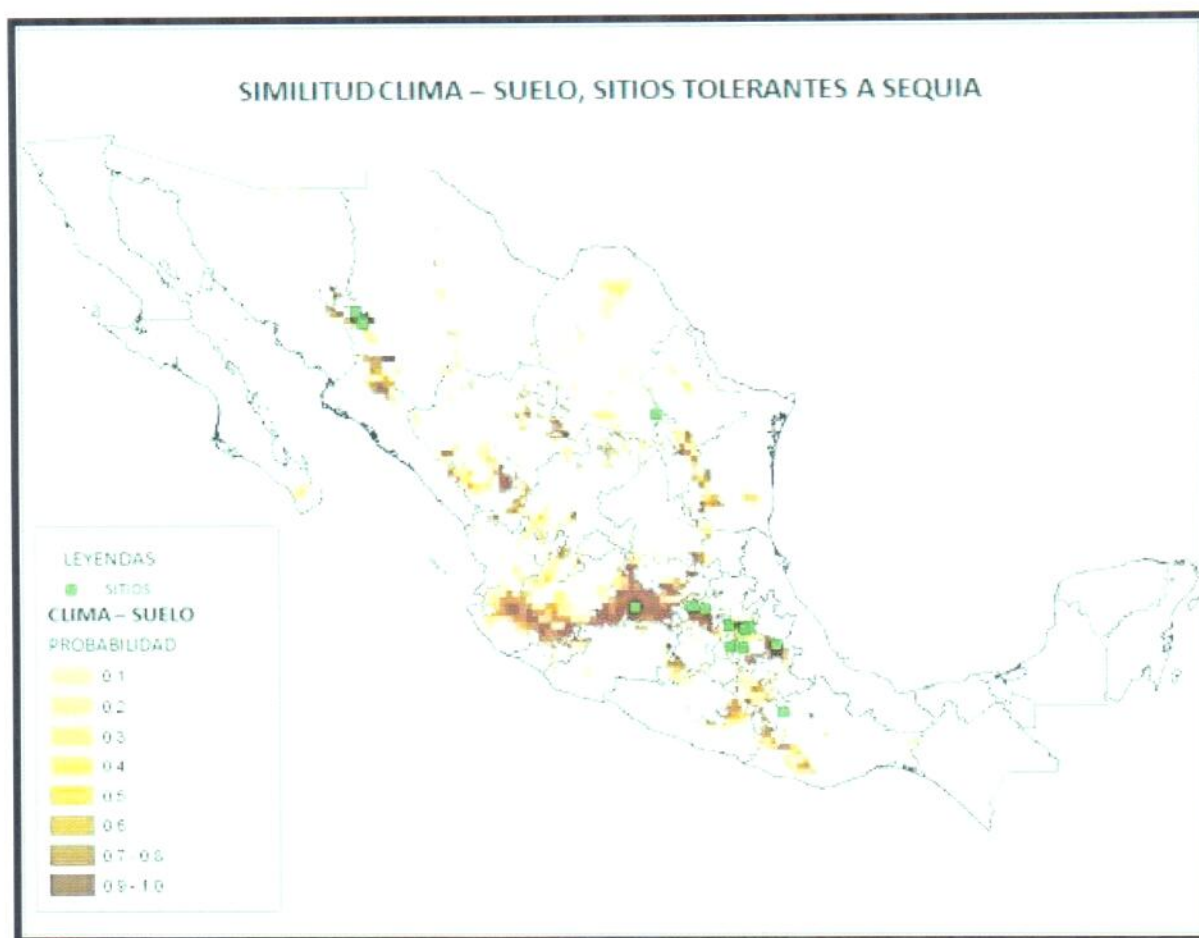


Figura 9. Similitud climática y zona de similitud de suelos según Homologue (Jones, P.G., W.S. Diaz y J. Cock, 2004) para sitios de trigo tolerantes a la sequía

3.8 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. 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; 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) (ver Figuras 10 y 11). 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. 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 (ver Figuras 10 y 11), 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 sitios 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.

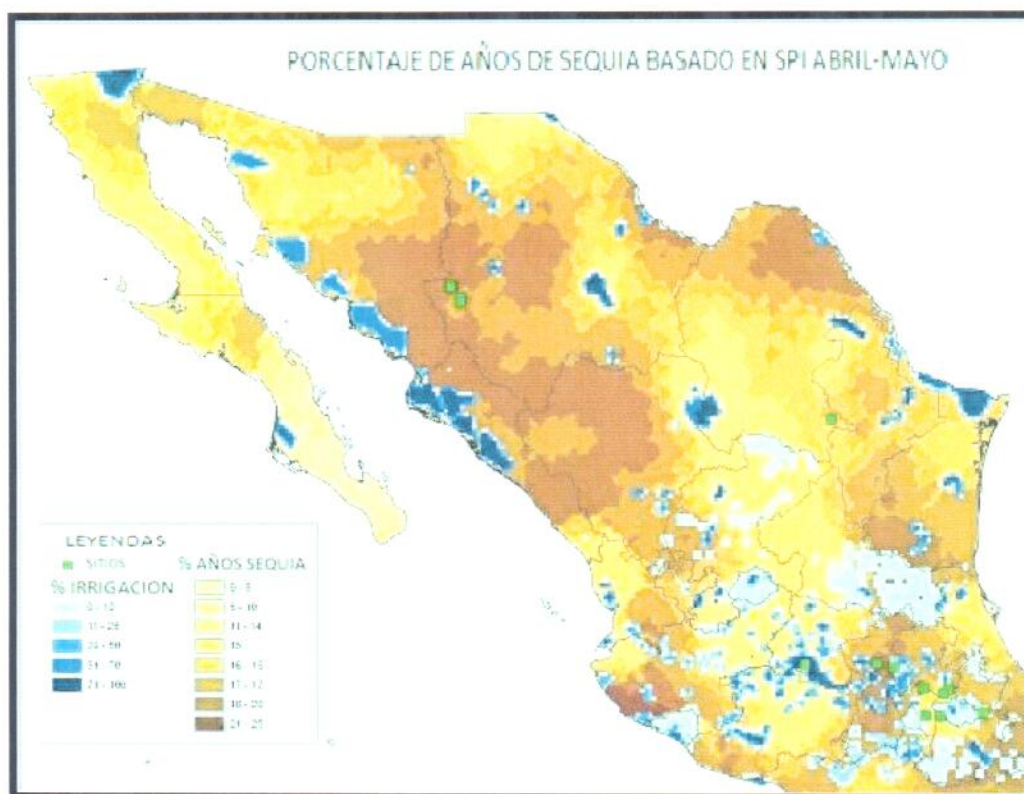


Figura 10. Porcentaje de años de sequía basado en SPI abril–mayo (ciclo de invierno)

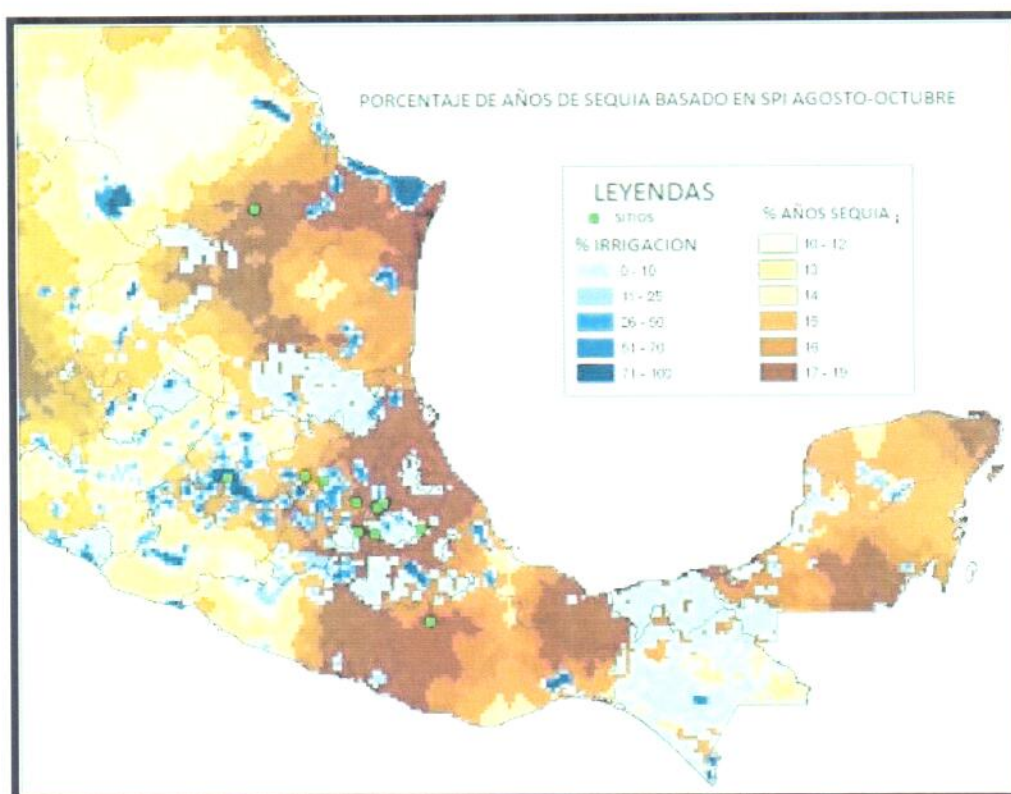


Figura 11. Porcentaje de años de sequía basado en SPI agosto-octubre (ciclo de verano)

3.9 ZONAS DE IDONEIDAD PARA EL TRIGO

Como una medida de comparación a los resultados finales se obtuvieron las zonas de idoneidad existentes de la FAO (FAOSTAT, 2008) para "trigo de riego y de secano de alto rendimiento" (Figura 12); y utilizando el módulo Ecocrop dentro de DIVA-GIS se obtuvieron las zonas de idoneidad climática para trigo en condiciones de temporal (Figura 13). 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 complementó con 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, lluvia en verano en los valles altos	Trimestre más húmedo (los 3 meses consecutivos más húmedos). Temperatura media mínima $\geq 3^{\circ}\text{C} < 16^{\circ}\text{C}$, trimestre más húmedo precipitación $\geq 250\text{ mm}$, elevación $\geq 1400\text{ m}$

Cuadro 9. Mega-Ambiente

Las zonas de estos ME se ilustran en la Figura 14. 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 14; sin embargo, la zona más amplia es climáticamente idónea para trigo en el ciclo de invierno.

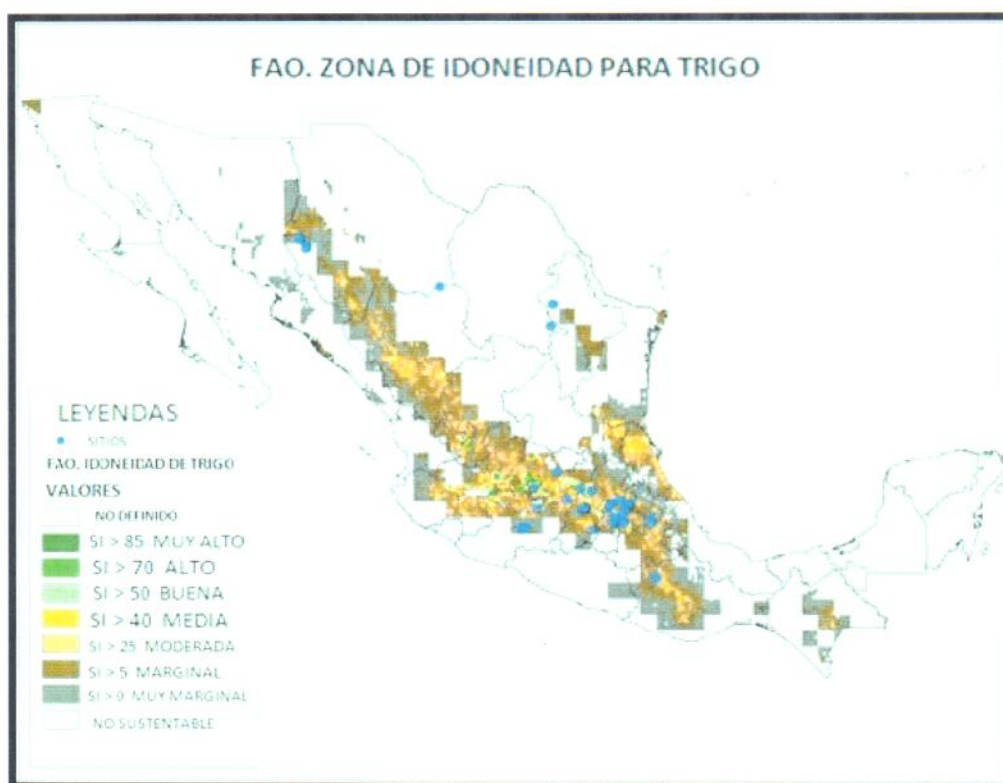


Figura 12. Zonas de idoneidad de la FAO para trigo de secano y con riego (alto rendimiento)



Figura 13. Idoneidad para trigo de secano basada en los parámetros de ECOCROP

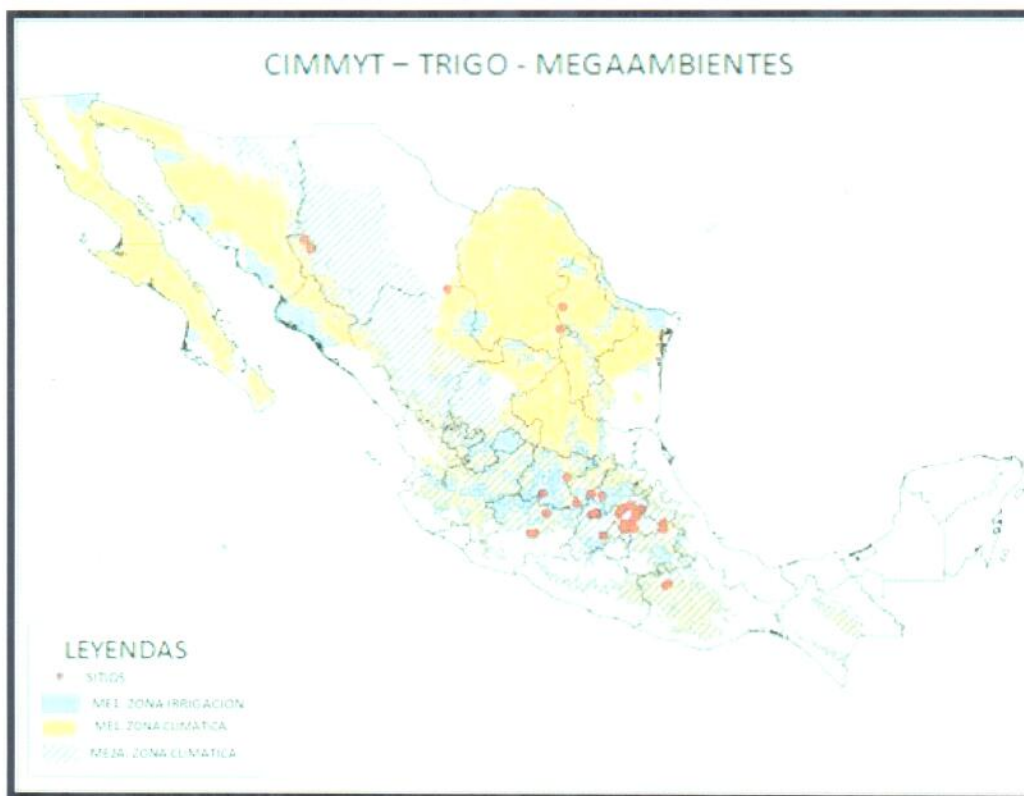


Figura 14. Mega-ambientes de trigo del CIMMYT – idoneidad climática para trigo de ciclo de invierno (ME1) y de ciclo de verano (ME2a).

3.10 ZONAS POTENCIALES PARA MATERIALES TOLERANTES A 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 ≥ 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:

1. Son climáticamente idóneas para trigo de ciclo de verano;
2. Es probable que haya una alta frecuencia de sequía desde mediados hasta el final del ciclo
3. 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 15 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 ≥ 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:

1. áreas climáticamente adecuadas para trigo de ciclo de invierno
2. Es probable que exista una alta frecuencia de sequía desde mediados hasta el final del ciclo
3. 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 16.

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 16).



Figura 15. Zonas con probabilidad de sequía y pobreza rural para trigo de ciclo de verano

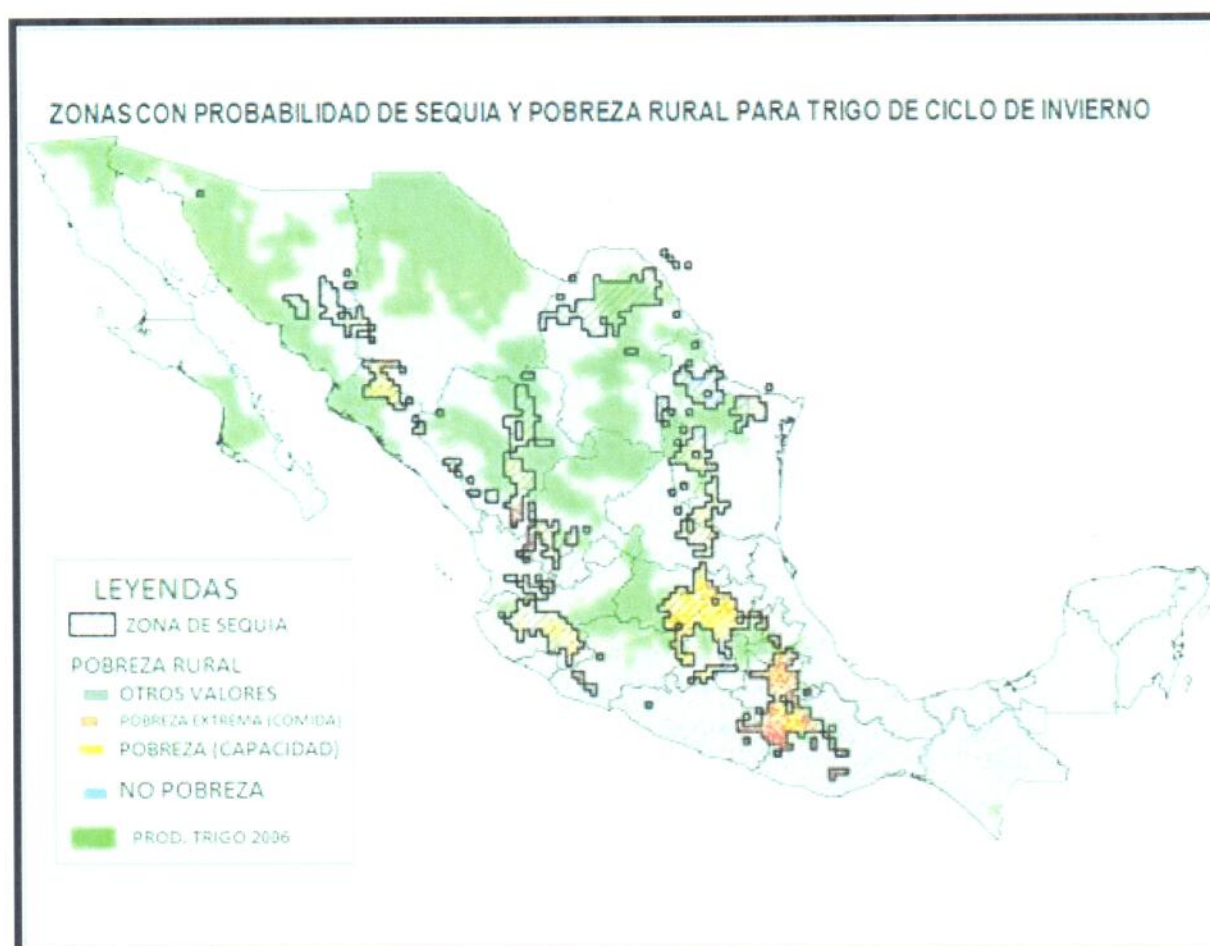


Figura 16. Zonas con probabilidad de sequía y pobreza rural para trigo de ciclo de invierno

3.11 CONCLUSION

La información presentada en este capítulo permite sentar las bases para el desarrollo de los resultados, así como las respectivas conclusiones que de ellos se deriven. Se muestran resultados previos al análisis, empleando métodos alternativos que nos permitan contrastar los resultados finales como un parámetro de referencia sobre la veracidad de ellos.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

4.1 INTRODUCCIÓN

Para poder dar cumplimiento a los requerimientos de validez y precisión de los resultados finales es necesario utilizar una metodología estadística desde la planificación hasta la ejecución y, luego, el posterior análisis de los resultados. El criterio básico recomendado es seleccionar un método estadístico sencillo, que se ajuste a las condiciones experimentales y que permita obtener resultados válidos.

Para el presente estudio, la parte estadística se reduce a establecer si son manipulables o no los datos antes mencionados, dado que como ya se ha establecido anteriormente el diseño experimental seguido fue un alfa-látice (recomendable para este experimento – ver anexo I -), desde el punto de vista que aleatoriza de manera adecuada cada una de las muestras en la población, lo que reduce el riesgo de algún sesgo. Y este hecho de manipulación lo determina la normalidad o no de los mismos, por tanto el análisis estadístico se reduce a establecer la normalidad de los *datos*.

La variable tomada en consideración fue el rendimiento (YLD) medido en gramos por metro cuadrado; puesto que el objetivo es determinar cuales trigos bajo condiciones de sequía tienen o presentan mejores rendimientos; por tanto podemos hacer inferencia sobre los datos, al normalizar la variable de interés RENDIMIENTO. Una vez obtenidos los datos, el análisis estadístico correspondiente se presenta a continuación:

4.2 PRUEBA DE NORMALIDAD

“Se puede hablar de normalidad en una distribución de datos, cuando las medidas de tendencia central (media, mediana y moda) coinciden en su valor. Lo cual origina gráficamente una curva simétrica, donde su eje de simetría es el punto donde coinciden las tres medidas de tendencia central” (Cortland.edu, 2008). La Gráfica de una normal, suele denominársele también campana de Gauss; y se presenta en el Gráfico 1:

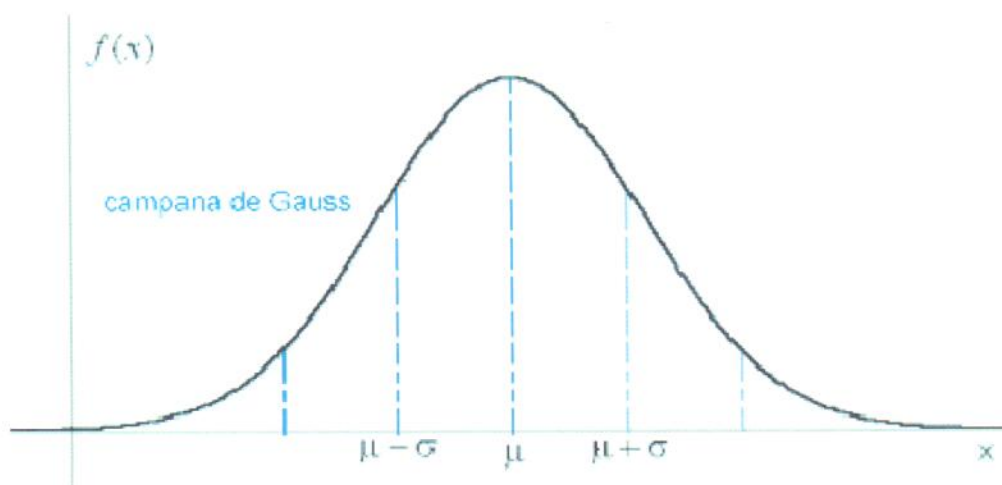


Gráfico 1. Distribución Normal o de Gauss

Donde:

La función de Densidad $f(x)$ queda definida como:
$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

μ = media de los datos

σ = desviación estándar

σ^2 = Varianza de los datos

$\pi = 3.1416$

$e = 2.7182$

x = abscisa

Una condición esencial en la estadística, bajo la cual se rige gran parte de su teoría, es la normalidad de los datos, en ciertas ocasiones se asume normalidad, como un supuesto, en otras como es el presente caso, se prueba esta condición; ya que de no hacerlo, los resultados pueden distar mucho de la realidad, arrojándonos conclusiones erróneas.

Para probar normalidad, se plantean las siguientes Hipótesis:

H_0 = Existe Normalidad

vs.

H_a = No existe Normalidad

En general para cualquier estadístico de prueba, el criterio de decisión es:

$\alpha \geq \text{P-Value} \Rightarrow \text{Rechazar } H_0$

De lo contrario se asume que no existen elementos necesarios para desechar la **H_0** .

Donde:

α = Nivel de Significancia

P-Value: Probabilidad de rechazar la H_0

Para el presente grupo de datos se emplean los estadísticos de prueba:

4.2.1 SHAPIRO-WILK

Es un contraste de ajuste que se utiliza para comprobar si unos datos determinados han sido extraídos de una **población normal**. Los parámetros de la distribución no tienen porqué ser conocidos y está adecuado para muestras pequeñas ($n < 50$). Donde n es el número de observaciones (Genciencia.edu/Shapiro-Wilk, 2007).

4.2.2 ANDERSON-DARLING

Para verificar la normalidad de una distribución una de las pruebas más potentes es la de Anderson-Darling; dado que es más sensible a los valores cercanos a la mediana que a los extremos de la distribución (Wikipedia/Kolmogorov-Smirnov, 2007).

En la mayoría de los procesos industriales, se acostumbra emplear un nivel de significancia $\alpha = 0.05$, lo que proporciona un nivel de confiabilidad del 95 % ($1 - \alpha$), los experimentos agrícolas no son la excepción, por tanto de aquí en adelante se trabajara con un nivel de significancia $\alpha = 0.05$. Haciendo uso del software estadístico SAS (véanse programas en anexo II), se presentan los siguientes resultados:

VARIABLE	P-VALUE		NORMALIDAD ($\alpha = 0.05$)
	Shapiro-Wilk	Anderson-Darling	
YLD	0.000	< 0.005	NO

Cuadro 10. Prueba de normalidad para la variable RENDIMINETO (YLD)

Para cuando los datos no siguen una distribución normal, se pueden realizar transformaciones con funciones matemáticas sobre ellos, las más usuales para este tipo de experimentos son la función "Log" y la "SQRT". La primera devuelve el logaritmo de un número real positivo y la segunda la raíz cuadrada del mismo tipo de número.

VARIABLE REDEFINIDA	VARIABLE	P-VALUE		NORMALIDAD ($\alpha = 0.05$)
		Shapiro-Wilk	Anderson-Darling	
a	Log(YLD)	0.000	< 0.005	NO

Cuadro 11. Prueba de normalidad para la variable RENDIMIENTO (YLD) con la transformación "Log"

VARIABLE REDEFINIDA	VARIABLE	P-VALUE		NORMALIDAD ($\alpha = 0.05$)
		Shapiro-Wilk	Anderson-Darling	
a	sqrt(YLD)	0.904	>0.250	SI

Cuadro 12. Prueba de normalidad para la variable RENDIMIENTO (YLD) con la transformación "SQRT"

La transformación "SQRT" es una buena alternativa para normalizar la variable rendimiento (YLD). El Gráfico 2, muestra como "SQRT" normaliza RENDIMIENTO (YLD).

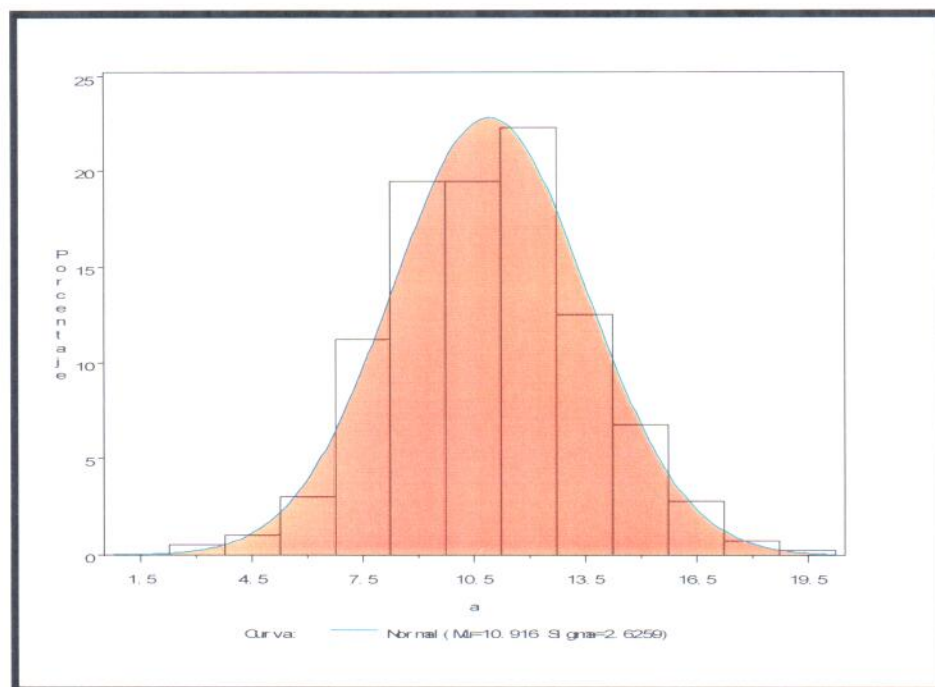


Gráfico 2. Prueba de normalidad para la variable RENDIMIENTO con la transformación "SQRT"

El área sombreada con la tonalidad roja, es la distribución normal óptima que se esperaría presentaran los datos, sin embargo la distribución que estos siguen en la realidad es la presentada por las barras (histogramas). Para este caso en particular parece aproximarse a una normal.

La condición de normalidad de la variable RENDIMIENTO se cumple aplicándole la transformación "SQRT". Otro hecho que garantiza que los datos provienen de una distribución normal, es el Teorema Central del Límite.

4.3 TEOREMA CENTRAL DEL LÍMITE

"El **Teorema del Límite Central** o **Teorema Central del Límite** indica que, bajo condiciones muy generales, la distribución de la suma de variables aleatorias tiende a una Distribución Normal (también llamada Distribución Gaussiana) cuando la cantidad de variables es muy grande. El Teorema del Límite Central garantiza una distribución normal cuando n es suficientemente grande." (Wikipedia/TeoremaCentraldelLimite, 2008)

Los 400 datos de la primera siembra y 43 generados en la última, provienen de una muestra de 9494, una muestra lo suficientemente grande como para afirmar que efectivamente cumplen con el supuesto de normalidad. Los datos extraídos de una población normal, también son normales.

Finalmente sobre la muestra de los últimos 43 ejemplares, 25 para el ciclo Diciembre-Mayo y 18 para Mayo-Octubre, se prueba significancia estadística con respecto a su media, y correlación entre las variables ambientales (XT, IT, MT, PPE, PRE y PET), Altitud, pH y Rendimiento. Con la finalidad de establecer que tanto estas variables inciden en el rendimiento promedio de las variedades seleccionadas en cada ciclo; para todos los casos se emplearon promedios.

4.4 SIGNIFICANCIA ESTADISTICA

El objetivo principal en este rubro, es realizar una Prueba de Hipótesis para establecer si hay diferencias significativas o no, entre las variables ambientales (XT, IT, MT, PPE, PRE y PET), Altitud, pH y Rendimiento con respecto a su media.

La Prueba de Hipótesis apropiada para el análisis de estos datos corresponde a una prueba T-Student para una sola muestra, cuyo estadístico de prueba esta dado por:

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{S / \sqrt{n}}$$

Donde:

t = Estadístico de Prueba

$\bar{x}$ = Media de la Población

μ = Media del juego de Hipótesis (para ver significancia, debe ser cero)

S = Desviación estándar de la Población

n = Número de observaciones de la Población

El estadístico de prueba resultante se contrasta con uno de tablas, dado por $T(\alpha/2, n-1)$, donde α es el nivel de significancia, y debe dividirse sobre dos por ser una prueba de dos colas. Los criterios de rechazo son:

- Si $T_{\text{calculado}}$ es mayor o igual a T_{tablas} se rechaza la hipótesis nula
- Si $T_{\text{calculado}}$ es menor a T_{tablas} no se rechaza la hipótesis nula

Teniendo en cuenta que el juego de Hipótesis es:

H_0 = **Medias iguales**

vs.

H_a = **Medias Diferentes**

En general para cualquier estadístico de prueba, el criterio de decisión es:

$\alpha \geq \text{P-Value} \Rightarrow \text{Rechazar } H_0$

De lo contrario se asume que no existen elementos necesarios para desechar la H_0 .

Donde:

P-Value: Probabilidad de rechazar la H_0

Mediante el establecimiento de significancia estadística, podemos predecir si existe correlación o no entre las variables, si esta resulta ser cierta, hablaremos entonces de que las variables están íntimamente ligadas unas con otras o dicho de otra forma el valor de una de ellas está en función de las demás y viceversa. Para determinar en qué grado se da esta dependencia se recurre a una matriz de correlación, como las mostradas en el apartado 4.5 de este capítulo.

Los resultados de nivel de significancia para el ciclo Diciembre-Mayo se muestran en el Cuadro 13, y para el ciclo Mayo-Octubre en el Cuadro 14.

VARIABLE	ESTADISTICO DE PRUEBA	SIGNIFICANCIA
REND	9.368960036	SI
XT	48.58941133	SI
PRE	22.01415975	SI
PPE	20.95697191	SI
PET	48.06094108	SI
MT	35.77001397	SI
IT	14.1393556	SI
ALTITUD	14.96060089	SI
PH	84.88073088	SI

Cuadro 13. Significancia Estadística, ciclo Diciembre-Mayo (25)

VARIABLE	ESTADISTICO DE PRUEBA	SIGNIFICANCIA
REND	10.13864951	SI
XT	75.01192335	SI
PRE	34.82694584	SI
PPE	31.4980806	SI
PET	95.48343385	SI
MT	63.1467059	SI
IT	43.45205454	SI
ALTITUD	32.87379395	SI
PH	58.20704734	SI

Cuadro 14. Significancia Estadística, ciclo Mayo-Octubre (18)

Para las variables en ambos ciclos, el estadístico de prueba resulta ser muy grande lo que garantiza que prácticamente a cualquier nivel de significancia $\alpha = 0.1$, $\alpha = 0.05$, $\alpha = 0.025$ y $\alpha = 0.001$ (los más usuales) se presentan diferencias significativas con respecto a su media.

4.5 CORRELACION

“Es la relación concomitante entre dos o más variables, o sea, entre dos o más series de datos. El grado de relación puede ser medido y representado por el coeficiente de correlación designado por la letra griega rho (ρ) o por r .” (Cortland.edu, 2007)

El coeficiente de correlación esta dado entre $-1 \leq \rho \leq 1$, donde -1 indica una correlación negativa, es decir inversamente proporcional, a medida que una variable aumenta, la otra disminuye; y 1 proporciona una correlación positiva o directamente proporcional, es decir., si una variable aumenta, la otra también lo hace. Entre más cercano a cero, existe menos posibilidad de correlación.

En el Cuadro 15 se muestra la matriz de Correlación para el ciclo de Diciembre-Mayo, y para el ciclo Mayo-Octubre en el Cuadro 16.

	REND	XT	PRE	PPE	PET	MT	IT	ALTITUD	PH
REND	1								
XT	0.08330485	1							
PRE	-0.25034076	-0.07848667	1						
PPE	-0.25044846	-0.47098207	0.91569063	1					
PET	0.07602236	0.92866161	0.167026	-0.22584872	1				
MT	0.10607828	0.98578869	-0.23205789	-0.60184032	0.86185846	1			
IT	0.13509291	0.90931165	-0.45453166	-0.76898821	0.71166018	0.96629244	1		
ALTITUD	0.09013541	-0.81254313	-0.03488807	0.30151953	-0.6541734	-0.81232186	-0.76690988	1	
PH	0.13236128	-0.45321631	-0.83673403	-0.56048593	-0.67205542	-0.30094468	-0.05088805	0.36484003	1

Cuadro 15. Matriz de Correlación, ciclo Diciembre-Mayo (25)

	REND	XT	PRE	PPE	PET	MT	IT	ALTITUD	PH
REND	1								
XT	-0.24549253	1							
PRE	-0.23125955	-0.43515869	1						
PPE	-0.23434638	-0.53500764	0.96306441	1					
PET	0.07975642	0.51563249	-0.12334991	-0.38307297	1				
MT	-0.26246766	0.98942752	-0.33807191	-0.44585344	0.52144155	1			
IT	-0.27723435	0.93641046	-0.18371018	-0.29895754	0.51008961	0.97740164	1		
ALTITUD	0.01651956	-0.03247902	-0.43710278	-0.34844272	-0.27380029	-0.08334223	-0.15431176	1	
PH	0.23229223	-0.53343249	0.23736844	0.40259139	-0.63389664	-0.51700565	-0.47341178	-0.32906824	1

Cuadro 16. Matriz de Correlación, ciclo Mayo-Octubre (18)

Lo interesante en ambos casos es observar la correlación entre la variable REND (rendimiento) con las demás variables, en virtud de establecer que tanto afecta cada una el rendimiento promedio de las variedades de trigo seleccionadas.

En ambos ciclos existe correlación, pues en ningún caso esta es igual a cero, lo que implica que las variables ambientales (XT, IT, MT, PPE, PRE y PET), Altitud y pH inciden en el rendimiento

algunas en menor y mayor grado que otras, y unas directamente o indirectamente, pero al final, todas tienen un peso específico en el Rendimiento.

A manera de contrastar estos análisis, se hacen los respectivos sobre una muestra de 458 observaciones para el ciclo Diciembre-Mayo y 899 para Mayo-Octubre, obteniéndose los siguientes resultados:

- **Significancia Estadística**

Los resultados para el ciclo Diciembre-Mayo se muestran en el Cuadro 17, y para el ciclo Mayo-Octubre en el Cuadro 18.

VARIABLE	ESTADISTICO DE PRUEBA	SIGNIFICANCIA
REND	72.7288679	SI
XT	272.5209295	SI
PRE	30.6212257	SI
PPE	34.2463089	SI
PET	153.8416774	SI
MT	211.7591914	SI
IT	61.2509076	SI
ALTITUD	97.0256522	SI
pH	210.2669851	SI

Cuadro 17. Significancia Estadística, ciclo Diciembre-Mayo (458)

VARIABLE	ESTADISTICO DE PRUEBA	SIGNIFICANCIA
REND	110.7828679	SI
XT	436.6956479	SI
PRE	158.4591541	SI
PPE	144.8086153	SI
PET	640.6012013	SI
MT	364.7637978	SI
IT	248.3522599	SI
ALTITUD	204.5461997	SI
pH	398.7743448	SI

Cuadro 18. Significancia Estadística, ciclo Mayo-Octubre (899)

Como en el caso del análisis para las observaciones finales de cada ciclo, aquí, al aumentar el tamaño de muestra, también resulta ser altamente significativa con respecto a su media; lo que garantiza la existencia de correlación entre las variables.

- **Correlación**

Los resultados para el ciclo Diciembre-Mayo se muestran en el Cuadro 19, y para el ciclo Mayo-Octubre en el Cuadro 20.

	REND	XT	PRE	PPE	PET	MT	IT	ALTITUD	pH
REND	1								
XT	0.21803102	1							
PRE	0.2929537	0.25616282	1						
PPE	0.27130466	0.11205862	0.9879648	1					
PET	0.23674506	0.80790247	0.61601154	0.50250854	1				
MT	-0.03148763	0.61825448	-0.53511351	-0.64750953	0.11259762	1			
IT	-0.20654252	0.02278861	-0.87625736	-0.90918195	-0.47370362	0.79986303	1		
ALTITUD	-0.27650017	-0.59477163	-0.45007853	-0.37754238	-0.36087701	-0.29006187	0.08522503	1	
pH	-0.26443745	-0.44945244	-0.8780134	-0.82247669	-0.81675706	0.31149206	0.73941598	0.35262303	1

Cuadro 19. Matriz de Correlación, ciclo Diciembre-Mayo (458)

	REND	XT	PRE	PPE	PET	MT	IT	ALTITUD	pH
REND	1								
XT	0.15868983	1							
PRE	-0.38387946	-0.55311481	1						
PPE	-0.36857446	-0.62317052	0.98345088	1					
PET	0.05089163	0.57879618	-0.25762885	-0.42281855	1				
MT	0.15511019	0.98949968	-0.48625416	-0.56074605	0.5791196	1			
IT	0.14429056	0.93814545	-0.37264684	-0.4507586	0.5583289	0.97833865	1		
ALTITUD	-0.15173281	-0.47142738	0.16936113	0.23075995	-0.43893668	-0.49869432	-0.51944515	1	
pH	0.13550245	-0.03395952	-0.23298107	-0.227304	-0.01697141	-0.02603513	-0.01373006	-0.05997698	1

Cuadro 20. Matriz de Correlación, ciclo Mayo-Octubre (899)

En el cuadro 21 y 22 se presentan las diferencias entre los ciclos aumentando el tamaño de muestra para la variable REND; para Diciembre-Mayo y Mayo-Octubre respectivamente.

VARIABLE	OBSERVACIONES (25)	OBSERVACIONES(458)
REND	1	1
XT	0.08330485	0.21803102
PRE	-0.25034076	0.2929537
PPE	-0.25044846	0.27130466
PET	0.07602236	0.23674506
MT	0.10607828	-0.03148763
IT	0.13509291	-0.20654252
ALTITUD	0.09013541	-0.27650017
PH	0.13236128	-0.26443745

Cuadro 21. Correlación de REND, ciclo Diciembre-Mayo

VARIABLE	OBSERVACIONES (18)	OBSERVACIONES (899)
REND	1	1
XT	-0.24549253	0.15868983
PRE	-0.23125955	-0.38387946
PPE	-0.23434638	-0.36857446
PET	0.07975642	0.05089163
MT	-0.26246766	0.15511019
IT	-0.27723435	0.14429056
ALTITUD	0.01651956	-0.15173281
PH	0.23229223	0.13550245

Cuadro 22. Correlación de REND, ciclo Mayo-Octubre

El rendimiento (REND) está íntimamente ligado con la disponibilidad de agua, es decir, la correlación entre esta variable y la de precipitación (PRE), tendría que ser negativa en este estudio, partiendo del supuesto de que se trata de encontrar variedades de trigo con rendimientos óptimos bajo condiciones de sequía (poca agua) como se establece para las muestras finales de cada ciclo, donde se nota que a menor PRE mayor REND (correlación negativa).

Al aumentar el tamaño de la muestra, la correlación entre REND y PRE para Diciembre-Mayo cambia de negativa a positiva lo que implica que a mayor PRE mayor REND; y para Mayo-Octubre la correlación se mantiene negativa, i.e., a menor PRE mayor REND.

En virtud de ello se procedió a someter nuevamente estas variedades al experimento de sequía controlada, hallándose las muestras finales mostradas con anterioridad para cada ciclo, 25 de Diciembre-Mayo y 18 de Mayo-Octubre. Donde la correlación es estrechamente negativa, algo lógico y esperado según los objetivos del proyecto.

4.6 CONCLUSION

La información presentada en este capítulo, permite sentar las bases para la manipulación de los datos, garantizando que las inferencias que se hagan sobre estos, no provocaran ningún tipo de sesgo, pues no se viola el supuesto fundamental en estadística de Normalidad. Además se incluye la significancia estadística y la correlación que guardan entre si las variables, notando que para ambos ciclos las variables en cuestión inciden en el rendimiento promedio de los trigos seleccionados.

CAPÍTULO V

RESULTADOS OBTENIDOS

5.1 INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se desarrollan las metodologías descritas en capítulos anteriores, se muestran los resultados derivados del procesamiento de los datos, cuyo objetivo es predecir cuales regiones de México tienen o tuvieron razas criollas mexicanas de trigo con comportamiento excepcional bajo sequía controlada.

Todos los resultados de los análisis aquí presentados, se hicieron con los datos extraídos de los sitios de colecta para cada ciclo de producción.

RESULTADOS GENERALES

5.2 CICLO DICIEMBRE-MAYO (CICLO DE INVIERNO)

5.2.1 Análisis de Variables Ambientales

- a) **Mapa de Temperatura.** Los meses más críticos, donde la temperatura juega un papel más importante, para la planta de trigo, de este ciclo, se presentan en enero, febrero y marzo. En el Cuadro 23 se muestran los valores (rangos absolutos) máximos y mínimos de los perfiles de temperatura entre los cuales se hallan los sitios de colecta, para cada variable.

VARIABLE	ENERO		FEBRERO		MARZO	
	MAXIMA	MINIMA	MAXIMA	MINIMA	MAXIMA	MINIMA
IT	5.6	0.8	6.5	1.5	8.9	3.5
MT	14.9	9.7	15.9	10.7	18.8	13.1
XT	24	17.3	25.8	18.3	28.7	21.1

Cuadro 23. Valores de Mapa de Temperaturas, ciclo Diciembre-Mayo

Intersectando las zonas en común de las variables de temperatura mínima (IT), media (MT) y máxima (XT), obtenemos el mapa de Temperatura. Dado en la Figura 17.

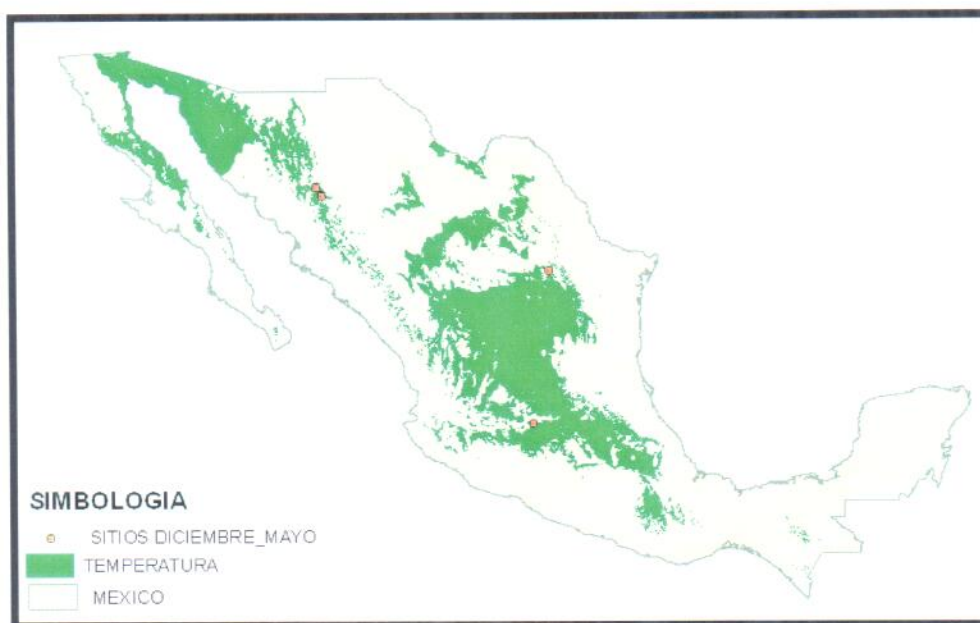


Figura 17. Mapa de Temperatura, ciclo de Invierno

- b) **Mapa de Precipitación.** Los meses más críticos, donde la disponibilidad de agua para el cultivo juega un papel más importante, se presentan en enero, febrero y marzo. En el Cuadro 24 se muestran los valores (rangos absolutos) máximos y mínimos de disponibilidad de agua entre los cuales se hallan los sitios de colecta, para cada variable.

VARIABLE	ENERO		FEBRERO		MARZO	
	MÁXIMA	MÍNIMA	MÁXIMA	MÍNIMA	MÁXIMA	MÍNIMA
PRE	51	12	27	5	20	6
PET	82	46	97	59	131	92
PPE	0.81	0.14	0.35	0.05	0.17	0.04

Cuadro 24. Valores de Mapa de Precipitación, ciclo Diciembre-Mayo

$$PPE = \frac{PRE}{PET}$$

Los valores de PPE pueden no corresponder al cociente dado por los

valores específicos en PET (Potencial de Evapotranspiración) y PRE (Precipitación), ello se debe a que aquí se muestran rangos, y no necesariamente son correspondientes.

Intersectando las zonas en común de las variables de precipitación, PET, PPE y PRE, obtenemos el mapa de Precipitación. Dado en la Figura 18.



Figura 18. Mapa de Precipitación, ciclo de Invierno

Intersectando las zonas en común de los mapas de Temperatura y Precipitación obtenemos el mapa de variables Ambientales. Dado en la Figura 19.

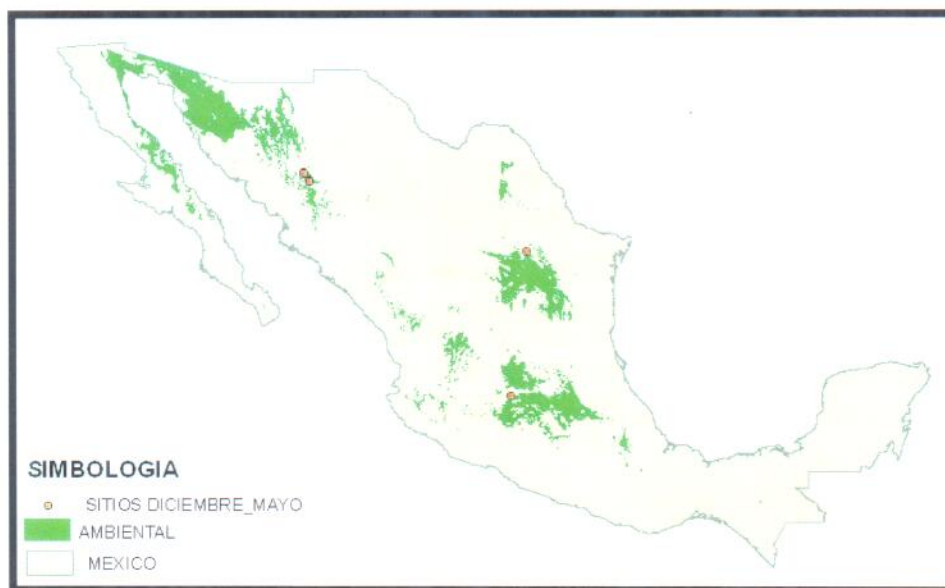


Figura 19. Mapa de Variables Ambientales, ciclo de Invierno

5.2.2 Análisis de Variables Edáficas

El suelo es un factor determinante en el ciclo biológico de las plantas, ya que es el medio donde prospera, y por el cual obtiene gran parte de los nutrimentos que requiere; el trigo no es la excepción, y para este estudio, se encontró que se desarrolla mejor en suelos con textura y pH, dados en el Cuadro 25, para cada sitio de muestreo.

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

Cuadro 25. Valores de Mapa de Suelo, ciclo Diciembre-Mayo

Por leyes físicas dos cuerpos no pueden ocupar un mismo lugar en un mismo tiempo, por tanto el mapa de suelo presentado en la Figura 20, es la unión de tipos de suelos, texturas y pH, dados en el Cuadro 25.

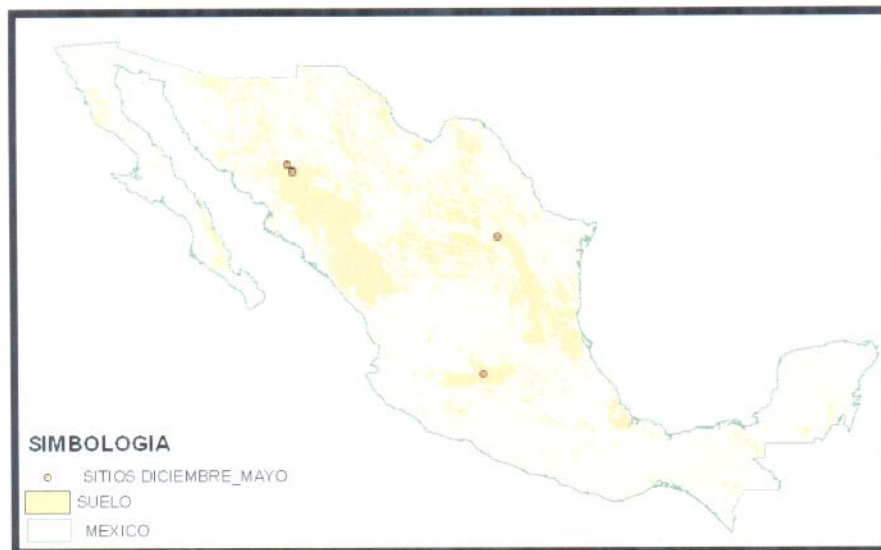


Figura 20. Mapa de Suelo, ciclo de Invierno

5.2.3 Análisis de la Variable Sequía

El término sequía se aplica a un “periodo de tiempo en el que la escasez de lluvia produce un desequilibrio hidrológico grave: los pantanos se vacían, los pozos se secan y las cosechas sufren daños. La gravedad de la sequía se determina por el grado de humedad, su duración y la superficie del área afectada” (Encarta/Sequia, 2003). En la Figura 21, se muestra un mapa con las frecuencia de sequía para el territorio mexicano, para el ciclo de invierno.

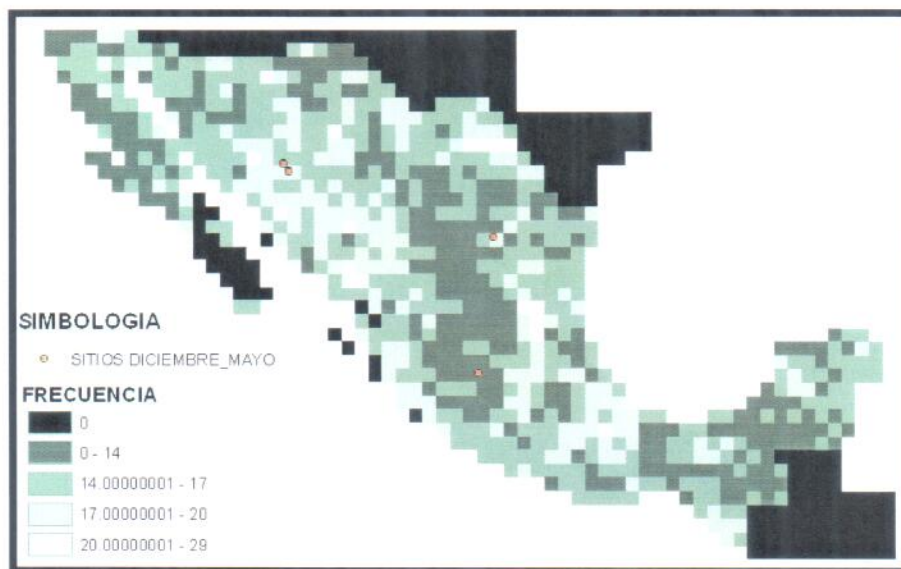


Figura 21. Mapa de Frecuencia de Sequía para el ciclo de Invierno

El valor mínimo de 0 indica que en esas zonas no se han presentado sequías, y conforme más se acerque al valor máximo de 29, la frecuencia de sequía aumenta; bajo el supuesto de que esta se distribuye como una normal, en virtud de que data de 1901 a 2002, el teorema central del límite lo garantiza, el Gráfico 3 muestra esta distribución.

Para el presente estudio, un análisis por quintiles, arroja que en los quintiles 3 y 4, se encuentran las zonas con sequía de interés para el mismo, los valores se muestran en el Cuadro 26.

QUINTIL	VALOR	
	MÍNIMO	MÁXIMO
1	0	5.8
2	5.8	11.6
3	11.6	17.4
4	17.4	23.2
5	23.2	29

Cuadro 26. Frecuencia de Sequía por Quintiles, ciclo Diciembre-Mayo

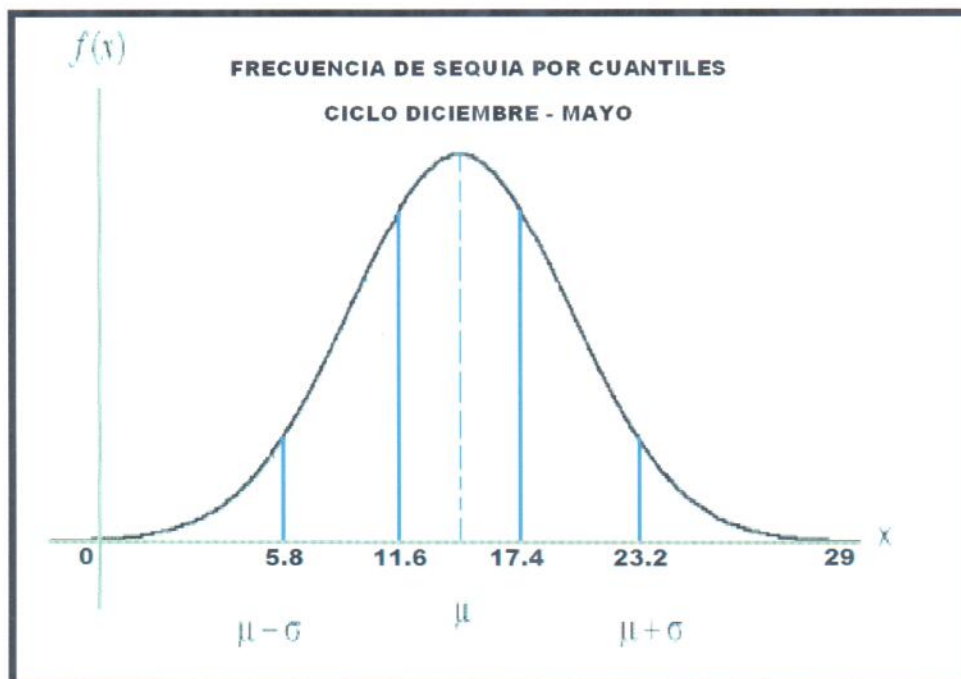


Gráfico 3. Frecuencia de Sequía por Quintiles, ciclo Diciembre-Mayo

En los quintiles 1 y 2, están las zonas con poca frecuencia de sequía, es decir, estas zonas presentan poca sequía; y en el quintil 5, zonas con alta frecuencia de sequías, donde se hallan los desiertos, y donde es prácticamente imposible cultivar sin irrigación.

En la Figura 22, se muestran las zonas del territorio mexicano que presentan frecuencia de sequía mayor a 11.6 y menor a 23.2, correspondiente a los quintiles 3 y 4.

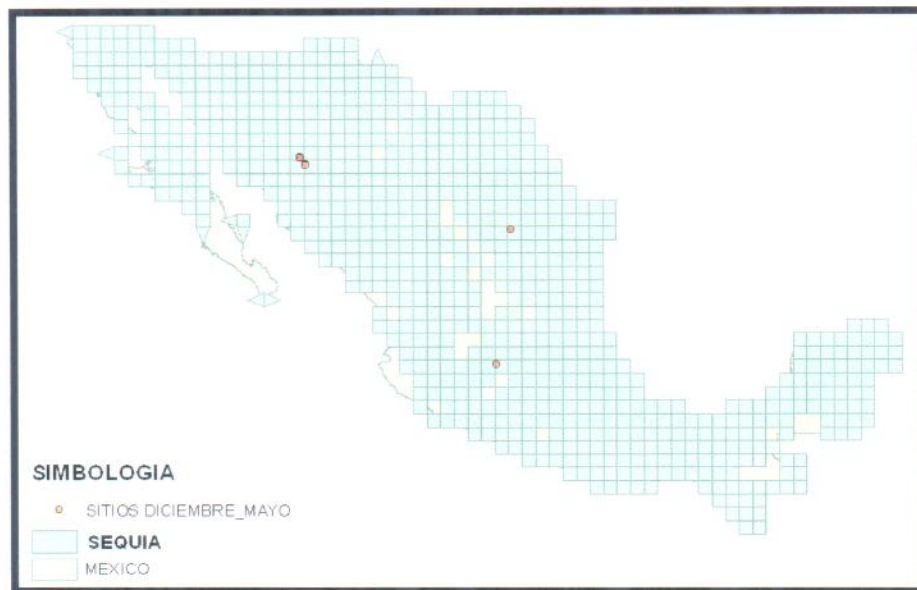


Figura 22. Mapa de Frecuencia de Sequía de los quintiles 3 y 4 para el ciclo de Invierno

5.2.4 Análisis de la Variable Irrigación

Irrigar consiste en suministrar agua a los cultivos de forma inducida, para que estos se desarrollen plenamente, es decir, el hombre interviene mediante el empleo de métodos y maquinaria especializada.

La Figura 23, muestra un mapa de cómo se distribuye la irrigación en el territorio mexicano, subdividiendo esta a su vez en zonas con probabilidad de irrigación mayor y menor al 10% (en el pixel).

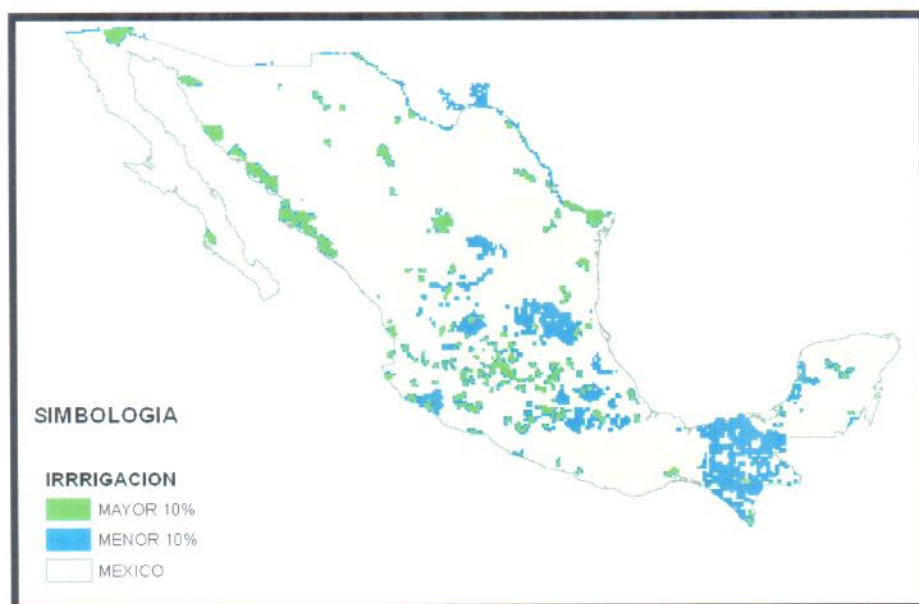


Figura 23. Distribución de Irrigación en el Territorio Mexicano

5.2.5 Intersección de las Variables Ambientales, Edáficas, Sequía e Irrigación.

Finalmente, intersectando las zonas en común dadas por los respectivos mapas de las variables ambientales, suelo y sequía, y posteriormente analizando cuales de estas zonas no tienen o tienen irrigación mayor o menor al 10 %, se obtienen los resultados mostrados en la Figura 24, donde se presentan las regiones dentro del territorio mexicano, con comportamiento excepcional bajo sequía, para el ciclo Diciembre-Mayo (ciclo de Invierno).

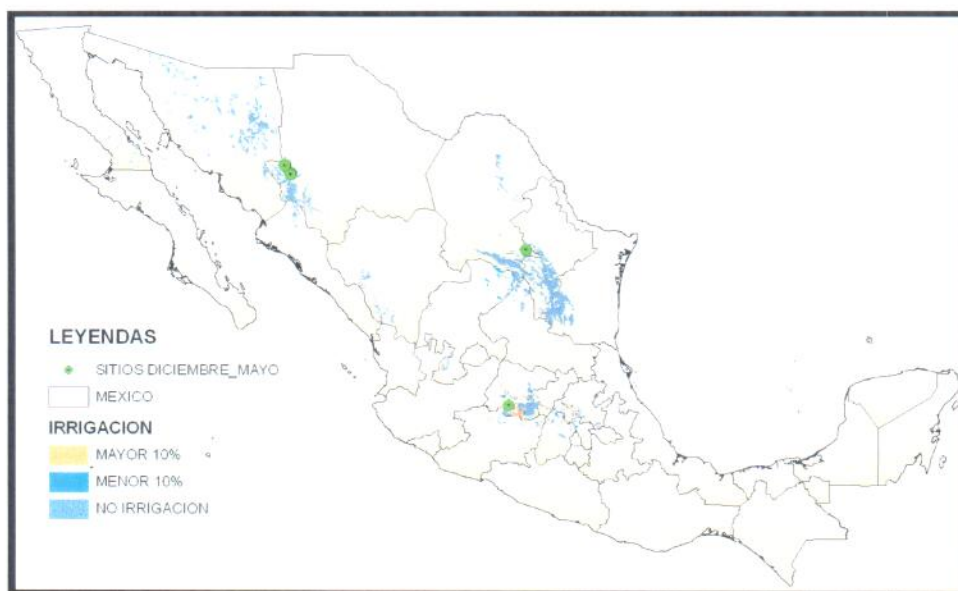


Figura 24. Regiones, con comportamiento excepcional bajo sequía para el ciclo de Invierno

En las Figuras, 25, 26 y 27, se presentan acercamientos, a las tres zonas más representativas, la comprendida en Chihuahua, Coahuila y Guanajuato respectivamente, que son las zonas de los sitios de colecta.

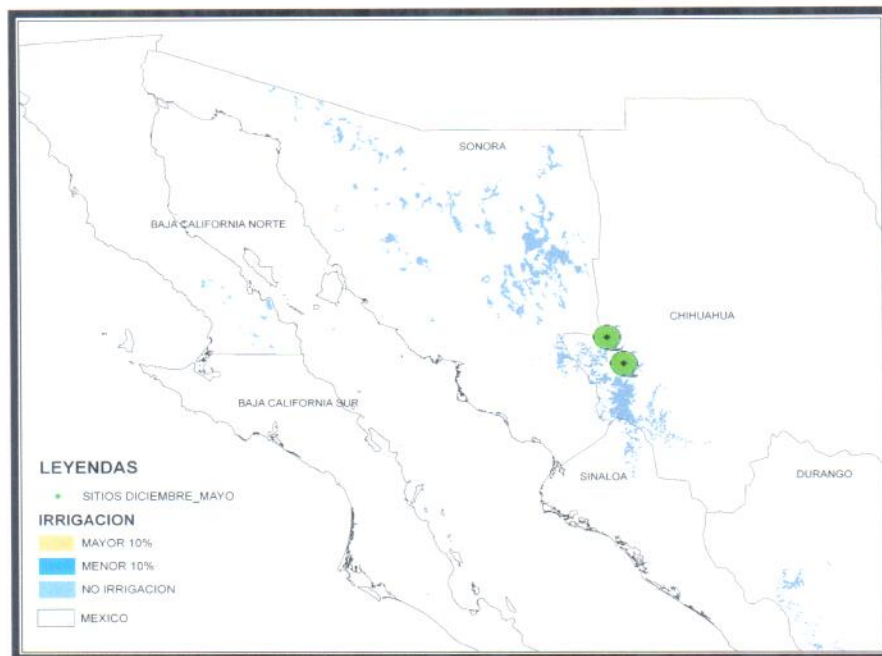


Figura 25. Mapa de la Zona que comprende el Sitio de Colecta de Chihuahua

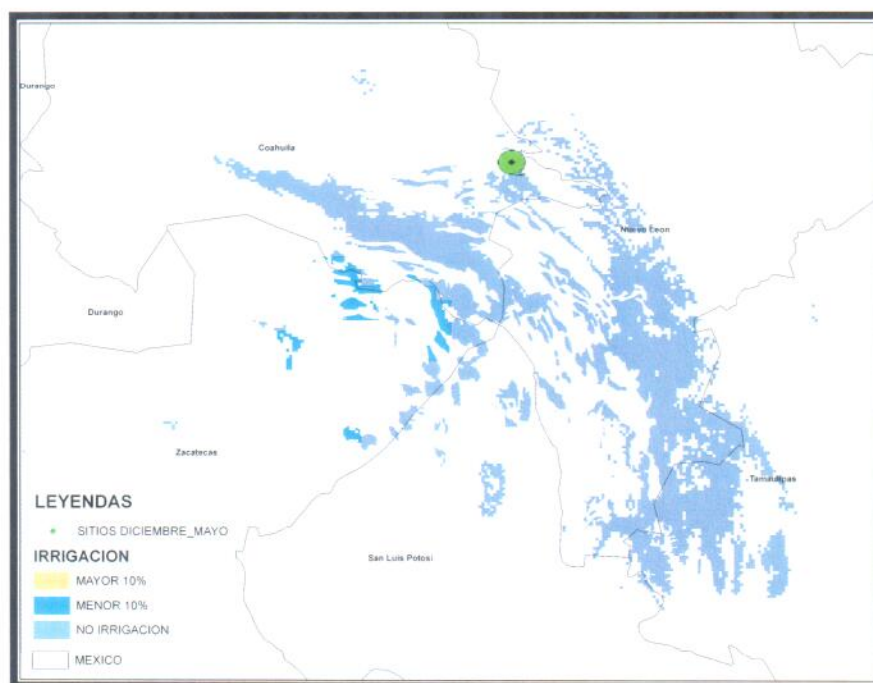


Figura 26. Mapa de la Zona que comprende el Sitio de Colecta de Coahuila

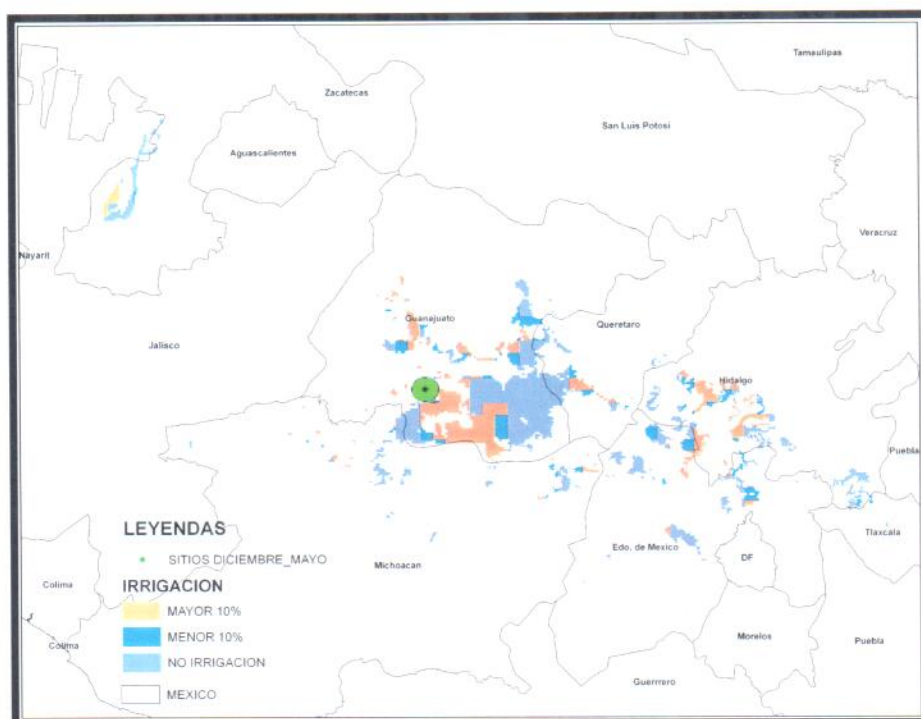


Figura 27. Mapa de la Zona que comprende el Sitio de Colecta de Guanajuato

Note que los sitios de colecta de Chihuahua y Coahuila, se sitúan en zonas sin irrigación, la de Guanajuato parece estar en una zona con irrigación mayor al 10%; en realidad esta rodeada por una zona de irrigación del 38%, pero es una zona sin irrigación.

5.2.6 Uso de Suelo y Vegetación

Recurriendo a un análisis previo por parte de CONABIO, donde se muestra en capas temáticas el Uso de Suelo y Vegetación (CONABIO, 1999) existentes en el país, se intersectaron las zonas idóneas para el cultivo de trigo bajo condiciones de sequía, anteriormente descritas, con estas capas temáticas; con la finalidad de establecer si son regiones aptas o no para cultivo, en el sentido de que tal vez pudieran ser por condiciones orográficas, hidrográficas, o demográficas regiones improbables para el cultivo no solo de trigo, sino de cualquier otra especie.

Los resultados se muestran en la Figura 28, donde se observa que las regiones caen predominantemente en bosque de coníferas, bosques de encino, bosques de pino y en plantaciones de manejo agrícola, pecuario y forestal.

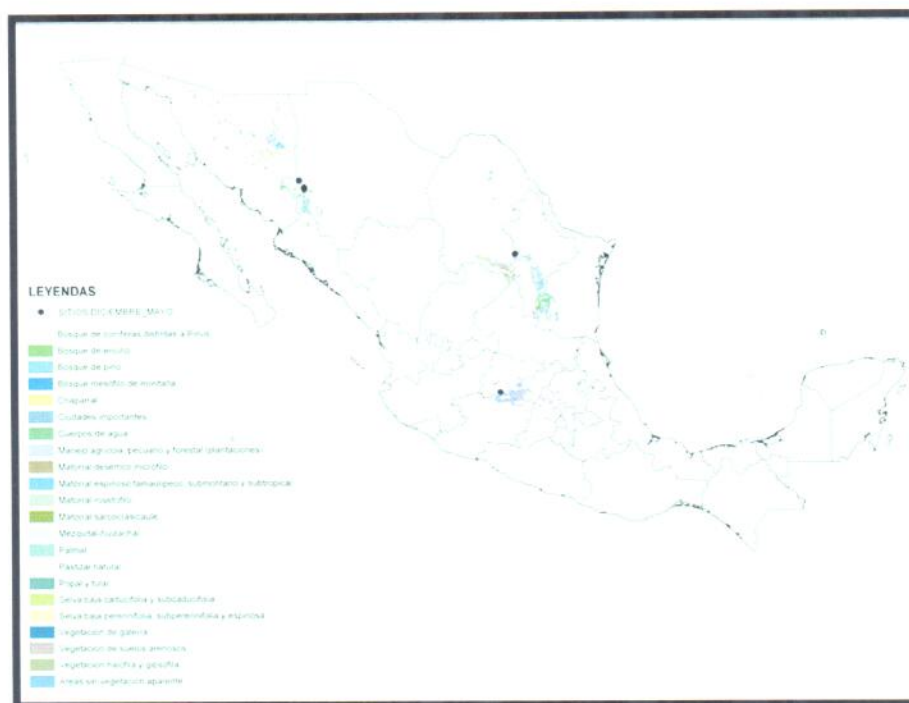


Figura 28. Uso de Suelo y Vegetación, ciclo de Invierno

En las Figuras, 29, 30 y 31, se presentan acercamientos, a las tres zonas más representativas, la comprendida en Chihuahua, Coahuila y Guanajuato respectivamente, que son las zonas de los sitios de colecta.

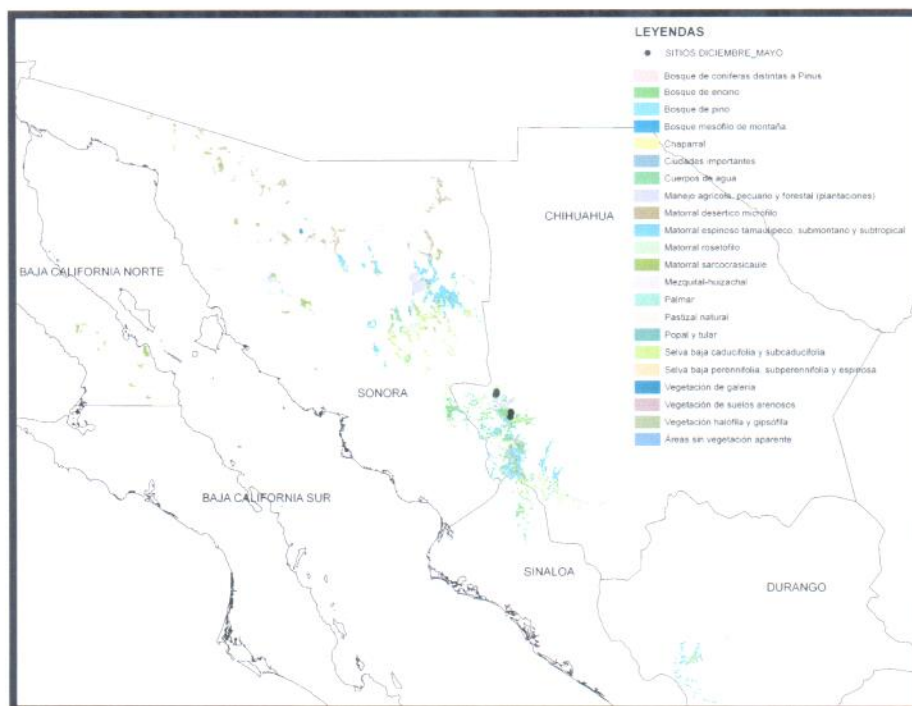


Figura 29. Uso de Suelo y Vegetación, región de Chihuahua

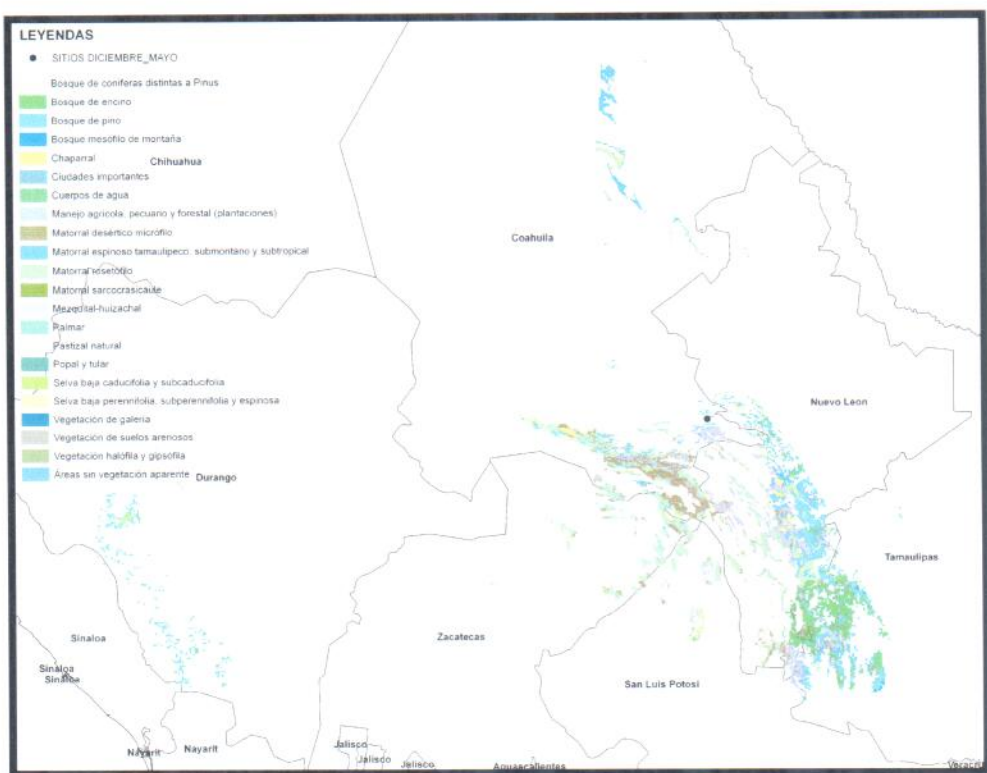


Figura 30. Uso de Suelo y Vegetación, región de Coahuila

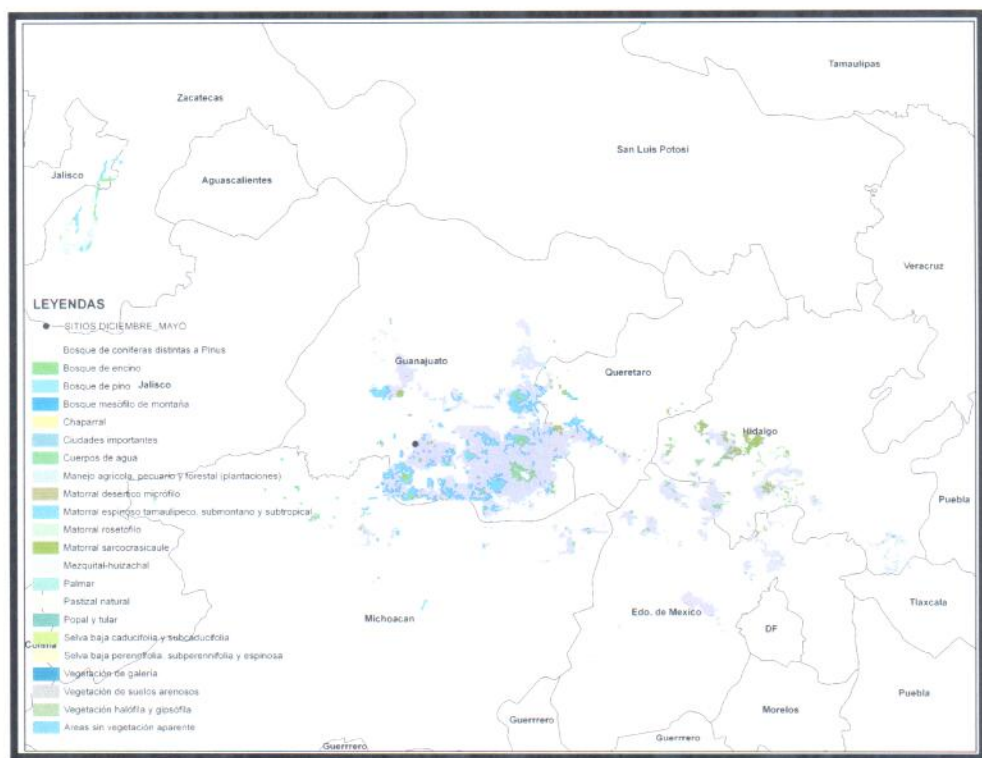


Figura 31. Uso de Suelo y Vegetación, región de Guanajuato

5.2.7 Rezago Social

Existen innumerables definiciones sobre rezago social; no obstante, después de una exhaustiva revisión establecemos que existe rezago social en aquellas poblaciones donde los servicios básicos como agua, luz, drenaje, vías de comunicación etc., son casi nulos o no existen, lo que genera pobreza y marginación. Un indicador cualitativo divide al rezago social en cinco rubros: Alto, Bajo, Medio, Muy alto y Muy bajo. (SEDESOL, 2005).

A manera de establecer correlación entre rezago social y las zonas potenciales para el cultivo de trigo bajo condiciones de sequía, se construyó con información por municipios sobre el grado de rezago social (SEDESOL, 2005) una capa temática donde se muestra esta correlación, los resultados se muestran en la Figura 32.

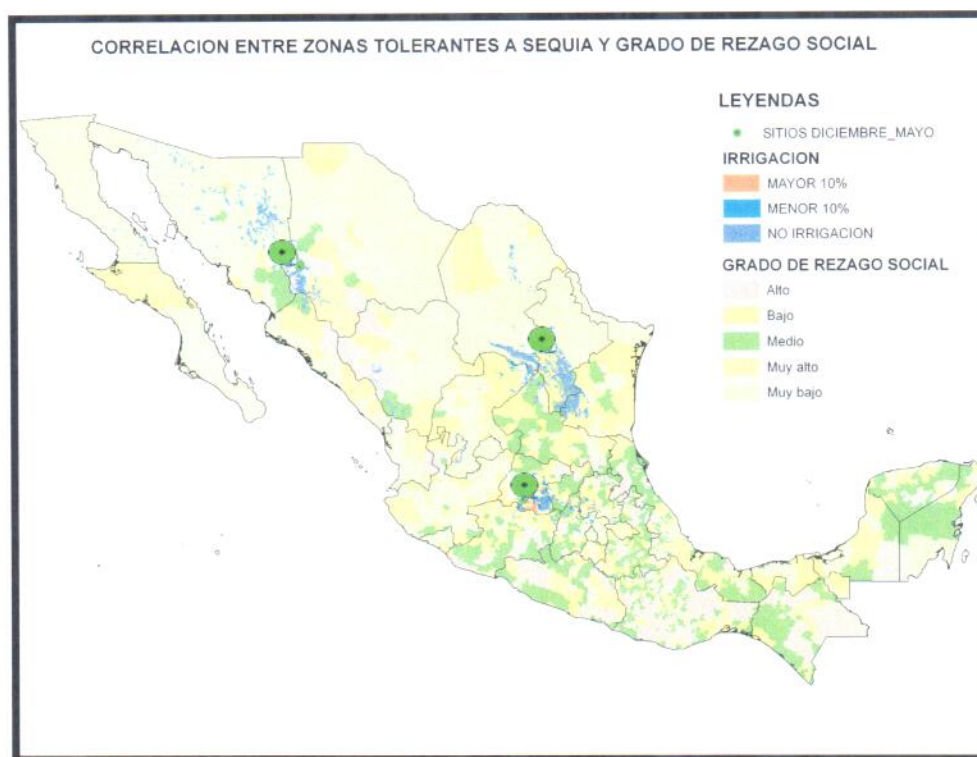


Figura 32. Correlación entre zonas tolerantes a sequía y grado de rezago social, invierno

En general para las zonas encontradas en este ciclo de producción, se observa que caen en municipios donde el grado de rezago social es de muy bajo a medio. Exceptuando la región comprendida entre Chihuahua y Sonora, donde el grado de rezago social es alto debido quizás a la fisiografía del sitio, pues se encuentra en la sierra madre occidental.

5.3 CICLO MAYO-OCTUBRE (CICLO DE VERANO)

5.3.1 Análisis de Variables Ambientales

- a) **Mapa de Temperatura.** Los meses más críticos, donde la temperatura juega un papel más importante, para la planta de trigo, de este ciclo, se presentan en junio, julio y agosto. En el Cuadro 27 se muestran los valores (rangos absolutos) máximos y mínimos de los perfiles de temperatura entre los cuales se hallan los sitios de colecta, para cada variable.

VARIABLE	JUNIO		JULIO		AGOSTO	
	MÁXIMA	MÍNIMA	MÁXIMA	MÍNIMA	MÁXIMA	MÍNIMA
IT	11	8	11	7	10	7
MT	18	14	17	13	17	13
XT	25	20	24	19	24	19

Cuadro 27. Valores de Mapa de Temperaturas, ciclo Mayo-Octubre

Intersectando las zonas en común de las variables de temperatura mínima (IT), media (MT) y máxima (XT), obtenemos el mapa de Temperatura. Dado en la Figura 33.

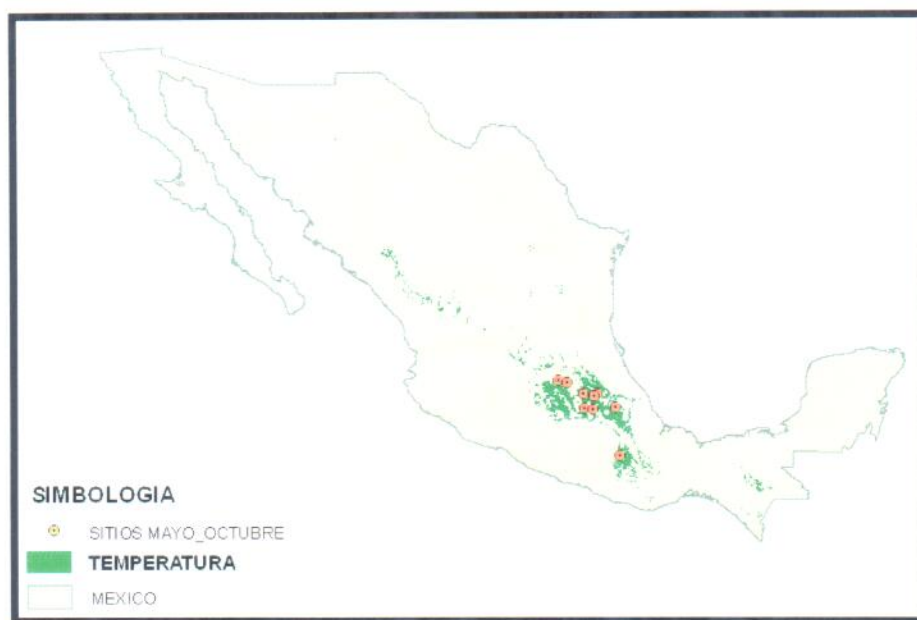


Figura 33. Mapa de Temperatura, ciclo de Verano

- b) **Mapa de Precipitación.** Los meses más críticos, donde la disponibilidad de agua para el cultivo juega un papel más importante, se presentan en junio, julio y agosto. En el Cuadro 28 se muestran los valores (rangos absolutos) máximos y mínimos entre los cuales se hallan los sitios de colecta, para cada variable.

VARIABLE	JUNIO		JULIO		AGOSTO	
	MAXIMA	MINIMA	MAXIMA	MINIMA	MAXIMA	MINIMA
PRE	143	91	154	76	148	71
PET	128	106	118	100	118	98
PPE	1.3	0.8	1.5	0.7	1.5	0.7

Cuadro 28. Valores de Mapa de Precipitación, ciclo Mayo-Octubre

$PPE = \frac{PRE}{PET}$ Los valores de PPE pueden no corresponder al cociente dado por los valores específicos en PET (Potencial de Evapotranspiración) y PRE (Precipitación), ello se debe a que aquí se muestran rangos, y no necesariamente son correspondientes.

Intersectando las zonas en común de las variables de precipitación, PET, PPE y PRE, obtenemos el mapa de Precipitación. Dado en la Figura 34.

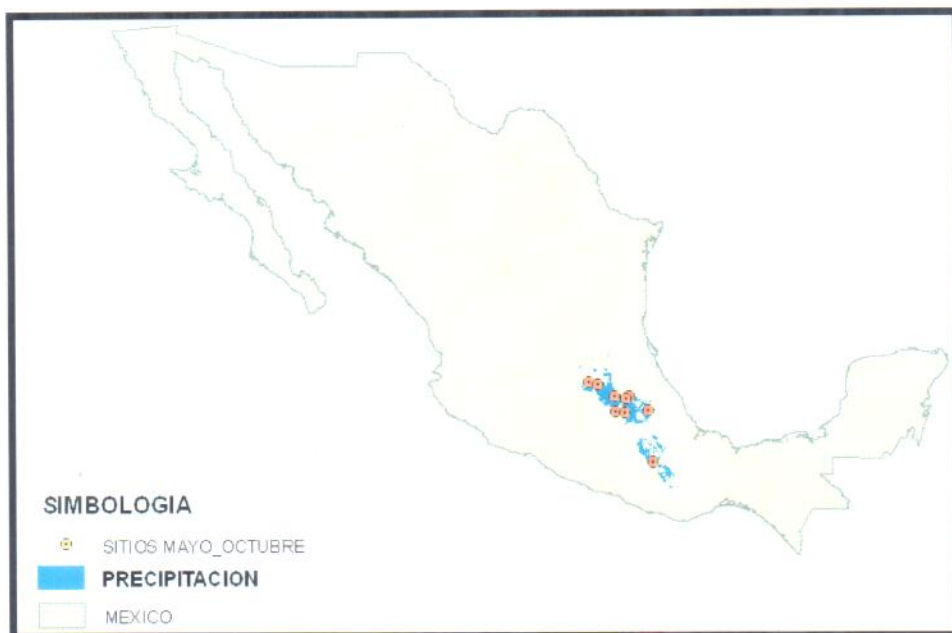


Figura 34. Mapa de Precipitación, ciclo de Verano

Intersectando las zonas en común de los mapas de Temperatura y Precipitación obtenemos el mapa de variables Ambientales. Dado en la Figura 35.

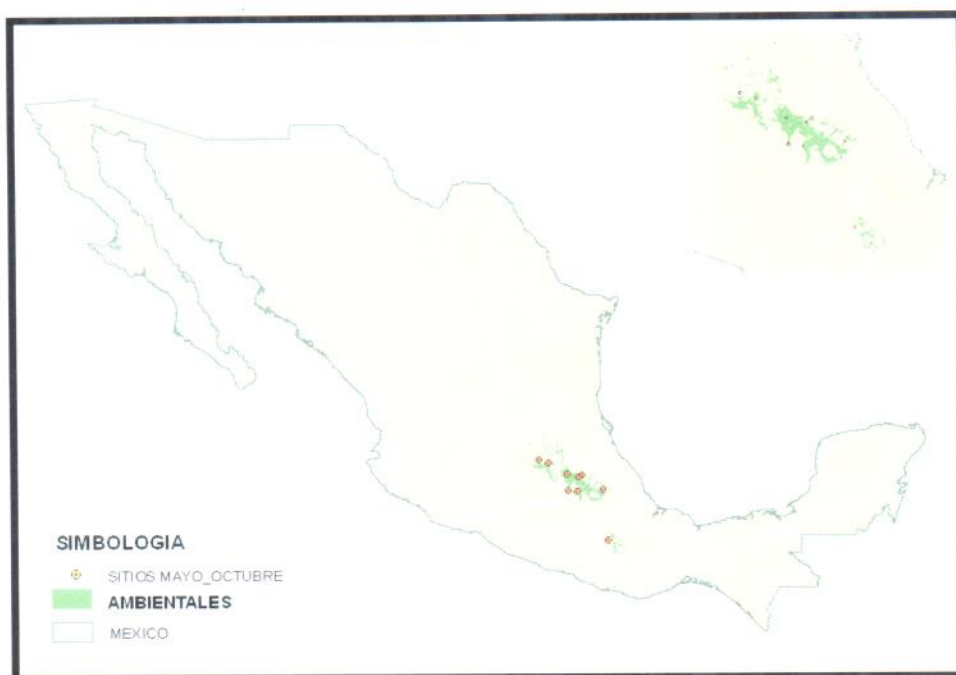


Figura 35. Mapa de Variables Ambientales, ciclo de Verano

5.3.2 Análisis de Variables Edáficas

El suelo es un factor determinante en el ciclo biológico de las plantas, ya que es el medio donde prospera, y por el cual obtiene gran parte de los nutrientes que requiere; el trigo no es la excepción, y para este estudio, se halló que se desarrolla mejor en suelos con textura y pH, dados en el Cuadro 29, para cada sitio de muestreo.

CLAVE	COORDENADAS		TIPO DE SUELO	TEXTURA	pH
	X	Y			
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

Cuadro 29. Valores de Mapa de Suelo, ciclo Mayo-Octubre

Por leyes físicas dos cuerpos no pueden ocupar un mismo lugar en un mismo tiempo, por tanto el mapa de suelo presentado en la Figura 36, es la unión de los suelos, texturas y pH, dados en el Cuadro 29.



Figura 36. Mapa de Suelo, ciclo de Verano

5.3.3 Análisis de la Variable Sequía

El término sequía se aplica a un "periodo de tiempo en el que la escasez de lluvia produce un desequilibrio hidrológico grave: los pantanos se vacían, los pozos se secan y las cosechas sufren daños. La gravedad de la sequía se calibra por el grado de humedad, su duración y la superficie del área afectada" (Encarta/Sequia, 2003).

En la Figura 37, se muestra un mapa con las frecuencia de sequía para el territorio mexicano, para el ciclo Mayo-Octubre (ciclo de Verano).

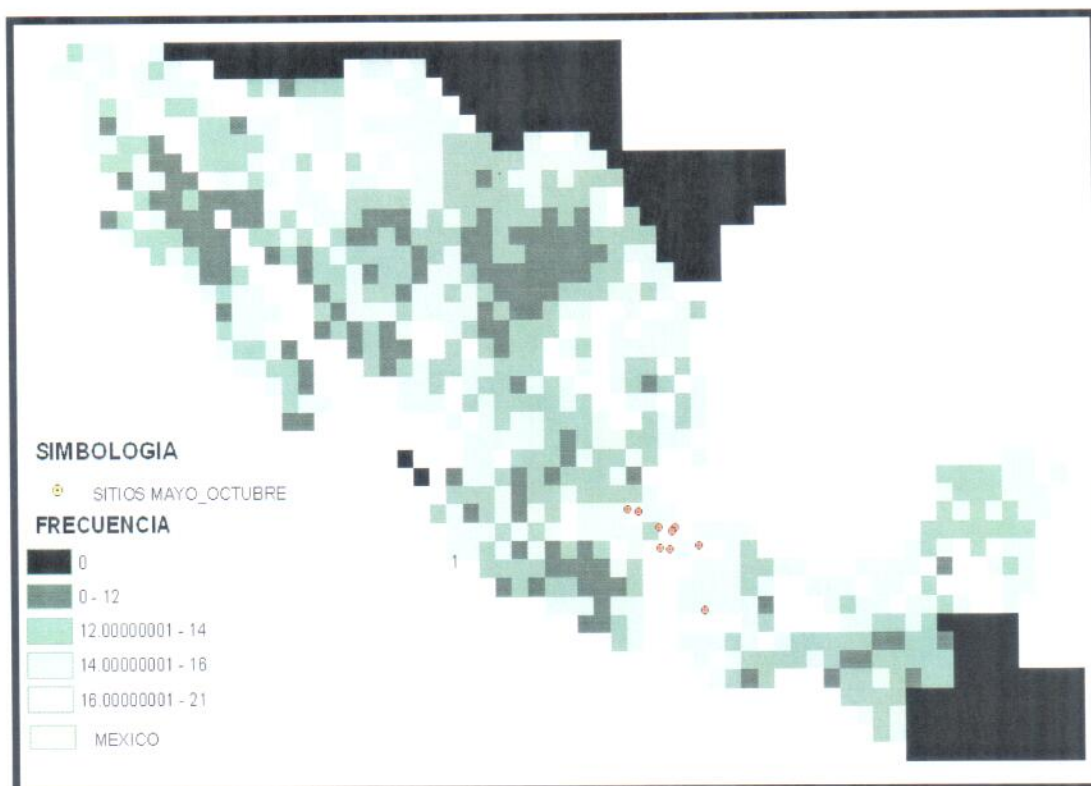


Figura 37. Mapa de Frecuencia de Sequía para el ciclo de Verano

El valor mínimo de 0 indica que en esas zonas no se han presentado sequías, y conforme mas se acerque al valor máximo de 21, la frecuencia de sequía aumenta; bajo el supuesto de que esta se distribuye como una normal, en virtud de que data de 1901 a 2002, el teorema central del límite lo garantiza, el Gráfico 4 muestra esta distribución.

Para el presente estudio, un análisis por quintiles, arroja que en los quintiles 4 y 5, se ubican las zonas con sequía de interés para el mismo, dado que en esta región la presencia de desiertos es prácticamente nula; los valores se muestran en el Cuadro 30.

QUINTIL	VALOR	
	MÍNIMO	MÁXIMO
1	0	4.2
2	4.2	8.4
3	8.4	12.6
4	12.6	16.8
5	16.8	21

Cuadro 30. Frecuencia de Sequía por Quintiles, ciclo Mayo-October

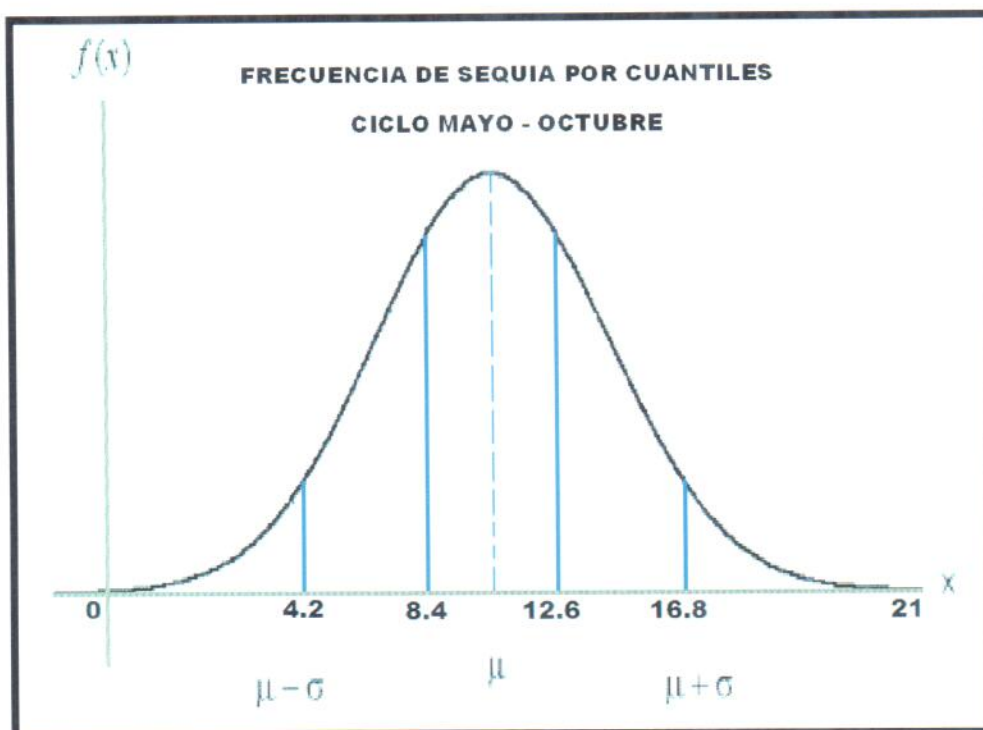


Gráfico 4. Frecuencia de Sequía por Quintiles, ciclo Mayo-Octubre

En los quintiles 1, 2 y 3 encontramos zonas con poca frecuencia de sequía, es decir, estas zonas presentan poca sequía. En la Figura 38, se muestran las zonas del territorio mexicano que presentan frecuencia de sequía mayor a 12.6 y menor a 21, correspondiente a los quintiles 4 y 5.



Figura 38. Mapa de Frecuencia de Sequía de los quintiles 4 y 5 para el ciclo de Verano

5.3.4 Análisis de la Variable Irrigación

Irrigar consiste en suministrar agua a los cultivos de forma inducida, para que estos se desarrollen plenamente, es decir, el hombre interviene mediante el empleo de métodos y maquinaria especializada.

La Figura 39, muestra un mapa de cómo se distribuye la irrigación en el territorio mexicano, subdividiendo esta a su vez en zonas con probabilidad de irrigación mayor y menor al 10 % (en el pixel).

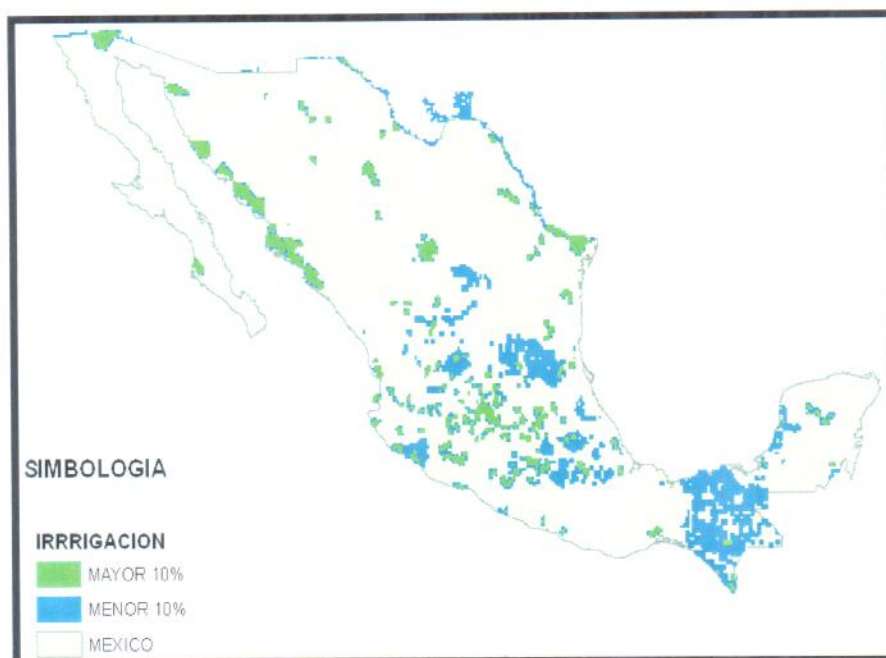


Figura 39. Distribución de Irrigación en el Territorio Mexicano

5.3.5 Intersección de las Variables Ambientales, Edáficas, Sequía e Irrigación.

Finalmente, intersectando las zonas en común dadas por los respectivos mapas de las variables ambientales, suelo y sequía, y posteriormente analizando cuales de estas zonas no tienen o tienen irrigación mayor o menor al 10 %, obtenemos los resultados mostrados en la Figura 40, donde se presentan las regiones dentro del territorio mexicano, con comportamiento excepcional bajo sequía, para el ciclo Mayo-Octubre (ciclo de Verano).

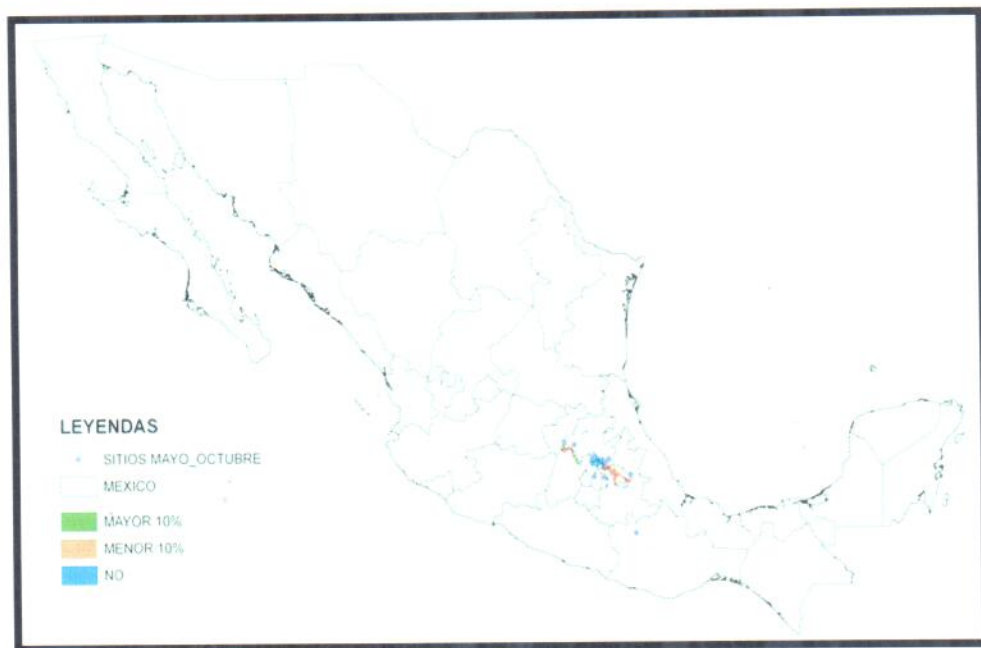


Figura 40. Regiones, con comportamiento excepcional bajo sequía para el ciclo de Verano

En la Figura 41 se presenta un acercamiento, a la zona más representativa, la que comprende los sitios de colecta.

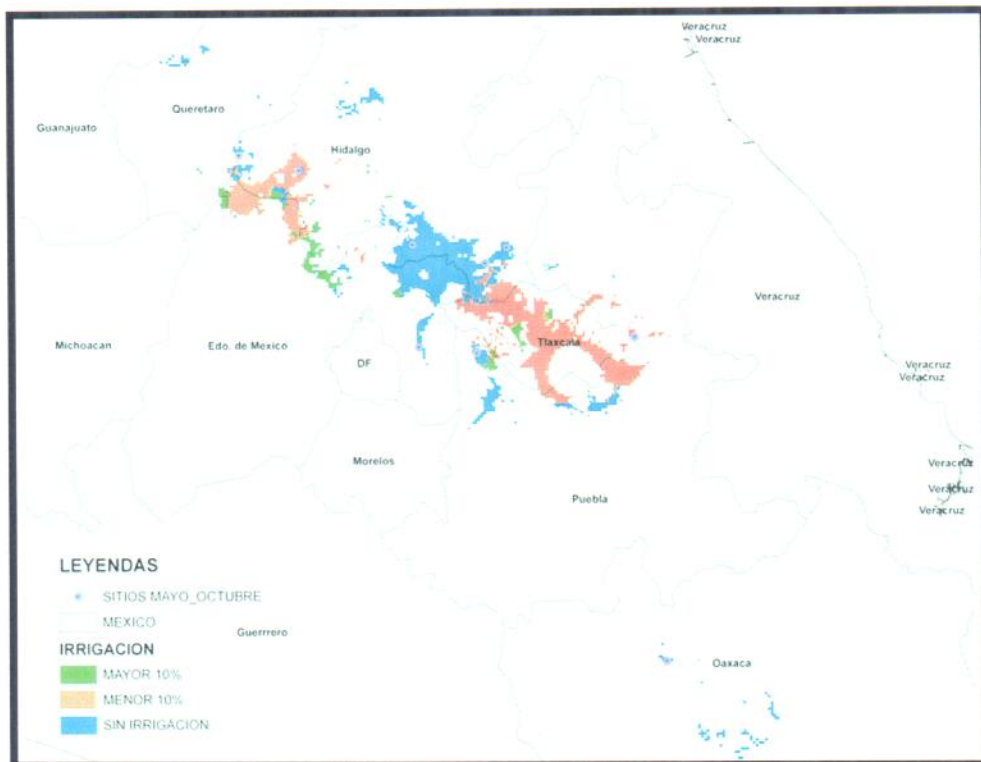


Figura 41. Mapa de la Zona que comprende los sitios de Colecta para el ciclo de Verano

Note que los sitios de colecta, se sitúan en zonas sin irrigación, solo hay uno que está en una zona con irrigación menor al 10 %, que para efectos prácticos se considera con irrigación casi nula.

5.3.6 Uso de Suelo y Vegetación

Recurriendo a un análisis previo por parte de CONABIO, donde se muestra en capas temáticas el Uso de Suelo y Vegetación (CONABIO, 1999) existentes en el país, se intersectaron las zonas idóneas para el cultivo de trigo bajo condiciones de sequía, anteriormente descritas, con estas capas temáticas; con la finalidad de establecer si son regiones aptas o no para cultivo, en el sentido de que tal vez pudieran ser por condiciones orográficas, hidrográficas, o demográficas regiones improbables para el cultivo no solo de trigo, sino de cualquier otra especie.

Los resultados se muestran en la Figura 42, donde se observa que las regiones caen predominantemente en plantaciones de manejo agrícola, pecuario y forestal; y en menor grado en bosque de coníferas y bosques de pino

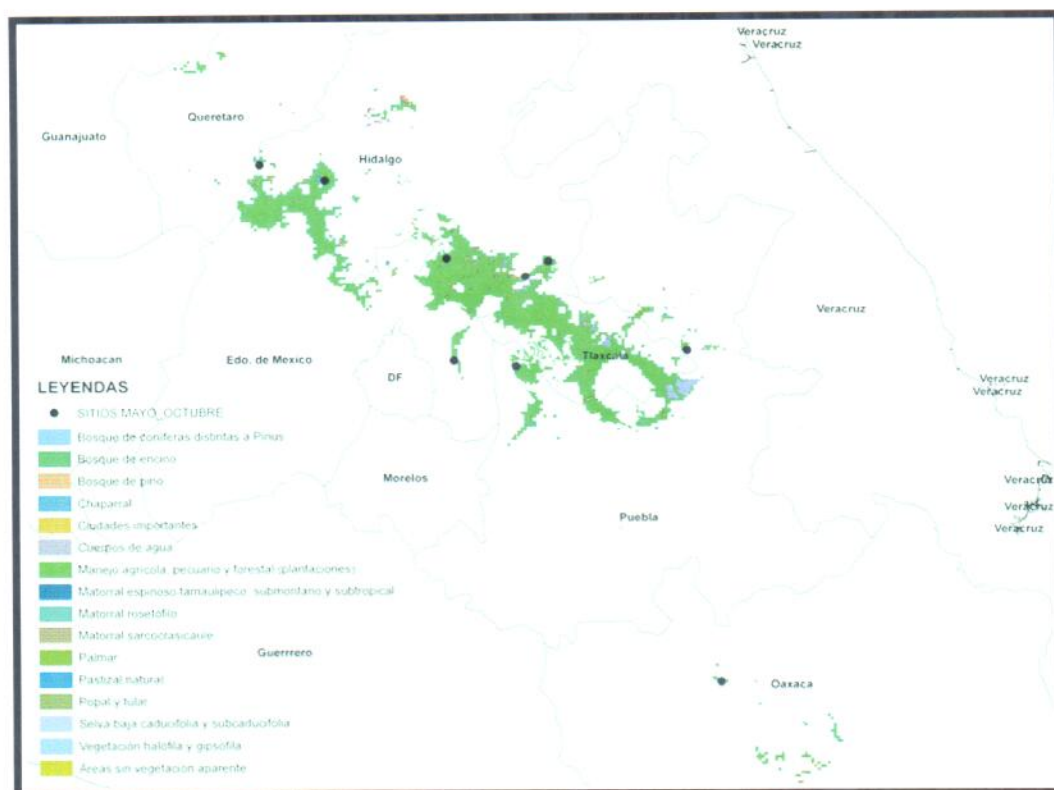


Figura 42. Uso de Suelo y Vegetación, ciclo de Verano

5.3.7 Rezago Social

Existen innumerables definiciones sobre rezago social; no obstante, despues de una exhaustiva revision establecemos que existe rezago social en aquellas poblaciones donde los servicios basicos como agua, luz, drenaje, vias de comunicaci3n etc., son casi nulos o no existen, lo que genera pobreza y marginacion. Un indicador cualitativo divide al rezago social en cinco rubros: Alto, Bajo, Medio, Muy alto y Muy bajo. (SEDESOL, 2005).

A manera de establecer correlacion entre rezago social y las zonas potenciales para el cultivo de trigo bajo condiciones de sequia, se construy3 con informacion por municipios sobre el grado de rezago social (SEDESOL, 2005) una capa tematica donde se muestra esta correlacion, los resultados se muestran en la Figura 43.

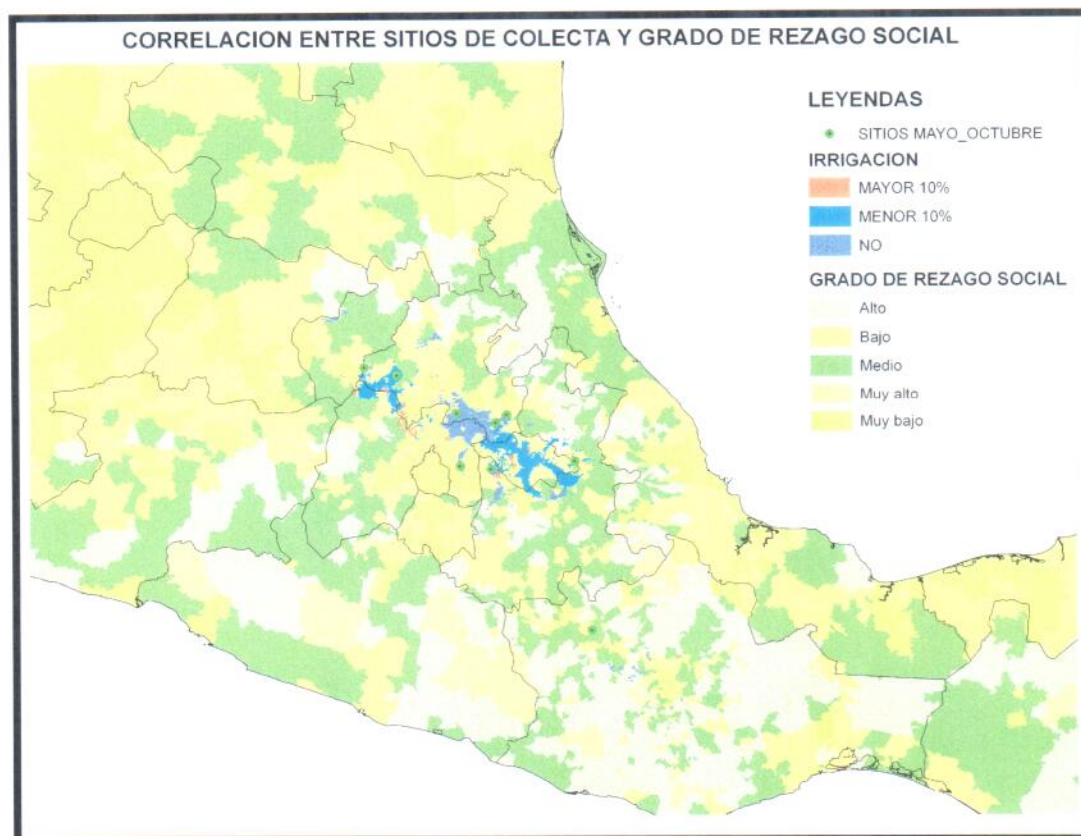


Figura 43. Correlaci3n entre zonas tolerantes a sequia y grado de rezago social, Verano

En general para las zonas encontradas en este ciclo de producción, se observa que caen en municipios donde el grado de rezago social va desde muy bajo hasta muy alto; esto debido a la heterogeneidad con que se distribuye este indicador en el centro del país, conforme avanzamos hacia el norte del país, el grado de rezago social es más bajo y conforme nos desplazamos hacia el sur, este aumenta, así pues de esta forma vemos que en las zonas de Oaxaca hay un rezago social de alto a muy alto, mientras que en las demás es de medio a muy bajo.

5.4 CONCLUSION

La información presentada en este capítulo, muestra los resultados de una amplia y exhaustiva investigación, que consistió en la recolección de las variedades de trigo, su georeferenciación de acuerdo a las localidades de procedencia, y análisis de las mismas mediante los Sistemas de Información Geográficos. Las conclusiones y limitantes acerca del mismo, se emiten de manera explícita en el Capítulo VI.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y LIMITANTES

6.1 INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se resume de manera conceptual, las principales conclusiones derivadas del estudio, así como las limitantes que se encontraron en el desarrollo del mismo.

6.2 CONCLUSIONES

El uso de las herramientas de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), constituye la mejor alternativa para la 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; ya que permite relacionar imágenes digitales, de los sitios de interés, con sus respectivas bases de datos; e identificar mediante sus procedimientos sitios similares. Trabajo que en campo sería prácticamente imposible realizar, además de generar demasiados costos. Es decir los SIG minimizan costos de operación.

A raíz del presente estudio, surgen los siguientes puntos:

- 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.
 - Contrastando las zonas de idoneidad para el cultivo de Trigo de FAO, ECOCROP y MEGAAMBIENTES DE CIMMYT, con las encontradas para los materiales tolerantes a Sequia, se nota una clara similitud entre ambos resultados, lo que respalda lo obtenido en el desarrollo de la investigación.

En México se caracterizan dos ciclos de producción el de invierno al norte del país y el de verano en el centro y sur del mismo; siendo el primero el de mayor rendimiento por superficie cultivada, ello debido en su gran mayoría a que es bajo sistema de riego, mientras que en verano es de temporal. Pues la tecnificación es predominantemente más amplia en el norte que en el centro-sur del país.

La realización de este proyecto permitió entre otras cosas, identificar las principales zonas de cultivo dentro del país para ambos ciclos de producción resaltando para invierno zonas de Chihuahua, Coahuila y Guanajuato (Bajío); mientras que para verano encontramos regiones en Hidalgo, Puebla, Estado de México y Oaxaca. Además permitió:

- Delimitar zonas potenciales para cultivo de trigo bajo condiciones de sequia, hallando que la mayoría de estas se hallan en regiones con plantaciones de manejo agrícola, pecuario y forestal.
- En ambos ciclos (invierno y verano), las regiones con comportamiento excepcional para el cultivo de trigo en condiciones de sequia resultan ser aledañas a los sitios de muestreo finales.
- La marginación es contrastante en ambos ciclos, mientras que para el de invierno las zonas encontradas se distribuyen en municipios con baja y muy baja marginación; las zonas de verano se hallan preponderantemente en municipios con marginación alta y muy alta.
- En el ciclo de invierno la producción es a gran escala, por lo que sus productores cultivan para exportar, y son extensiones territoriales más amplias que en el de verano, donde la producción solo es de autoconsumo (Anuario Estadístico para México, 2005).

Los resultados finales arrojaron aspectos interesantes y hasta cierto punto esperados, las variables ambientales, edáficas, de sequía y demográficas inciden en el rendimiento promedio de las variedades estudiadas bajo sequía; destacando la correlación negativa que existe entre el rendimiento y la precipitación, es decir a menor precipitación mayor rendimiento (en las variedades finales), un supuesto que se pretendía en la investigación de acuerdo a los objetivos de la misma.

6.3 LIMITANTES

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.

Finalmente, como una forma de complementar la investigación se deja abierta la posibilidad de analizar genéticamente las variedades encontradas tanto para el ciclo Diciembre-Mayo (invierno), como para el Mayo-October (verano), aspecto que no compete al presente estudio. Así mismo en caso de requerir los datos del mismo, se recomienda notificar a los autores, para ser proporcionados en tiempo y forma. Ya que por razones de espacio y volumen se omiten en la presente.

ANEXO I

ESQUEMA DE UN DISEÑO EXPERIMENTAL ALFA-LÁTICE

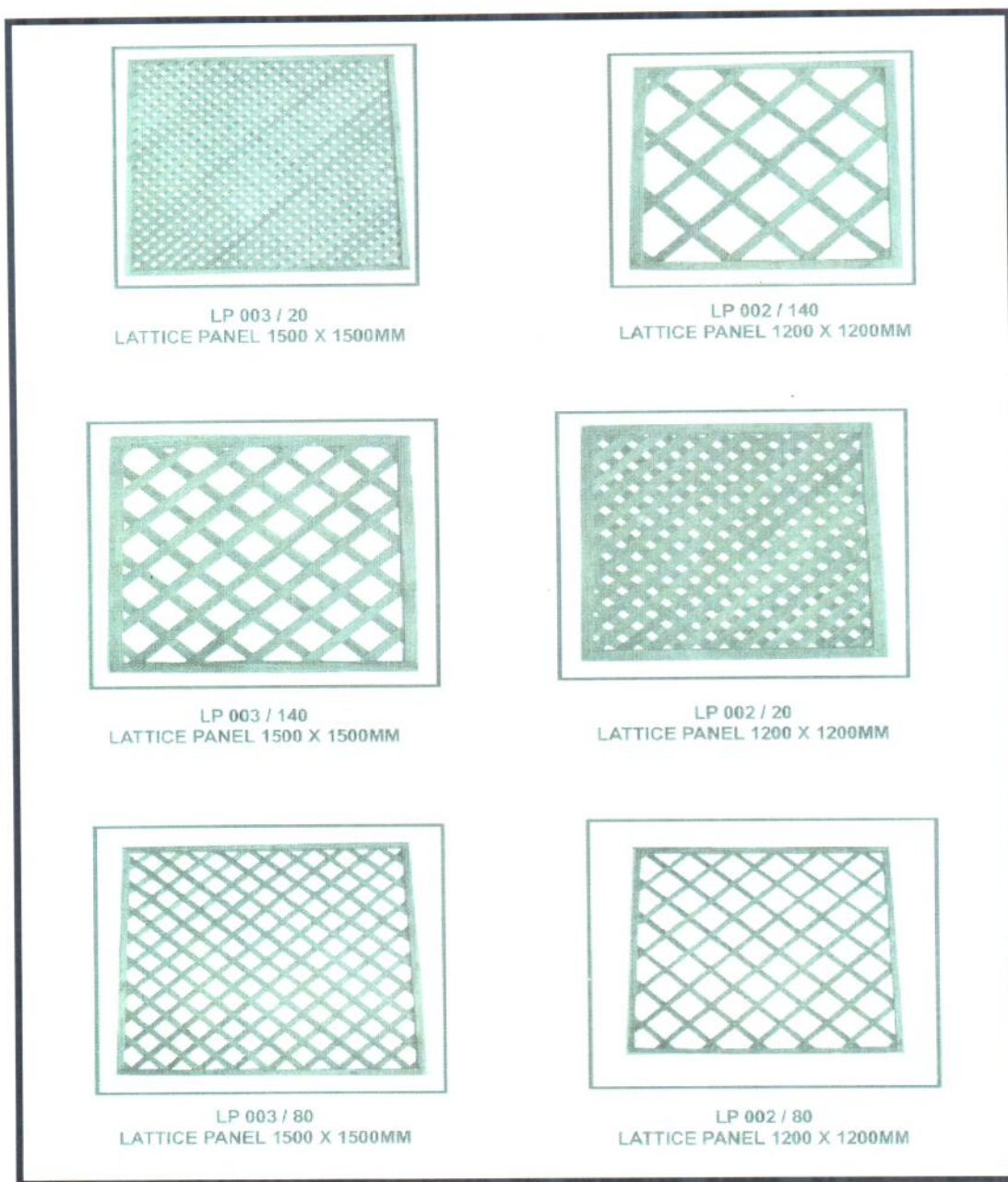


Figura 44. Esquemas más comunes de los diseños Alfa-Latices

ANEXO II

PROGRAMAS EN SAS

La instrucción **filename** sirve para invocar un archivo ya existente en alguna parte del sistema operativo, dicho archivo debe estar guardado con la extensión **PRN**, que delimita espacios, esto se hace con la finalidad de que SAS no mezcle valores de una variable con otra. En dicha instrucción se especifica la ruta de acceso al archivo.

PROGRAMAS EN SAS PARA LA VARIABLE RENDIMIENTO (YLD)

- PRUEBA DE NORMALIDAD

```
filename sequia 'c:\SEQUIA_400.prn';
data sequia;
infile sequia;
input YLD;
cards;
proc print;
proc capability normaltest;
histogram/normal (fill);
run;
```

- PRUEBA DE NORMALIDAD CON LA TRANSFORMACION "LOG"

```
filename sequia 'c:\SEQUIA_400.prn';
data sequia;
infile sequia;
input YLD;
a=log(YLD);
cards;
proc print;
proc capability normaltest;
histogram/normal (fill);
run;
```

- PRUEBA DE NORMALIDAD CON LA TRANSFORMACION "SQRT"

```
filename sequia 'c:\SEQUIA_400.prn';
data sequia;
infile sequia;
input YLD;
a=sqrt(YLD);
cards;
proc print;
proc capability normaltest;
histogram/normal (fill);
run;
```

Nota: El análisis Estadístico se realizó sobre la muestra de 400 datos, sin embargo no se viola ningún supuesto, si se realiza a la muestra final de 43, de acuerdo con el Teorema Central del Límite.

BIBLIOGRAFÍA

- Alley, W.M. 1984. The Palmer Drought Severity Index: Limitations and assumptions. *Journal of Climate and Applied Meteorology* 23:1100–1109.
- Anuario Estadístico Agropecuario para México, 2005.
- 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.
- CONABIO, 1999. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. "Uso de suelo y vegetación modificado por CONABIO". Escala 1: 1 000 000. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Ciudad de México, México.
- Corbett, J.D. and R.F. O'Brien, 1997, The Spatial Characterization Tool - Africa v 1.0. Texas Agricultural Experiment Station, Texas A&M University System, Blackland Research Center Report No. 97-03, CDROM Publication
- Cortland.edu, 2007. <http://www.cortland.edu/flteach/stats/glos2-sp.html>. Consulta: 18/06/2007
- Doesken, N.J.; T.B. McKee; and J. Kleist. 1991. Development of a surface water supply index for the western United States. Climatology Report Number 91–3, Colorado State University, Fort Collins, Colorado.
- Edwards, D.C.; and 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.
- 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.
- Encarta/Sequia, 2003. Biblioteca de Consulta Microsoft® Encarta® 2003. © 1993-2002 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos.
- FAOSTAT. (2008). FAO Statistical Databases. Consúltese en línea: <http://faostat.fao.org/>
- Genciencia/Shapiro-Wilk, 2007. <http://www.genciencia.com/2006/09/28-contraste-de-shapiro-wilk>. Consulta: 14/06/2007

-
- Geologia.cicese, 2008. <http://geologia.cicese.mx/posgrado/cursoSIG2002/Clase1.htm>. Consulta: 23/03/2008
 - Gibbs, W.J.; and J.V. Maher. 1967. Rainfall deciles as drought indicators. *Bureau of Meteorology Bulletin* No. 48, Commonwealth of Australia, Melbourne.
 - Gommès, R.; and F. Petrassi. 1994. Rainfall variability and drought in Sub-Saharan Africa since 1960. Agrometeorology Series Working Paper No. 9, Food and Agriculture Organization, Rome, Italy.
 - Heddinghaus, T.R.; and P. Sabol. 1991. A review of the Palmer Drought Severity Index and where do we go from here? In *Proc. 7th Conf. on Applied Climatology*, pp. 242–246. American Meteorological Society, Boston.
 - 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.
 - INEGI. (1991). Censos Agropecuarios, 1991. VII Censo Agropecuario-Ganadero y al VII Censo Ejidal.
 - INFOAGRO, 2008. <http://www.INFOAGRO.com/herbaceos/cereales/trigo.htm>. Consulta: 17/02/2008
 - 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. Díaz y J. Cock. (2004). Homologue v1.0. CD-ROM. CIAT, Cali, Colombia.
 - Karl, T.R.; and R.W. Knight. 1985. Atlas of Monthly Palmer Hydrological Drought Indices (1931–1983) for the Contiguous United States. Historical Climatology Series 3–7, National Climatic Data Center, Asheville, North Carolina.
 - Kogan, F.N. 1995. Droughts of the late 1980s in the United States as derived from NOAA polar-orbiting satellite data. *Bulletin of the American Meteorological Society* 76(5):655–668.
 - Le Houérou, H.N.; G.F. Popov; and L. See. 1993. Agrobioclimatic classification of Africa. Agrometeorology Series Working Paper No. 6, Food and Agriculture Organization, Rome, Italy.
-

-
- McKee, T.B.; N.J. Doesken; and J. Kleist. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. Preprints, 8th Conference on Applied Climatology, pp. 179–184. January 17–22, Anaheim, California.
 - McKee, T.B.; N.J. Doesken; and J. Kleist. 1995. Drought monitoring with multiple time scales. Preprints, 9th Conference on Applied Climatology, pp. 233–236. January 15–20, Dallas, Texas.
 - Mitchell T. D. and 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. Additionally, please acknowledge CGIAR-CSI by citing: Reformatted CRU TS 2.1 data downloaded from CGIAR-CSI at: <http://cru.csi.cgiar.org>
 - 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. *Observation and Geoinformation* 7 (4), 310-23.
 - Palmer, W.C. 1965. Meteorological drought. Research Paper No. 45, U.S. Department of Commerce Weather Bureau, Washington, D.C.
 - Palmer, W.C. 1965. Meteorological drought. Research Paper No. 45, U.S. Department of Commerce Weather Bureau, Washington, D.C.
 - Palmer, W.C. 1968. Keeping track of crop moisture conditions, nationwide: The new Crop Moisture Index. *Weatherwise* 21:156–161.
 - SAGARPA. (2008). El Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Consúltase en línea: http://www.siap.sagarpa.gob.mx/ar_comagri.html. Fecha de acceso 28/1/2008.
 - Scade, John. "Cereales". Editorial Acribia. Zaragoza, España, 1975.
 - SEDESOL, 2005. Grado de rezago social, estimaciones del CONEVAL con base en el // *Conteo de Población y Vivienda 2005*. Incidencia de pobreza alimentaria, estimaciones del CONEVAL.
 - Shafer, B.A.; and L.E. Dezman. 1982. Development of a Surface Water Supply Index (SWSI) to assess the severity of drought conditions in snowpack runoff areas. In *Proceedings of the Western Snow Conference*, pp. 164–175. Colorado State University, Fort Collins, Colorado.
 - 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.
 - Smith, D.I.; M.F. Hutchinson; and R.J. McArthur. 1993. Australian climatic and agricultural drought: Payments and policy. *Drought Network News* 5(3):11-12.
 - The Spatial Characterization Tool (SCT). Corbett, J.D. and R.F. O'Brien, 1997, The Spatial Characterization Tool - Texas Agricultural Experiment Station, Texas A&M University System, Blackland Research Center Report No. 97-03, CDROM Publication
 - 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.
 - UN/ISDR, 2007. Drought Risk Reduction Framework and Practices: Contributing to the Implementation of the Hyogo Framework for Action. United Nations secretariat of the International Strategy for Disaster Reduction (UN/ISDR), Geneva, Switzerland, 98+vi pp.
 - Users are requested to refer to the map as follows: "Stefan Siebert, Petra Döll, Sebastian Feick and Jippe Hoogeveen (2005), Global map of irrigated areas version 3, Institute of Physical Geography, University of Frankfurt/M., Germany / Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy".
 - White, D.H.; and B. O'Meagher. 1995. Coping with exceptional droughts in Australia. *Drought Network News* 7(2):13-17.
 - 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.
 - Wikipedia/Kolmogorov-Smirnov, 2007. http://es.wikipedia.org/wiki/Prueba_de_Kolmogorov-Smirnov. Consulta: 14/06/2007
 - Wikipedia/SIG, 2008. http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_Informaci%C3%B3n_Geogr%C3%A1fica. Consulta: 11/02/2008
-

-
- Wikipedia/TeoremaCentraldelLimite, 2007.
http://es.wikipedia.org/wiki/Teorema_del_l%C3%ADmite_central". Consulta: 18/06/2007
 - Wilhite, D.A. 1995. Developing a precipitation-based index to assess climatic conditions across Nebraska. Final report submitted to the Natural Resources Commission, Lincoln, Nebraska.
 - Wilhite, D.A.; and M.H. Glantz, 1985. Understanding the drought phenomenon: The role of definitions. *Water International* 10(3):111–120.
 - Willeke, G.; J.R.M. Hosking; J.R. Wallis; and N.B. Guttman. 1994. *The National Drought Atlas*. Institute for Water Resources Report 94–NDS–4, U.S. Army Corps of Engineers.
 - You, L. y Wood, S. (2005). Assessing the spatial distribution of crop production using a generalized cross-entropy approach. *International Journal of Applied Earth*