

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE PARASITOLOGÍA AGRÍCOLA

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN PROTECCIÓN VEGETAL

DETERMINACIÓN DE ZONAS DE RIESGO PARA EL ESTABLECIMIENTO
DEL CARBÓN PARCIAL (*Tilletia indica* M.) DEL TRIGO (*Triticum
aestivum* L.) EN LAS REGIONES TRIGUERAS DE MÉXICO.

DIRECCION ACADÉMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES



TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN
CIENCIAS EN PROTECCIÓN VEGETAL

PRESENTA

ALFONSO EUCADIO LUCAS GUTIÉRREZ

CHAPINGO, MEXICO AGOSTO DE 1999.

B.690923



DETERMINACIÓN DE ZONAS DE RIESGO PARA EL ESTABLECIMIENTO DEL CARBÓN PARCIAL (*Tilletia indica* M.) DEL TRIGO (*Triticum aestivum* L.) EN LAS REGIONES TRIGUERAS DE MÉXICO.

Tesis realizada por Alfonso Eucadio Lucas Gutiérrez bajo la dirección del comité asesor que se indica, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN PROTECCIÓN VEGETAL

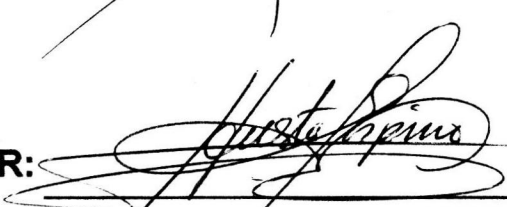
DIRECTOR:


M.C. LUIS EMILIO CASTILLO MÁRQUEZ

ASESOR:


M.C. FRANCISCO PONCE GONZÁLEZ

ASESOR:


DR. JULIO HUERTA ESPINO

34435

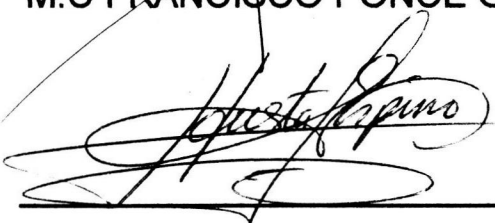
Chapingo, México. Agosto de 1999

DETERMINACIÓN DE ZONAS DE RIESGO PARA EL ESTABLECIMIENTO DEL CARBÓN PARCIAL (*Tilletia indica* M.) DEL TRIGO (*Triticum aestivum* L.) EN LAS REGIONES TRIGUERAS DE MÉXICO.

El jurado que revisó y aprobó el examen de grado de Alfonso Eucadio Lucas Gutiérrez autor de la presente tesis de maestría en protección vegetal estuvo constituido por:

PRESIDENTE: 
M.C. LUIS EMILIO CASTILLO MÁRQUEZ

ASESOR: 
M.C. FRANCISCO PONCE GONZÁLEZ

ASESOR: 
DR. JULIO HUERTA ESPINO

Chapingo, México. Agosto de 1999.

***A Dios, por darme la fuerza y la
voluntad de lograr una meta más.***

AGRADECIMIENTOS

A la Dirección General de Inspección Fitozoosanitaria (DIGIF), por el decidido apoyo para realizar mis estudios de posgrado.

Al Departamento de Análisis de Riesgo, de la Dirección General de Sanidad Vegetal (DGSV), por todo el apoyo recibido en la realización del presente trabajo.

A la Universidad Autónoma Chapingo, por permitir ver realizada una de mis metas, en mi formación académica.

Al Programa de Protección Vegetal, del Departamento de Parasitología Agrícola y a sus directivos, por el incondicional apoyo recibido durante mi estancia como estudiante.

Al M.V.Z. Fernando Contreras Domínguez, Director en jefe de la CONASAG, por brindarme el apoyo para realizar un posgrado.

Al M.C. Luis Emilio Castillo Márquez, por la acertada dirección del presente trabajo de investigación.

Al M.C. Francisco Ponce González, por su entusiasmo para realizar mi posgrado y las atinadas correcciones y comentarios al presente trabajo.

Al Dr. Julio Huerta Espino, que con su experiencia en el cultivo de trigo y sus enfermedades, hizo comentarios precisos y observaciones al presente trabajo.

Al M.C. Horacio Koji Osada V., por el desinteresado apoyo y disponibilidad que siempre mostró, durante la realización del presente trabajo de investigación.

A los ingenieros J. Ulises García R. y N. Alejandra Elizalde J., por todo el apoyo y disponibilidad para cooperar en la realización del presente trabajo.

DEDICATORIA

A la memoria de mi padre, el Sr. Luis Lucas D., en donde quiera que se encuentre.

A mi madre, la Sra. Remedios Gutiérrez Marcelo, que siempre me ha motivado para seguir hacia delante.

A mi esposa Guadalupe, por su gran sacrificio, comprensión y apoyo para no dejarme vencer por las adversidades que encontré.

A mis hijos José Alberto, Luis Gustavo, Carlos Alfredo y Oscar Alfonso, como un ejemplo de tenacidad.

A mis hermanos y sobrinos de quienes siempre he recibido respeto y admiración.

A mis compañeros de generación; Anselmo Venegas, Joaquín Díaz, Angel Rebollar, Leticia Vivas, Noel Reyes, Rodolfo Gaona, con quienes compartí gratos y difíciles momentos.

A mis maestros, por sus enseñanzas recibidas.

A mis amigos, el Dr. Genaro López M., y el M.C. Samuel Nava S., y demás compañeros que siempre creyeron en mí.

DATOS BIOGRÁFICOS

Nací en Putla de Guerrero, Oaxaca, el 22 de Enero de 1956, realicé mis estudios de primaria y secundaria en esa misma localidad, los estudios de preparatoria los hice en la Escuela Nacional de Agricultura (ENA), en Chapingo, México; estudié la carrera de Ingeniero Agrónomo Parasitólogo en el Departamento de Parasitología Agrícola de la ENA – Universidad Autónoma Chapingo, de donde egresé en el año de 1981.

Mi experiencia laboral ha sido siempre en el Gobierno Federal, primero como inspector ajustador de la desaparecida ANAGSA, donde presté mis servicios desde 1981 hasta 1990, actualmente laboro para la Dirección General de Inspección Fitozoosanitaria (DIGIF), dependiente de la Comisión Nacional de Sanidad Agropecuaria (CONASAG).

INDICE

	Página
1. Introducción	1
2. Objetivos	3
3. Revisión de literatura	4
3.1 Del trigo	4
3.2 Del patógeno	7
3.2.1 Antecedentes	7
3.2.2 Posición taxonómica del hongo	9
3.2.3 Síntomas	9
3.2.4 Ciclo biológico	13
3.3 Los modelos epidemiológicos	16
4. Materiales y Métodos	18
4.1 Obtención del modelo	22
5. Resultados	25
6. Discusión	41
7. Conclusiones	53
8. Literatura citada	55

LISTA DE CUADROS

	Página
Cuadro 1: Datos analizados para obtener el modelo de predicción	23
Cuadro 2: Estado, ciclo de siembra del trigo, municipio(s), y número de figura de los municipios que presentan las temperaturas adecuadas para el establecimiento del carbón parcial	26

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1: ciclo biológico del carbón parcial (<i>Tilletia indica</i> M.) de acuerdo Con Fuentes Dávila Guillermo 1997	15
Figura 2. Baja California Norte	30
Figura 3: Baja California Sur	30
Figura 4: Coahuila	31
Figura 5: Chihuahua	31
Figura 6: Guanajuato	32
Figura 7: Jalisco	32
Figura 8: Hidalgo	33
Figura 9: Estado de México	33
Figura 10: Nuevo León	34
Figura11: Oaxaca	34
Figura12: Michoacán	35
Figura 13: Puebla	35
Figura 14: Querétaro	36
Figura15: Sinaloa	36
Figura16: Sonora	37
Figura 17: Tamaulipas	37
Figura 18: Tlaxcala	38

DETERMINACIÓN DE ZONAS DE RIESGO PARA EL ESTABLECIMIENTO DEL CARBÓN PARCIAL (*Tilletia indica* M.) DEL TRIGO (*Triticum aestivum* L.) EN LAS REGIONES TRIGUERAS DE MÉXICO

Alfonso E. Lucas Gutiérrez¹, M.C. Luis Emilio Castillo Márquez², M.C. Francisco Ponce González³, Dr. Julio Huerta Espino⁴

RESUMEN

En nuestro país se cultivan alrededor de 800 mil hectáreas, con un rendimiento promedio de 3.9 toneladas por hectárea. Este cultivo es fuertemente afectado por el carbón parcial del trigo (*Tilletia indica* M.), enfermedad presente en México desde 1970, su presencia ha permanecido restringida a tres estados, esto debido a las medidas tomadas por las autoridades en la materia. El presente trabajo consistió en determinar las zonas de riesgo para el establecimiento de esta enfermedad y proponer un modelo para predecir la presencia de esta enfermedad, para el primer caso se utilizó un modelo de predicción propuesto por Jhorar y colaboradores en 1992, y la temperatura registrada en las diferentes regiones productoras de este cereal en nuestro país, así mismo haciendo uso de factores climáticos como la temperatura máxima y media, precipitación y la incidencia registrada, se propone el siguiente modelo $Y = -18.34 - 0.64(a)^2 + 1.66(b)^2 + 0.01(d)^2$ este es un modelo lineal, con una R^2 del 86% y una confiabilidad de 92%, el riesgo de establecimiento de la enfermedad se analiza y discute para cada uno de los estados.

Palabras clave: *Triticum*, *Tilletia*, Trigo, carbón.

1 Alumno de maestría en protección vegetal.

2 Director de tesis; profesor investigador del Departamento de Parasitología Agrícola.

3 Asesor, profesor investigador del Departamento de Parasitología Agrícola.

4 Asesor, investigador del INIFAP, Campo Valle de México.

DETERMINATION OF RISK AREAS FOR THE ESTABLISHMENT OF
WHEAT KARNAL BUNT DISEASE (*tilletia indica* M.) IN MEXICO WHEAT (*triticum*
aestivum L.) GROWING AREAS.

SUMMARY

Wheat in Mexico is planted over 0.8 million hectares, the average yield per hectare is about 3.9 metric tons. Wheat crop as many other crops is threatened by several diseases. Among them Karnal bunt caused by the *Tilletia indica* M., fungus causes serious damages. Karnal bunt was identified in Mexico as a wheat disease in 1970. The spread of the disease has been limited in part for the legal actions of the Quarantine (NOM 001 FITO 1995). The present research was undertaken to determine the risk areas considering temperature as the main factor for the establishment of the disease. From the 17 analyzed states at least one municipality had suitable temperature for the establishment of disease, according to the Jhorar et al epidemiologic model. When other climatic variables were analyzed such as maximum, mean and lowest temperature, as well as rainfall and disease incidence either as linear or quadratic models. The $Y = -18.34 - 0.64(a)^2 + 1.66(b)^2 + 0.01(d)^2$. Model is proposed with a $R^2 = 86\%$ and 92% confidence. The risk for the establishment of the disease for each state analyzed is discussed.

Key words: *Triticum*, *Tilletia*, bunt, wheat.

INTRODUCCIÓN

El cultivo del trigo (*Triticum aestivum* L.), posee el primer lugar en producción a nivel mundial, ya que ocupa el 20% de la superficie cultivada. Es hoy en día el grano que más se consume por la población, pues su consumo asciende a más de 1000 millones de personas que se alimentan de este cereal, el cual es preparado de diferentes formas, debido a que proporciona grandes cantidades de calorías y proteínas que el ser humano necesita para el desempeño de sus actividades diarias.

Este cultivo se adapta a casi todos los tipos de suelo, desde los que contienen grandes cantidades de nutrimentos, hasta los que casi no los poseen. Es una planta que crece en ambientes templados, áridos o semiáridos, desde el nivel del mar, hasta altitudes por arriba de los 3000 msnm. El trigo para su desarrollo requiere temperaturas que oscilan entre los 10 y los 30°C.

En nuestro país se consideran cinco regiones importantes para la producción de este cereal, ellas son: región noroeste, que comprende los estados de Sonora, Sinaloa, Baja California Norte y Sur, región bajo donde se incluyen los siguientes estados, Guanajuato, Michoacán, Jalisco y Querétaro, la región centro compuesta por las entidades de: México, Puebla, Hidalgo y Tlaxcala, la región norte, que comprende los estados de Chihuahua, Nuevo León y Coahuila y la región conocida como otras donde se incluyen los estados de Oaxaca y Tamaulipas.

En México se cultivan alrededor de 800 mil hectáreas de trigo, con un rendimiento promedio de 3.9 toneladas por Ha. (INEGI, 1997), con lo cual se generan empleos a gran parte de la población en las zonas donde se desarrolla

el cultivo, durante el proceso de producción, cosecha, industrialización y comercialización del mismo. Dentro de la amplia gamma de problemas de índole fitosanitario que afectan a este cultivo en su proceso de producción, se encuentra el carbón parcial del trigo, causado por el hongo *Tilletia indica* Mitr. Este patógeno fue observado por Mitra, por primera vez en la región de Karnal al norte de la India, en el año de 1930, de donde le viene el nombre de carbón karnal (Álvarez 1987). Actualmente se le encuentra distribuido en los siguientes países, Pakistán, Siria, Afganistán, Nepal, Irán, India y México.

En nuestro país se le detectó por primera vez en el año de 1970, en Chapingo, México, en muestras de semilla proveniente de los Valles del Yaqui y Mayo del estado de Sonora (Duran 1981), y es precisamente en esta región del Noroeste donde actualmente se localiza, además en la parte norte del estado de Sinaloa y el municipio de Comondú en el estado de Baja California Sur, es por este motivo que la Dirección General de Sanidad Vegetal lo tiene catalogado como plaga tipo A-2, regulado por la NOM 01 FIT 1995.

La enfermedad se encuentra presente en las regiones más productoras de trigo en nuestro país, ya que el valle del Yaqui en Sonora, es considerada como una de las zonas en donde se obtienen los rendimientos más altos de la República Mexicana y entre las mejores del mundo.

Considerando la gran importancia tanto económica como social que esta enfermedad representa para los productores de las regiones trigueras de nuestro país, se procedió a realizar el presente trabajo de investigación con los siguientes:

OBJETIVOS:

1.- Determinar las zonas de riesgo, para el establecimiento del carbón parcial del trigo, utilizando como base el modelo descrito por Jhorar *et al.*, en 1992.

2.-Proponer un modelo, desarrollado con base en la información de factores ambientales disponibles y que favorecen la presencia del hongo, así como datos registrados de incidencia de la enfermedad.

3.- Predecir la posibilidad de la presencia de este patógeno en ciertas regiones del país para implementar las medidas preventivas necesarias para su prevención y/o control.

REVISION DE LITERATURA

DEL TRIGO

En la actualidad, el origen del trigo no se conoce con precisión, se cree que evolucionó a partir de pastos, probablemente en la región ubicada entre los ríos Tigris y Eufrates. Actualmente es el cultivo más ampliamente diseminado en el mundo, ya que ocupa el 20% de la superficie cultivada a nivel mundial, con 231 millones de hectáreas sembradas, principalmente en el hemisferio norte, con más de un 80% en la región de América del Norte, URSS y Europa y una producción de aproximadamente 596 millones de toneladas, solamente en esta región. El trigo lo consumen alrededor de 1000 millones de personas en el planeta, preparado de diversas formas, como pan, o como ingrediente básico de muchos productos alimenticios, esto explica la gran importancia que este cultivo representa para la humanidad, ya que aporta la gran mayoría de las proteínas y calorías requeridas por el hombre para sus actividades diarias, (CIBA GEIGY 1980).

Como muchos de los pastos, el trigo desarrolla una hoja a partir del embrión y una raíz primaria, después tiene un crecimiento secundario de una hoja justo arriba de la superficie del suelo, denominado "corona", la cual es una serie de nudos compactos de donde se originan el resto de las hojas y raíces. Las hojas son elongadas, de nervaduras paralelas, consistentes de una lámina y una vaina, la espiga se forma en el ápice del tallo y emergen durante las últimas elongaciones del tallo, los nudos superiores se compactan para formar el raquis y dan lugar a las flores y a la semilla, dentro de cada raquis puede

haber hasta seis florecillas dentro de las glumas, cada florecilla es un grano en formación,(SAGAR, 1992).

El trigo se clasifica en 16 especies, de la cuáles solamente dos son las comerciales, el trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) y el trigo duro (*Triticum durum* L.). El trigo harinero es el que se utiliza en la preparación de tortillas, fideos, panes, papillas etc, y el trigo duro se utiliza para la elaboración de macarrones, espaguetis, ravioles etc, por ser productos que requieren una mayor estabilidad para la cocción, ya que la harina que se obtiene a partir de trigos duros tiene la cualidad que no se pega y es menos elástica que la harina obtenida a partir de trigos harineros. (CIBA GEIGY 1980).

La clasificación taxonómica del trigo fue hecha por Linneo en 1753 y es la siguiente:

FAMILIA: Gramineae

GENERO: *Triticum*

ESPECIE : *T. aestivum*

T. durum

Actualmente, los taxónomos especialistas en gramíneas, lo clasifican dentro de la familia Poaceae.

El trigo contiene mayor cantidad de proteínas, que el arroz, maíz, pero este contenido de proteínas se ve afectado por la variedad utilizada, así como por las condiciones ambientales, tipo de suelo y la disponibilidad de nutrimentos, del lugar donde se haya producido el trigo,(Hanson *et al*, 1982).

En nuestro país el trigo se cultiva en aproximadamente 800 000 has de riego y de temporal, en cinco regiones bien identificadas estas son: región Noroeste, que incluye los estados de Baja California Norte y Sur, Sonora y

Sinaloa, región Bajío que comprende los estados de Guanajuato, Jalisco, Michoacán y Querétaro, la región Centro donde se ubican los estados de México, Hidalgo, Tlaxcala y Puebla, la región Norte que abarca los estados de Chihuahua, Coahuila y Nuevo León y por último la región conocida como otras donde se incluye a Oaxaca y Tamaulipas, (Ayón, 1989).

El trigo de riego se siembra durante el invierno, principalmente en las regiones del Noroeste, Bajío y Norte, donde se obtiene un rendimiento promedio de 3.9 toneladas por hectárea, en las regiones restantes se cultiva el trigo solamente en la modalidad de temporal, es decir sólo en época de lluvia y se obtiene un rendimiento promedio de 1.6 toneladas por hectárea, (Ayón, 1989).

México actualmente tiene que hacer importaciones de este grano por el orden de los dos millones de toneladas por año, para satisfacer las necesidades de la población, los principales países que nos abastecen de este cereal son: Canadá, Estados Unidos y Argentina, (INEGI, 1997).

Aunque somos importadores de trigo en grano para consumo, somos productores y exportadores de semilla para siembra de este cereal, ya que exportamos alrededor de 102 000 toneladas a los siguientes países: Estados Unidos, Francia, Túnez, Venezuela y Costa Rica, (INEGI, 1997).

Es en el rubro de las exportaciones, donde se tiene el mayor impacto por la presencia del CARBON PARCIAL DEL TRIGO (*Tilletia indica* M.), en nuestro país, ya que las barreras sanitarias impuestas a los países que tienen presencia de esta enfermedad, por los países compradores son muy estrictas, ya sea que el trigo lo utilicen para consumo o, para siembra, (SAGAR 1996).

Ante esta situación la Secretaría de Agricultura, y Recursos Hidráulicos estableció en el año de 1987 la cuarentena interior número 16 contra el

CARBON PARCIAL DEL TRIGO (*Tilletia indica* M.), la cual más tarde, en 1995, se convierte en la Norma Oficial Mexicana NOM 001-FITO 1995, que como su nombre lo indica tiene la finalidad de establecer los requisitos necesarios que se deben cubrir para poder movilizar cualquier producto, subproducto y/o derivados del trigo de una región a otra y evitar en la medida de lo posible, la diseminación de este patógeno de la región en la cual se encuentra actualmente hacia otras en las aún no está presente,(S.A.R.H 1987, SAGAR 1991).

DEL PATOGENO.

Antecedentes.

El carbón parcial del trigo, ocasionado por el hongo *Tilletia indica*, fue descubierto por primera vez por Mitra, en 1931 en la provincia de Haryana, al Oeste de la India, en donde permaneció restringido como una enfermedad de poca relevancia, por un período de 30 años, sin embargo, para el ciclo 1968-1969, el cambio a variedades de floración uniforme y las altas dosis de nitrógeno, favorecieron una rápida diseminación del hongo hacia zonas trigueras de la India, como Punjab, Delhi, Uthar Pradesh, Rajasthan etc. (Munjal 1975, citado por Chávez 1994).

Actualmente el agente causal del carbón parcial del trigo se encuentra diseminado por los siguientes países: Nepal, Pakistán, Afganistán, Siria, Iraq, Turquía, Líbano, India y México (Paulitz 1995).

En nuestro país, el carbón parcial del trigo fue descubierto en 1971 por investigadores del Colegio de Posgraduados, de la Escuela Nacional de Agricultura en Chapingo, México, en muestras de semilla de trigo provenientes de los valles del Yaqui y Mayo en el estado de Sonora, donde, al igual que en la India, permaneció en baja prevalencia hasta el año de 1980, ya que en los

ciclos de Otoño/Invierno de 1981/1982 y 1982/1983, se registró un incremento de entre el 6 y el 64% de incidencia. Debido a este notable incremento, de la enfermedad, el gobierno de nuestro país impuso medidas cuarentenarias con el fin de evitar su diseminación, y lograr un control efectivo de la enfermedad, (Alvarez 1984).

En la actualidad el carbón parcial del trigo se encuentra presente en nuestro país en los siguientes estados: Sonora, excepto en el municipio de San Luis Río Colorado, Sinaloa, en la parte norte del estado y Baja California Sur, en el municipio de Comondú, de ahí la importancia que reviste el tener una norma que regule el libre tránsito de trigo y sus derivados de esta región, hacia las demás regiones que todavía se encuentran libres, (D.O.F. 1996).

Otras medidas que se tomaron, para evitar que esta enfermedad se siga diseminando, fue la restricción de siembra de trigo, en la región donde se tiene la presencia de la enfermedad, bajo las siguientes condiciones, cada uno de los lotes de 2km por 2km, llamados bloques, con menos del 1% de infección, (detectado, mediante muestreo en el ciclo anterior), el agricultor podrá sembrar lo que a él le convenga, incluyendo trigo harinero, es decir no existe ningún tipo de restricción, pero en los bloques donde la infección detectada en el ciclo anterior fue del 1.2%, la restricción, es que el agricultor no podrá sembrar trigo harinero, sólo podrá sembrar trigo siempre y cuando sea del tipo duro y/o triticales, que muestran alguna resistencia hacia éste patógeno, (Lira1984). En otras palabras, si en el bloque se detectó infección del 1%, no existe ninguna restricción, pero si la infección fue del 1.2%, la restricción es no sembrar trigo harinero por su susceptibilidad.

POSICIÓN TAXONÓMICA DEL HONGO.

El carbón parcial del trigo fue clasificado originalmente como *Tilletia indica*, por Mitra en 1931, posteriormente mundkur en 1940 lo reclasificó como *Neovossia indica* por observar características distintivas como promicelio no ramificado, algunas teliosporas con presencia de un apéndice o apículo, que es una característica distintiva del género *Neovossia*, por el contrario, la ausencia de dicho apéndice es también típico del género *Tilletia*, actualmente ambos géneros son considerados como sinónimos, (Romero 1994).

Khanna y payak en 1968, observaron que el mencionado apéndice desaparecía a medida que la teliospora maduraba, por lo que sugirieron que el hongo causante del carbón parcial del trigo, bien se podía considerar como una especie en transición entre los géneros *Tilletia* y *Neovossia*, (Duran, 1972).

La clasificación actual del agente causal del carbón parcial del trigo es como sigue:

Reyno:	Plantae
División:	Mycota
Subdivisión:	Eumycotina
Clase:	Basidiomycetae
Subclase:	Heterobasidiomycetae
Orden:	Ustilaginales
Familia:	Tilletiaceae
Género:	<i>Tilletia</i>
Especie:	<i>T. indica</i> .

SÍNTOMAS

El carbón parcial del trigo, (*Tilletia indica* Mitr.) es una enfermedad de la semilla y los síntomas sólo son visibles cuando el grano se encuentra

desarrollado completamente, pues el patógeno convierte el ovario del grano infectado en un soro o masa de teliosporas, de color castaño oscuro, el pequeño soro se forma en la porción del embrión, en forma longitudinal y deja el resto de la semilla intacta, sin embargo, cuando las infecciones son muy severas, el endospermo puede ser invadido y afectado, cuando se trata de una variedad susceptible al hongo y las condiciones ambientales son favorables, el grano completo puede transformarse en un soro. El grano infectado emite un olor a pescado descompuesto, debido a la trimetil amina, que también es desagradable al paladar, Durante la cosecha las teliosporas son liberadas y se dispersan de los granos infectados, cuando la afección es parcial, el tejido embrionario no es afectado y puede germinar produciendo una planta débil que tiene pocas posibilidades de subsistir. (Nagarajan *et al* 1997).

En un campo de cultivo no todas las espigas son infectadas, ni todos los granos de una espiga; más bien es como si se infectaran al azar, tanto las espigas en el campo como los granos en una espiga; cuando el cultivo está en pie, antes de la cosecha, se pueden descubrir las espigas que están afectadas porque presentan una coloración plateada, las glumas están extendidas y despiden el olor característico a pescado descompuesto, esto último, como ya se indicó, debido al compuesto volátil que es la trimetil amina, (Nagarajan *et al* 1997).

Aunque el carbón parcial, causa muy pocas bajas en el rendimiento de la cosecha, sí afecta en gran medida la calidad del grano, ya que cuando se tiene una infección del 3% de los granos muestreados, se considera no apto para el consumo humano, debido a la trimetil amina que produce el desagradable olor a pescado en descomposición, (USDA, 1998).

La infección se inicia cerca del embrión y continua a lo largo de la hendidura del grano, la enfermedad está restringida al endospermo de la

semilla, al cual transforma en una masa de teliosporas de color negro, (USDA, 1998).

Cashion y Lutrell en 1988 estudiaron porqué el patógeno no invadía al embrión y demostraron que efectivamente el hongo no invade al embrión porque el micelio solamente prolifera en el pericarpio, desintegrando las capas medias de las células parenquimatosas y evitando la función de la otras capas del pericarpio con la cubierta de la semilla, (Nagarajan et al 1997).

Roberson y Lutrell en 1987 habían demostrado que el crecimiento micelial provocaba una ruptura del tejido alrededor del vaso vascular, evitando que los nutrientes llegaran al embrión y dando como resultado, una semilla pobremente desarrollada, con pocas posibilidades de originar una planta vigorosa y sana,(Nagarajan et al 1997).

Fuentes y Duran en 1986 observaron que las teliosporas pueden ser de forma globosa o subglobosa, de 22-49 nm de tamaño, reticuladas con proyecciones y cubierta por una capa gruesa. Estudios morfológicos han demostrado que existen tres capas distintas, ellas son: perisporium, episporium y endosporium. La teliospora madura es diploide ($2n$), para la germinación el núcleo se divide meioticamente y posteriormente mitoticamente para producir esporidias primarias, las cuales son haploides (n), (Nagarajan et al 1997).

La teliospora es la estructura como el patógeno sobrevive durante el verano caliente y seco de los meses de Mayo y Junio, cuando el termómetro llega a marcar hasta los 45°C . La teliospora cuando fresca no puede germinar, ya que requiere pasar por un período de dormancia, que puede durar de seis meses hasta dos años, dicha dormancia se puede romper por exposiciones a altas temperaturas (40 a 43°C), por un lapso de 18 días o más, cuando están en el suelo las teliosporas pueden permanecer viables hasta por dos años, (Schall, 1991).

Generalmente la severidad de la enfermedad se incrementa cuando la temperatura es baja y la humedad relativa alta y con presencia de lluvias, que son las condiciones ideales para que la teliospora pueda germinar una vez que ha completado el período de dormancia la infección de las espigas por las esporidias secundarias se da en el momento de la floración de las plantas en el período denominado “antesis”, (Schall, 1991).

Las esporidias primarias o macrosporidias se dispersan del suelo por salpique de lluvia y producen grandes cantidades de esporidias secundarias o microsporidias, las cuales se liberan violentamente flotan en el aire, y se depositan sobre las hojas por la lluvia o llovizna, siendo esta la única forma en que el hongo puede iniciar el proceso de infección en la planta, (Kumar y Nagarajan 1998).

Kumar y Nagarajan 1998, señalan que las esporidias secundarias o basidiosporas depositadas en la hoja bandera se propagan y se conjugan, (presentan heterotalismo) y son las responsables del inicio de la infección sobre las espigas en emergencia.

Los factores ambientales que favorecen la incidencia del carbón parcial del trigo (*Tilletia indica* Mitra), son:

Temperatura. Zhang y colaboradores en 1984, determinaron que el rango de temperatura para el buen desarrollo del hongo es de 15 a 22°C, siendo la óptima de 17°C.

Humedad relativa. Los mismos investigadores encontraron que rangos por arriba del 70%, favorecen la esporulación del hongo.

Lluvia. Este es otro de los factores ambientales que también son fundamentales para que este hongo complete su ciclo, según Smilanick et al, en

1985, determinaron que de 1 a 3 semanas que registren alguna precipitación, en período de floración del trigo, es decir que se de en el período de antesis, por leve que esta sea, favorecerá de manera determinante el inicio de la infección.

El mismo Smilanick y colaboradores en 1987, expusieron la siguiente hipótesis, cuando el hospedero susceptible, no está presente, la teliospora en la superficie del suelo puede reducir su germinación, debido a la humedad y condiciones de luz, pero si el hospedante susceptible está presente y las condiciones ambientales son adecuadas, el número de teliosporas que germina tiende a incrementarse, (Schall 1988).

Desafortunadamente, el rango de temperaturas, humedad relativa y días con lluvia, no son muy estrictos, para este hongo, ya que se ha registrado germinación de teliosporas, a temperaturas de 5°C, humedad relativa de 35%, y cero días con lluvia, aunque, los años en que en nuestro país, se ha incrementado la incidencia de la enfermedad en la región del noroeste han sido períodos en que se han presentado los rangos óptimos de condiciones ambientales, como temperaturas entre 9 y 25°C y presencia de días con lluvia, en los meses de Febrero y Marzo, lo cual viene a favorecer la presencia y desarrollo del patógeno en la etapa susceptible del cultivo, (Brennan *et al* 1990).

CICLO BIOLÓGICO.

Una representación diagramática simple del ciclo biológico del carbón parcial, (figura 1) nos muestra lo siguiente:

Las teliosporas, que se encuentran en la superficie del suelo o en los granos infectados, son las que dan inicio al ciclo biológico, estas teliosporas germinan y desarrollan un promicelio, el cual a su vez dará origen a las macrosporidias o esporidias primarias, estas producen a las microsporidias o esporidias secundarias.

La esporidia primaria, invade las hojas basales de la planta de trigo por acción del salpique de la lluvia, y la esporidia secundaria es lanzada violentamente al aire por la esporidia primaria y se deposita sobre las hojas superiores de la planta por la acción del viento, de la lluvia o de la llovizna que se forma durante el punto de rocío. La infección al grano, inicia cuando la esporidia secundaria se deposita sobre la hoja bandera y sobre las glumas de la flor, produce una estructura en forma de tubo que invade el endospermo del grano en formación, (USDA, 1998).

Puesto que los granos infectados están ocultos por las glumas, las teliosporas se producen bajo el pericaripio, el cual por lo general no se rompe hasta después de la cosecha, sin embargo la disseminación de la teliospora puede ocurrir durante la trilla, cuando los granos infectados caen al suelo, en residuos de cosecha adheridos a la maquinaria, o adheridos a la superficie de granos sanos como contaminante externo, el viento también juega un papel importante, ya que las puede arrastrar a los campos adyacentes, (Nagarajan et al 1997).

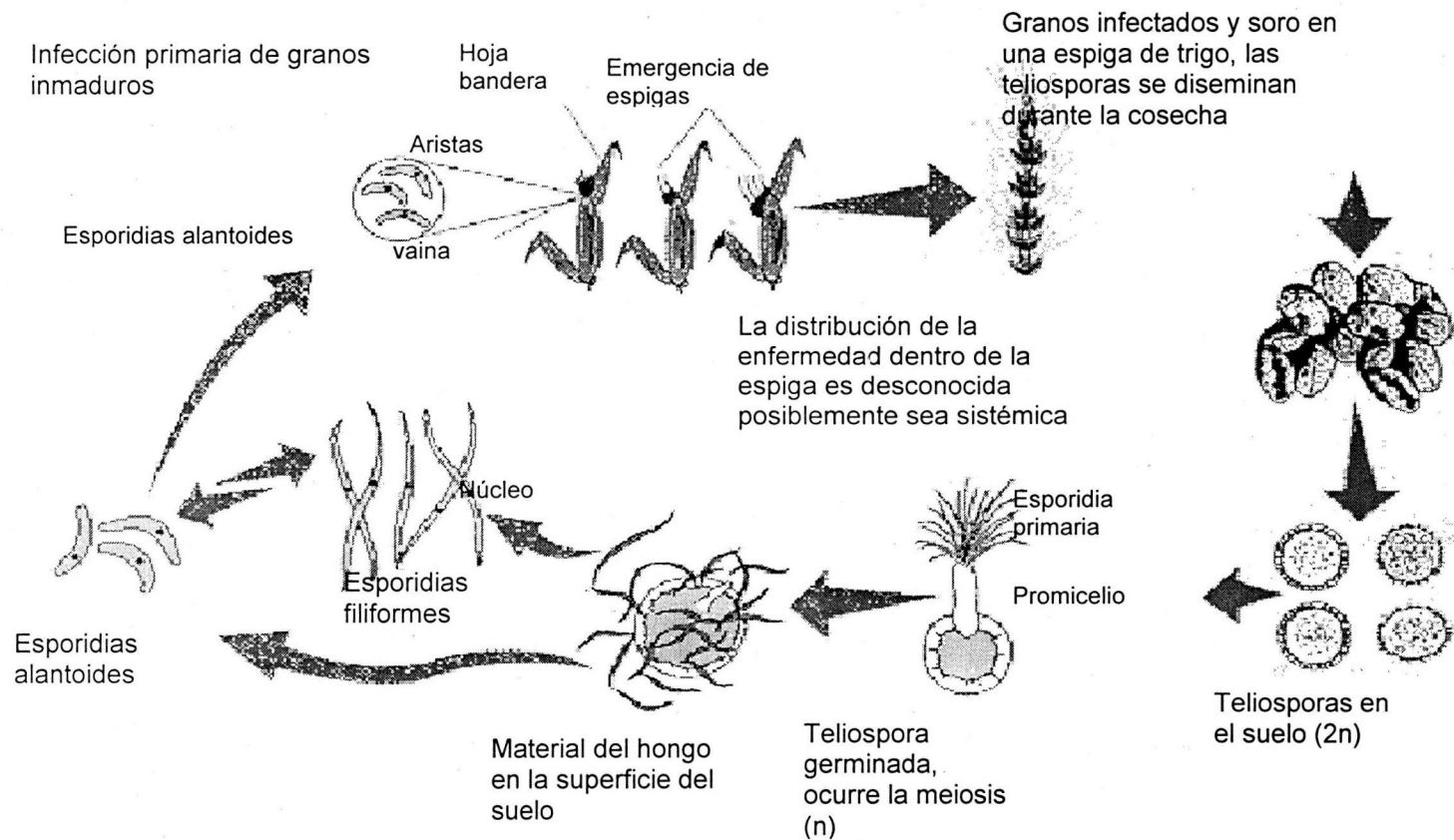


FIGURA 1. CICLO BIOLÓGICO DEL CARBÓN PARCIAL (*Tilletia indica* M.), de acuerdo con Fuentes Dávila Guillermo 1997.

LOS MODELOS EPIDEMIOLÓGICOS.

La Epidemiología Agrícola, es la rama de la Fitopatología que estudia cuantitativamente al patógeno en relación con los otros componentes de la epidemia, como son el clima y hospedante, a nivel población, para lo cual se consideran tres enfoques principales.

1.- Es una herramienta de investigación. La Epidemiología aporta criterios cuantitativos para la conducción experimental en la evaluación de epidemias con fines de control.

2.- Es una herramienta de control de enfermedades. La evaluación de las epidemias en el campo es básica para conocer su dinámica espacial y temporal e identificar el momento oportuno para su control, o bien para evaluar pérdidas.

3.- Es una herramienta de pronóstico. Mediante la construcción de modelos de predicción, es posible predecir una epidemia, que nos ayude a establecer las medidas preventivas necesarias para el control de la enfermedad, (Pedroza, 1997).

Es difícil describir verbalmente el desarrollo de una enfermedad, ya que las palabras utilizadas para describirla pueden tener diferente significado para diferentes personas, lo que nos puede llevar a imprecisiones. Adicionalmente, la diversidad y complejidad de algunas curvas de epidemias hacen prácticamente imposible su descripción, por lo que se hace necesario el uso de un lenguaje universal, que todas las personas lo entiendan, tal lenguaje es el matemático, (Mora, 1996).

Un modelo, es una representación de la realidad en una forma simbólica y simplificada, es una abstracción de la realidad. En general a mayor abstracción de la realidad, mayor complejidad del modelo, pero también mayor

exactitud en la descripción de un sistema, aunque el grado de abstracción no debe ser tan alto que se pierda su relevancia y carácter práctico, es importante mantener un balance de abstracción y funcionalidad del modelo, (Campell y Madden, 1990).

Un modelo por definición, no necesariamente debe ser matemático, por ejemplo, el triángulo epidemiológico, es un modelo cualitativo que representa a los factores involucrados en el desarrollo de una epidemia y las posibles interacciones entre ellos, aquí se usan palabras para representar el fenómeno epidemiológico, el grado de abstracción de este modelo es menor respecto al modelo del tetraedro, (se incluye al hombre, como factor), el cual es más exacto para representar el fenómeno epidemiológico de un agroecosistema, (Mora, 1996).

La Epidemiología cuantitativa en general, está basada en modelos cuantitativos o matemáticos, por lo tanto si un modelo matemático se construye con el propósito de describir, explicar o predecir una relación causa-efecto, dicha relación será representada mediante variables que identifiquen las dos componentes de dicha relación, (Kranz 1990).

Una variable, se puede definir como cualquier atributo, o característica medible y cuya dimensión, proporción o escala puede variar en una serie de individuos o entidades, estas variables son conocidas como dependientes e independientes, la dependiente como su nombre lo indica, es aquella variable que se espera sea afectada, por los cambios en la otra variable, es decir mide el efecto, la independiente, es aquella variable cuyos cambios causan cambios o alteraciones en la variable dependiente, (Kranz, 1990, Campbell y Madden, 1990).

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación, se llevó a cabo en colaboración con el Departamento de Análisis de Riesgo de la Dirección General de Sanidad Vegetal, (D.G.S.V.), debido a la gran importancia que para la DGSV representa esta enfermedad para las negociaciones con los Estados Unidos de Norteamérica para el comercio del trigo para siembra. Exigen los países compradores que la semilla que se les vende, sea producida en regiones libres de la presencia del carbón parcial del trigo (*Tilletia indica* Mitra), por este motivo solicitaron determinar las zonas de riesgo, susceptibles de ser atacadas por el hongo causante del carbón parcial.

Como nuestro país se encuentra inmerso dentro del TRATADO DE LIBRE COMERCIO con los Estados Unidos de Norteamérica y Canadá, nos fue propuesto un modelo de predicción desarrollado por Jhorar y colaboradores en el año de 1992, para predecir severidad del carbón parcial del trigo en el Noroeste de la India, ya que fue adoptado por los países que conforman el T.L.C. por ser el mejor modelo desarrollado en campo para la predicción de la severidad de esta enfermedad y que además utiliza las variables climáticas como temperaturas y humedad relativa.

Los materiales que se utilizaron para la realización del presente trabajo, consistieron de:

Una base de datos climatológicos llamado ERIC (extractor rápido de información climatológica) editado por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), en el año de 1996.

La información relativa al trigo, como sitios de siembra, variedades utilizadas, fechas de siembra, fue proporcionada por las Delegaciones Estatales de la Secretaría de Agricultura Ganadería y Desarrollo Rural (SAGAR), en los estados donde se siembra el trigo, y complementada con los anuarios estadísticos de los estados, que el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), edita cada año, las guías de asistencia técnica editadas por el Instituto Nacional de Investigaciones forestales y agropecuarias (INIFAP), información personal de técnicos especialistas en el cultivo del trigo.

Primeramente fueron localizados los municipios, en un mapa de la República Mexicana, para los estados donde se cultiva el trigo, ubicando los municipios por coordenadas geográficas. Con los datos obtenidos a nivel municipio, se procedió a localizar las estaciones meteorológicas, también, por coordenadas geográficas en unos mapas por estados, que dispone el departamento de Análisis de Riesgo de la DGSV, estas casetas deben tener cobertura, sobre el área del municipio en cuestión, para que los datos sean representativos, (se tomaron datos de dos a tres estaciones por cada uno de los municipios), con las estaciones ya localizadas se procedió, por medio del programa ERIC, a extraer los datos registrados de temperaturas mínimas y máximas registradas en cada una de las estaciones o casetas meteorológicas, por día, cubriendo un período de tiempo que comprendió todos los años en que la estación estuvo registrando datos, y dijo estuvo por que en la mayoría de los casos estas casetas ya no funcionan en la actualidad, algunas de ellas registraron información por más de 60 años

La información que se obtuvo de cada caseta, fue procesada en un programa para computadoras denominado PROMEDIOS desarrollado por el Departamento de Análisis de Riesgo de la DGSV, cuyo objetivo es obtener un solo dato para las temperaturas máximas y otro para las temperaturas mínimas registradas por día, de esta forma en lugar de tener 60 datos para una estación, tenemos un solo dato que resume el promedio diario de todas las

observaciones hechas durante el período de tiempo que la estación estuvo en funcionamiento, lo cual nos facilita el proceso de análisis de estos.

Estos datos para que pudieran ser procesados y analizados por el programa SAS, tuvieron que ser modificados en su estructura mediante una extensión "prn", además que hubo la necesidad de hacerlo por cada dato registrado y en aquellos casos cuando no se registraba ningún dato hubo que sustituir lo que aparecía por un punto, con la finalidad que SAS no tuviera ningún problema para reconocerlos y, de esta manera poder analizarlos. Con todos los datos transformados se procedió a agruparlos por estados para que de esta manera los resultados que se obtuvieran al final fueran más fácilmente analizados, y localizar los sitios donde se pronostica la posible presencia del carbón parcial del trigo.

Con los datos de temperaturas mínimas y máximas, transformados y agrupados por estados, ya en el programa de SAS, se procedió a separar aquellos lugares donde la temperatura registrara un rango de los 14 a los 20°C, reportada como la temperatura óptima para el completo desarrollo del ciclo de vida del hongo *Tilletia indica* Mitra. Además de ser la temperatura considerada en el desarrollo del modelo biometeorológico, que Jhorar y sus colaboradores hicieran en 1992 en la India, para la predicción del carbón parcial causado por el mencionado hongo

Las instrucciones dadas al programa SAS para que nos separara los datos que nos interesan para ser analizados fueron las siguientes.

```
DATA;  
INPUT DIA E F M A MY JN JL AG S O N D EST CAS;  
IF F>=14 AND F<=20 THEN ID=1;  
IF M>=14 AND M<=20 THEN ID=2;  
CARDS;
```

```

DATA DOS;
SET EDO;
PROC SORT; BY ID;
PROC PRINT;
VAR DIA F EST CAS;
BY ID;
DATA TRES;
SET EDO;
PROC SORT; BY ID;
PROC PRINT;
VAR DIA M EST CAS;
BY ID;
RUN;

```

Estas instrucciones fueron utilizadas para los estados donde se cultiva el trigo en el ciclo de Otoño/ Invierno, por eso se analizan los datos registrados durante los meses de Febrero y Marzo, que es el período cuando el cultivo es susceptible de ser atacado por el agente causante del carbón parcial.

Para los sitios donde se cultiva trigo en el ciclo de Primavera/ Verano, se analizaron los datos registrados en los meses de Julio y Agosto, meses en los cuales el trigo debe estar en el período de antesis, o en floración, con las siguientes instrucciones, se obtuvo dicha información.

```

DATA;
INPUT DIA E F M A M Y JN JL AG S O N D EST CAS;
IF JL>=14 AND JL<=20 THEN ID=3;

```

RUN;

cual también fue tomada como variable. Los datos de incidencia fueron, obtenidos de los datos registrados en el reporte especial No.7 del CIMMYT, para el Valle del Yaqui en Sonora, durante nueve ciclos de Otoño/ Invierno, 81/82, hasta el Otoño/Invierno de 89/90, por el ingeniero Manuel Lira Ibarra, personal de Sanidad Vegetal en el estado de Sonora.

Para las temperaturas, se hizo uso también del programa ERIC, localizando las estaciones o casetas ubicadas en el estado de Sonora donde previamente se tenían registrado datos de incidencia. Se extrajo la información relativa a precipitación, pero solamente se hizo por un período que incluía sólo los últimos diez años de registros meteorológicos de la caseta. Igual que para el caso de determinación de zonas de riesgo también se aplicó el programa de PROMEDIOS, con la finalidad de obtener un solo dato promedio de los diez años de registro, pero que fuera diario.

Se analizaron precipitación, temperatura, máxima, media y mínima registradas en el Valle del Yaqui en el estado de Sonora, durante 10 años, de 1980 hasta 1989, igual que para los datos de precipitación, además, se analizaron los datos de incidencia de la enfermedad, registradas durante los ciclos de otoño/invierno, de 1981/1982, hasta 1988/1989. Con todos estos datos y con la ayuda del programa S.A.S., se procedió a analizar cada uno de los modelos generados, al conjugar las variables antes descritas, mediante análisis de regresión, hasta encontrar alguno que nos diera una confiabilidad y un coeficiente de determinación (R^2), del 90 y del 80% respectivamente, como mínimo para que el modelo pudiera ser considerado como aceptable para describir los datos analizados; ya que el coeficiente de determinación (R^2), explica, la variación del modelo en un análisis de regresión.

Los datos analizados se muestran en el siguiente cuadro.

Cuadro1. Datos analizados para obtener el modelo de predicción.

Año	Tempmax	Tempmed	Tempmin	Precipitación	Incidencia *
1982	26.42	16.72	7.1	5.3	8.3
1983	24.16	15.71	7.37	60.0	65.7
1984	26.24	16.58	6.93	40.5	0.9
1985	23.45	15.1	6.76	66.1	72.5
1986	27.39	18.19	9.0	6.2	58.7
1987	24.45	15.26	6.08	19.5	0.35
1988	24.98	16.26	7.55	2.8	3.09

Donde:

Tempmax = Temperatura máxima registrada

Tempmed = Temperatura media registrada

Tempmin = Temperatura mínima registrada

* los datos de incidencia están dados en %, de muestras analizadas.

Todas y cada una de las variables, es decir; precipitación, temperaturas máximas, mínimas y medias, fueron analizadas en sus diferentes combinaciones posibles, hasta obtener el modelo que más representara simplificada la realidad del patosistema.

RESULTADOS

El presente trabajo consistió de dos partes, la primera fue para determinar las zonas de riesgo, utilizando el modelo propuesto por Jhorar *et al.*, y considerando el factor humedad relativa como el óptimo, (70 80%) por dos razones, primero no disponíamos de datos de su registro y segundo, para este tipo de análisis siempre se debe considerar un factor óptimo, por eso se decidió que este factor debería ser la humedad relativa. Con base a lo anterior se llegó a los siguientes resultados.

De los diez y siete estados donde se cultiva el trigo, en cualquiera de sus modalidades, riego (Otoño/ invierno), temporal (primavera/ Verano), se encontró que al menos un municipio, presenta las condiciones adecuadas de temperatura para que el agente causal del carbón parcial se presente, en otros estados, es la totalidad de la superficie que se cultiva la que presenta las condiciones adecuadas de temperatura para el desarrollo de la enfermedad.

Los resultados que se obtuvieron muestran a nivel municipio el día y el mes en que las condiciones son propicias para el desarrollo del agente causal del carbón parcial del trigo, es importante aclarar que estos resultados fueron obtenidos tomando la variable humedad relativa como la idónea, es decir para poder predecir una epidemia se tiene que tomar una de las variables como constante y únicamente modificar la variable restante.

Posiblemente, hay que aclarar que este modelo solamente atiende al factor temperatura, ya que supone a la humedad relativa como fija, o sea al 70%.

Lo anterior indica que de estar presente el patógeno *Tilletia indica* M, en estas regiones es muy probable que se presente el carbón parcial del trigo.

Los estados donde se encontró que las condiciones de temperatura favorable para el desarrollo del patógeno, son los que se enumeran en el cuadro número 2:

Cuadro 2. Estado, ciclo de siembra del trigo, municipio(s) y número de figura de los municipios que presentan las temperaturas adecuadas para el establecimiento del carbón parcial

Estado	Ciclo	Municipio (s)	Figura No.
Baja California Norte	Otoño-Invierno	Ensenada (2) y Mexicali (1)	2
Baja California Sur	Otoño-Invierno	Comondú (1)	3
Coahuilla	Otoño-Invierno	Sabinas (2), Acuña (1), Frontera (3) y Saltillo (4)	4
Chihuahua	Otoño-Invierno	Ascención (1), Gómez Farias (2), Belisario Domínguez (3), Buenaventura (4), Madera (5), Ojinaga (6), Coyame (7), Delicias (8), Galeana (9), General Frías (10), Hidalgo del Parral (11), Janos (12), Juárez (13), Matachic (14), Namiquipa (15), Nonoave (16), Casas Grandes (17), Camargo (17), San Francisco de Borja (18), Temosachic (19), Valle de Allende (20), Coronado (21), Aldama (22), Rosales (23), Ignacio Zaragoza (24), Villa López (25), San Francisco Conchos (27) y Satevo (28).	5

Continuación del cuadro 2

Estado	Ciclo	Municipio (s)	Figura No.
Chihuahua	Primavera-Verano	Ascensión (1), Belisario Domínguez (3), Buenaventura (4), Coyame (6), Delicias (7), Galeana (8), General Frías (9), Hidalgo del Parral (10), Janos (11), Juárez (12), Matachic (13), Namiquipa (14), Nonoave (15), Casas Grandes (16), Camargo (17), San Francisco de Borja (18), Temosachic (19), Valle de Allende (20), Coronado (21), Aldama (22), Rosales (23), Vila de López (25), Guerrero (26), San Francisco de Conchos (27), Satevo (28), Guadalupe(29) y Chihuahua (30).	5
Guanajuato	Otoño-Invierno	San Diego de la Unión.	6
Jalisco	Otoño-Invierno	Atenguillo (1), Ocotlán (2), Etzatlán (3), Degollado (4) y Chapala (5)	7
Jalisco	Primavera-Verano	Atenguillo (1), Ocotlán (2), Etzatlán (3), Degollado (4), Chapala (5), Atotonilco el Alto (6), Mascota (7), San Martín Hidalgo (8), Ixtlahuaca de los mercados (9), Jamay (10), Jocotepec (11), Tototlán (12), Poncitlán, (13), Unión Tula (14), Antonio Escobedo (15), Ahualulco del Mercado (16), Mixtlán (17) y La Barca (18).	7
Hidalgo	Primavera-Verano	Emiliano zapata (4), Tepeapulco (6), Zempoala (7), Apan (2), Pachuca(5), Almoloya (1) y Coatepec (3)	8
Estado de México	Primavera-Verano	Amecameca (1), Juchitepec(2), Temascalapa (4), Zumpango (5) y Otumba (3)	9

Continuación del cuadro 2

Estado	Ciclo	Municipio (s)	Figura No.
Nuevo León	Primavera-Verano y Otoño-Invierno	Apodaca (1), Anahuac (2), Montemorelos (4) y Galeana	10
Oaxaca	Primavera-Verano	Santiago Tepetlapa(1), San Agustín Atenango(2), Jaltepec(3), Tlaxiaco(4), Huajuapam de León(5), Silacayoapan(6), Tezoatlán de Segura(7), Tecomaxtlahuaca(8), Santiago del Reboso(9), Santiago Juxtlahuaca(10).	11
Michoacán	Otoño-Invierno	Ocampo(1), Vista Hermosa (2), Queréndaro (3), Purépero (4), Zamora (5), Ario de Rosales (6), Zitácuaro (7), Venustiano Carranza (8), Irimbo (9), Turicato (10), Epitacio Huerta (11), Hidalgo (12), Jungapeo (13),	12
Michoacán	Primavera-Verano	Ocampo(1), Vista Hermosa (2), Queréndaro (3), Purépero (4), Zamora (5), Ario de Rosales (6), Zitácuaro (7), Venustiano Carranza (8), Irimbo (9), Turicato (10), Epitacio Huerta (11), Hidalgo (12), Jungapeo (13), Alvaro Obregón (14), Angamacutiro (15), Tangancicuaró (16), Sahuayo (17), Jiquilpan (18), Cotija (19), Madero (20), Ixtlán (21), La Piedad (22), Pajacuarán (23), Villa Mar (24), Puruándiro (25), Tanhuato (26), Tuxpan (27), Yurécuaro (28), Jacona (29), Briseñas (30), Chavinda (31), Penjamillo (32) y Cuitzeo (33).	12
Puebla	Primavera-Verano	Teziutlán (1), Libres (2) y Huauchinango (3)	13

Continuación del cuadro 2

Estado	Ciclo	Municipio (s)	Figura No.
Querétaro	Primavera-Verano	Cadereyta, Tequisquiapan; Huimilpan, Corregidora, Querétaro, Ezequiel Montes, Colón y San Juan del Río	14
Querétaro	Otoño-Invierno	Cadereyta, Tequisquiapan; Huimilpan	14
Sinaloa	Otoño-Invierno	Culiacán (06), Mocorito (13), Sinaloa (17) y El fuerte (10)	15
Sonora	Otoño-Invierno	Hermosillo (1), Altar (2), Pitiquito (3) y Etchojoa(4)	16
Tamaulipas	Otoño-Invierno	Altamira (1), Ocampo (2), Mante (3), Victoria (4), Villagran (5), Camargo (6), Reynosa (7), Río Bravo (8), Soto la Marina (9), Miguel Alemán (10), Burgos (11), San Fernando (12), Méndez (13) y Gustavo Díaz Ordaz (14)	17
Tlaxcala	Primavera-Verano	Atlangatepec (1), Lázaro Cardenas (2), Calpulalpan (3), Mariano Arista (4) y Terrenate (5)	18

El número entre paréntesis después de cada municipio localiza a este en la figura respectiva.



Figra 2. Baja California Norte



Figura 3. Baja California Sur.

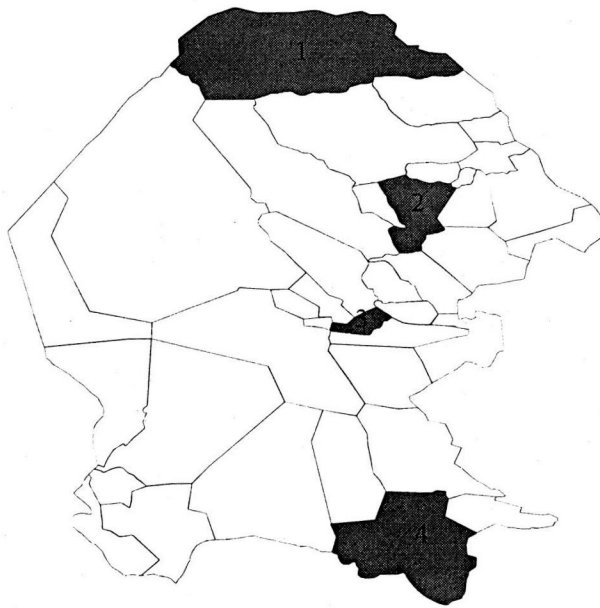


Figura 4. Coahuila

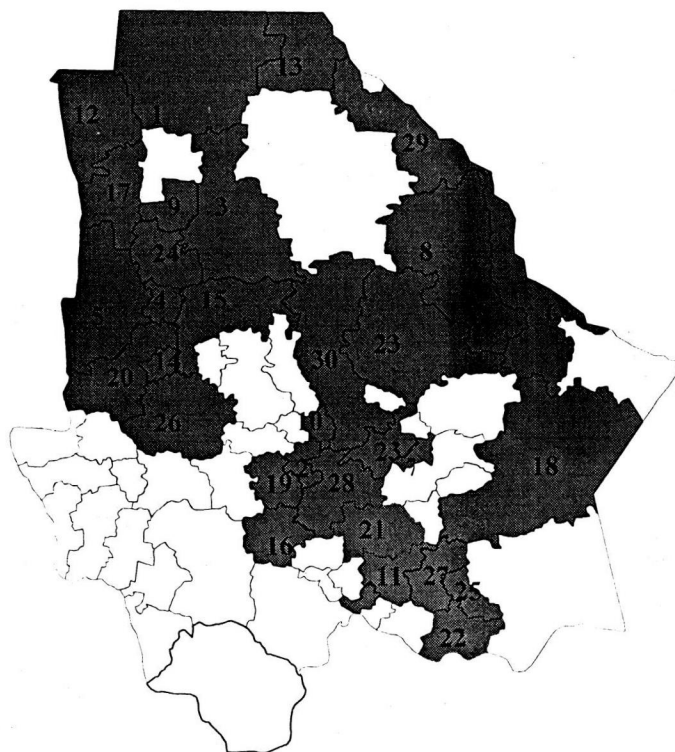


Figura 5. Chihuahua

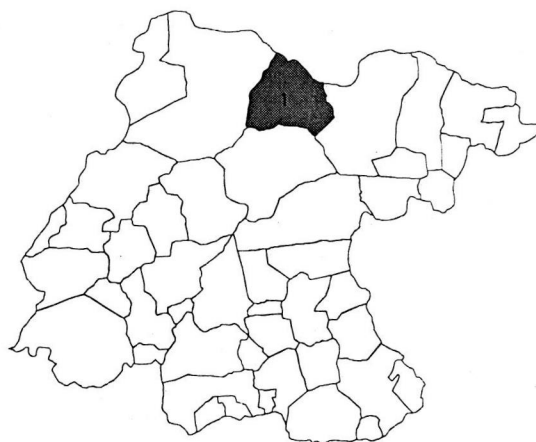


Figura. 6 Guanajuato

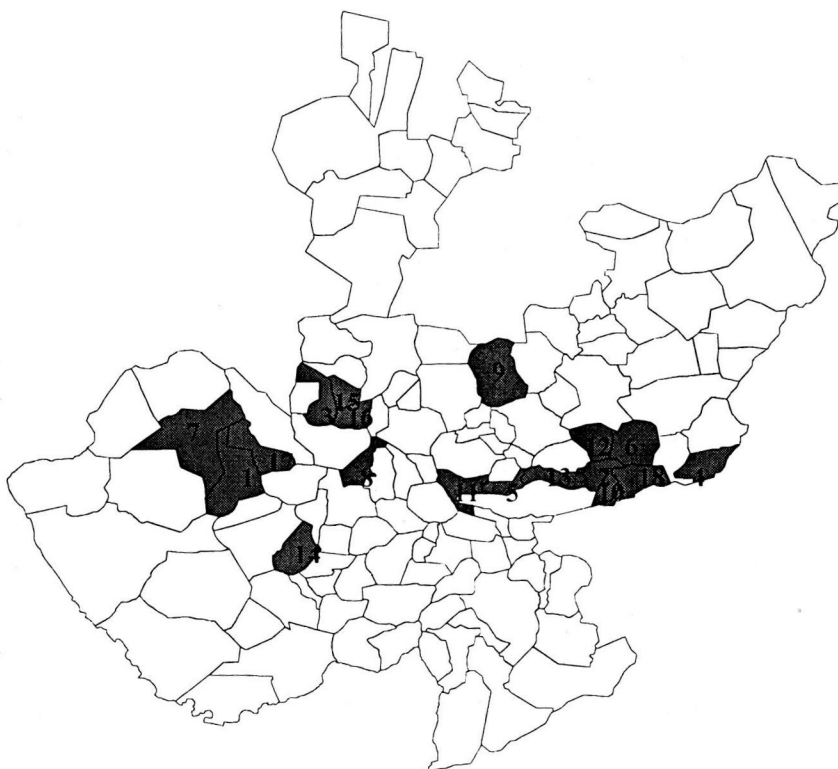


Figura. 7 Jalisco.



Figura 8. Hidalgo

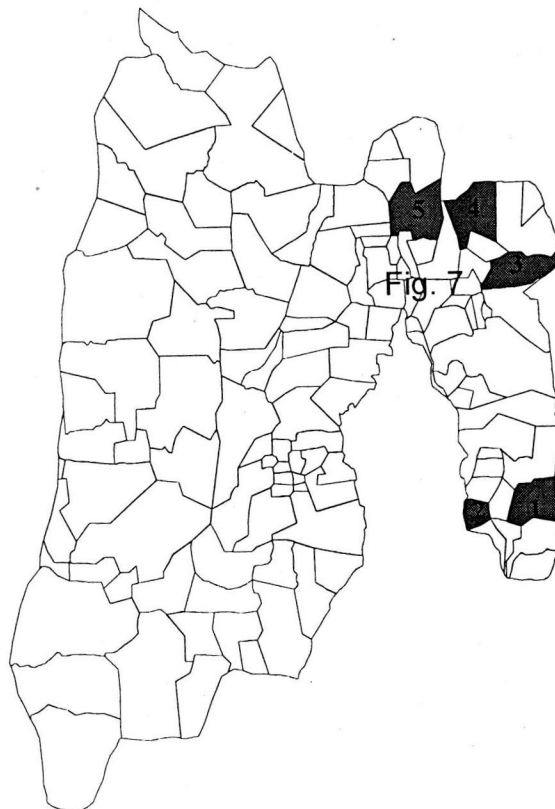


Figura 9. Estado de México

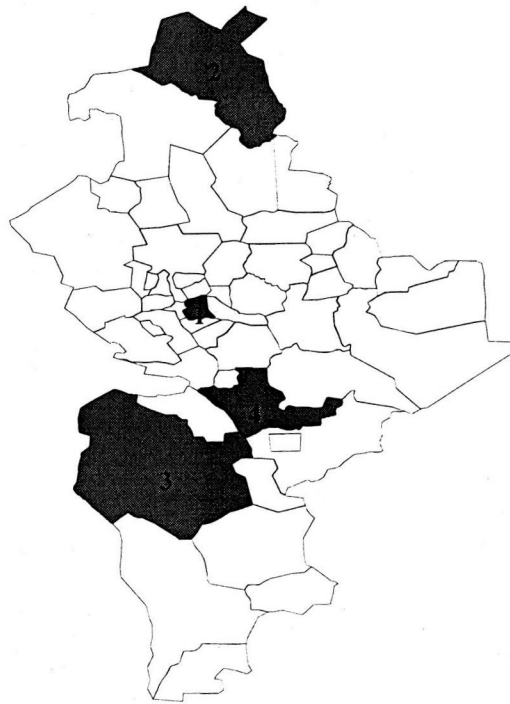


Figura 10. Nuevo León.

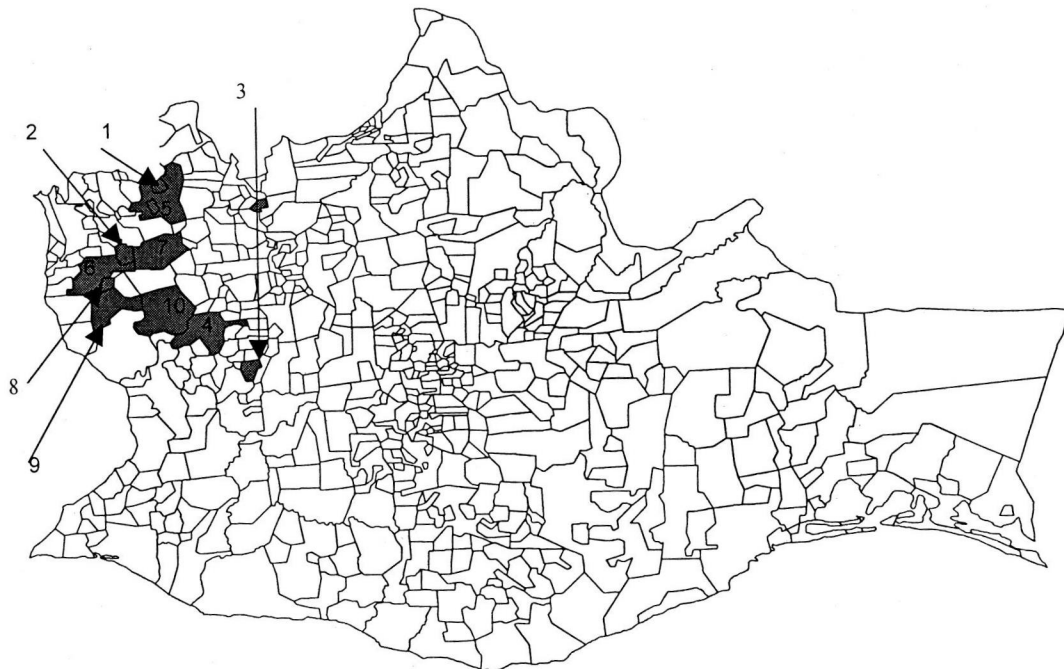


Figura 11. Oaxaca.

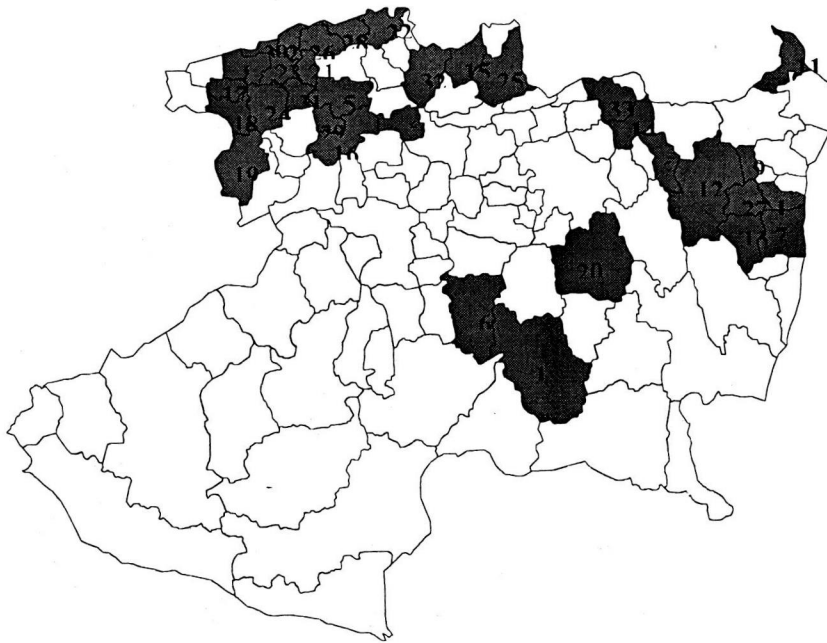


Figura 12. Michoacán

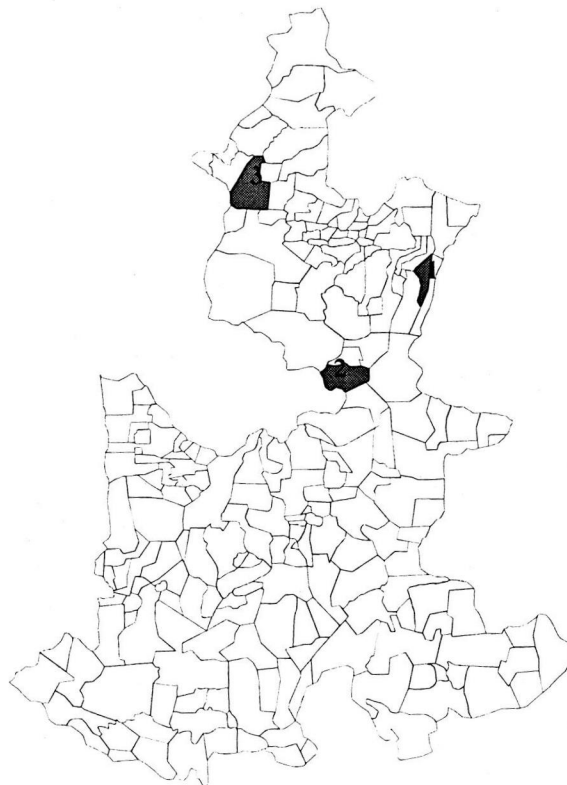


Figura 13. Puebla

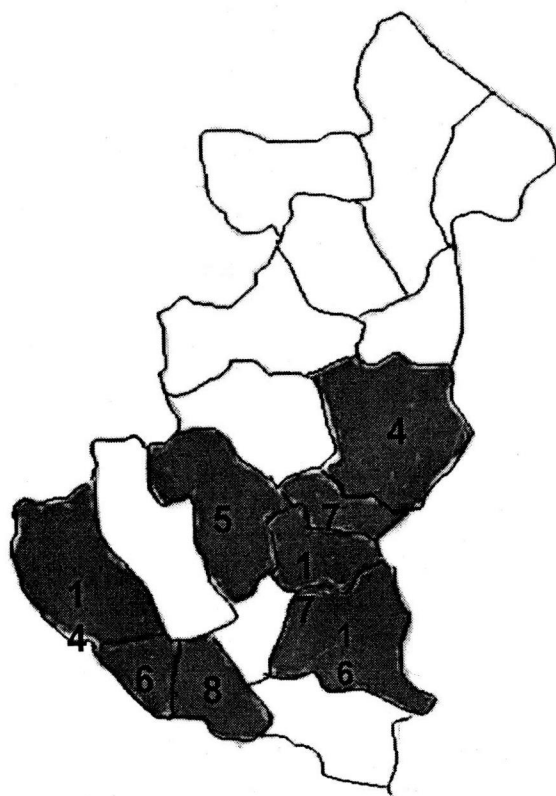


Figura 14. Querétaro



Figura 15 . Sinaloa

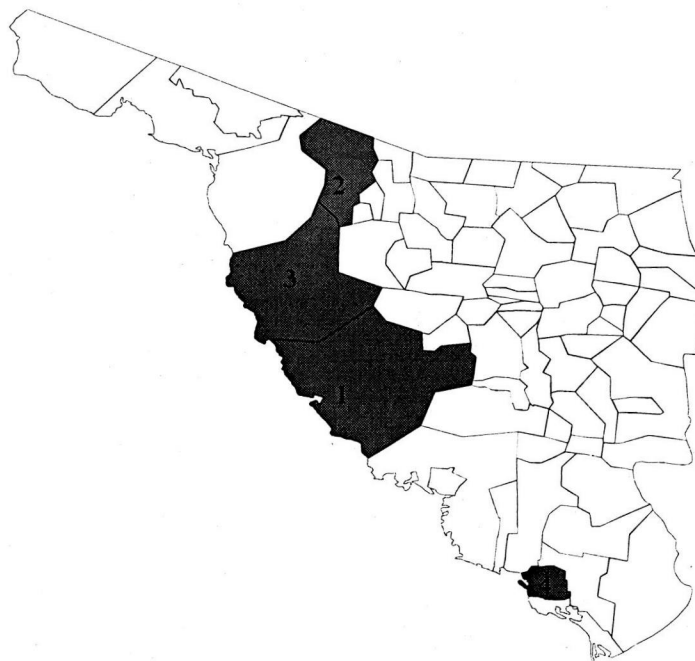


Figura 16. Sonora

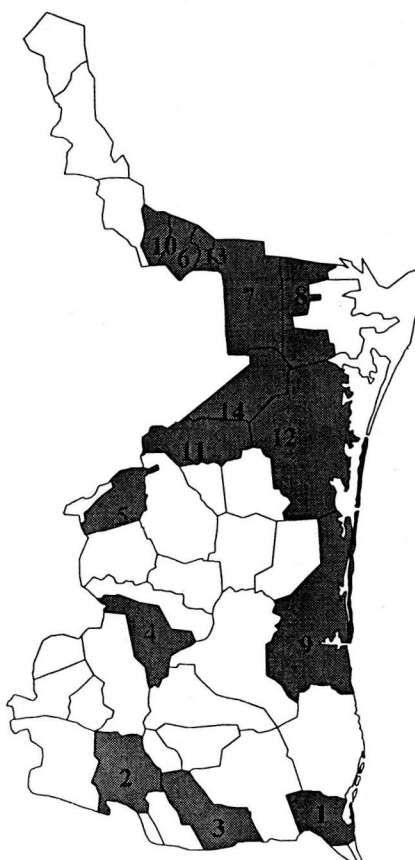


Figura 17 Tamaulipas



Figura . 18 Tlaxcala.

Respecto a la obtención de un modelo para predecir incidencia de carbón parcial, después que se analizaron todas y cada una de las posibles combinaciones de datos disponibles de las diferentes variables utilizadas como: la temperatura máxima, temperatura media, temperatura mínima, precipitación e incidencia, en forma lineal y cuadrática, a continuación se muestran algunos de los modelos generados.

	R ²	F
1.- utilizando todas las variables		
$Y=18.29 + 41.12(a) - 101.888(b) + 83.52(c) + 0.76(d)$	83%	70%
2.- excluyendo temperatura máxima		
$Y=19.11 - 19.75(b) + 42.66(c) + 0.77(d)$	82%	89%
3.- excluyendo la temperatura mínima		
$Y=14.84 - 42.20(a) + 65.18(b) + 0.80(d)$	82%	88%
4.- excluyendo la precipitación		
$Y=280.46 + 103.99(a) - 248.03(b) + 158.72(c)$	63%	87%
5.- excluyendo la temperatura media		
$Y=16.96 - 9.77(a) + 32.76(c) + 0.78(d)$	82%	89%
6.- excluyendo la temperatura máxima y mínima		
$Y=- 275.30 + 16.77(b) + 1.13(d)$	52%	78%
7.-excluyendo la temperatura mínima		
$Y=- 530.22 - 0.82(a)^2 + 65.42(b) + 0.83(d)$	80%	86%
8.- con las temperaturas al cuadrado		
$Y= 23.73 + 2.32(a)^2 - 8.01(b)^2 + 11.14(c)^2 + 0.78(d)$	86%	76%
9.-con todas las variables al cuadrado		
$Y=- 4.91 + 2.49(a)^2 - 8.20(b)^2 + 11.02(c)^2 + 0.01(d)^2$	89%	81%
10.- sin la temperatura mínima		
$Y= -18.34 - 0.64(a)^2 + 1.66(b)^2 + 0.01(d)^2$	86%	92%

Donde:

Y= incidencia en %

a= temperatura máxima en °C.

b= temperatura media en °C

c= temperatura mínima en °C

d= precipitación registrada durante el período de antesis del cultivo.

Después de analizar el coeficiente de determinación (R^2) y la confiabilidad (F) de cada uno de estos modelos obtenidos, se deduce que el que mejor describe los datos analizados, es el que muestra los dos valores más altos, que en este caso sería el número 10.

Se debe aclarar que este modelo obtenido falta que sea validado en campo, para ver su comportamiento con datos reales observados en cada de los sitios donde se cultiva trigo, sin embargo por ser el primero que se obtiene con la poca información disponible en México, sobre datos elementales de clima, cumple con los objetivos del presente trabajo, por lo que queda como un modelo propuesto para su posterior validación y aceptación o modificación.

También debe hacerse mención que faltó incluir la variable humedad relativa, que es otro componente climatológico muy importante, (quizá mas que la propia precipitación), para la presencia y desarrollo del carbón parcial del trigo, pero que no fue incluida por no existir datos sobre su registro en el área del Valle del Yaqui, al menos no fue posible obtenerla, para que fuera analizada, pero lo que si quedó muy claramente establecido, es que el factor temperatura es determinante para que el hongo *Tilletia indica* Mitr., pueda invadir al cultivo y completar su ciclo biológico, al menos en este modelo y en el propuesto por Jhorar *et al.*, en 1992, se observa esa influencia.

DISCUSIÓN

De acuerdo a los resultados obtenidos, en relación a la determinación de zonas de riesgo, se puede observar que al menos en uno de todos los municipios en todos los estados en donde se siembra el trigo, ya sea de riego o de temporal, el factor temperatura se presenta como el adecuado, para que se presente la enfermedad.

Lo anterior indica que si no se ha detectado la presencia del carbón parcial, puede ser debido a uno o varios de los siguientes factores.

Que el período de antesis del cultivo no coincida con las condiciones favorables de temperatura registrada en los meses de febrero y marzo, para el ciclo otoño/invierno, ya que para el primavera/verano, el período de antesis se presenta en los meses de Julio y Agosto, época en que las condiciones ambientales son más favorables al desarrollo del hongo causante del carbón parcial, por la alta humedad relativa, pero ésta se registra casi al atardecer, o por la noche, después que la temperatura ha descendido considerablemente, evitando con esto el desarrollo de la enfermedad, desde luego, esto sería si el inóculo estuviera presente.

Que en algunas regiones, como ya sucede en el noroeste se esté cambiando el cultivo de trigo harinero, que es susceptible al ataque el carbón por el trigo duro que se comporta como resistente, o al menos tolerante.

Que el inóculo, éste puede no estar presente, porque hay que tomar en cuenta que se trasmite por semilla contaminada y granos que caen al suelo al momento de la cosecha, pues aunque las esporidias secundarias o

microesporidias, son expulsadas violentamente al aire, éstas no pueden permanecer viables por un período prolongado, sino más bien tienen que ser depositadas en un período relativamente corto sobre sitios específicos como la hoja bandera del trigo o las glumas de las florecillas, para que pueda invadir al endospermo del grano en formación.

En virtud de que una de las formas de dispersión del carbón parcial del trigo, es mediante semilla contaminada y muestras de suelo donde se desarrolló un cultivo contaminado, la regulación del movimiento de estos materiales por la NOM 001 FITO 1995, parece ser eficiente, porque no se ha diseminado la enfermedad a otras importantes regiones productoras de trigo en nuestro país.

Al observar cada una de las figuras anteriores, se nota que algunos municipios quedan incluidos dentro de una región donde se presentan las condiciones favorables de temperatura, pero ese o esos municipios están libres de las mismas, es decir, la condición de temperatura, no se presenta como la adecuada, esto puede ser debido a que en esos sitios no se tiene reportada la siembra del trigo, aquí cabe recordar que la relación de los estados y municipios donde se cultiva el trigo fue proporcionada por las delegaciones de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural en cada uno de los estados, porque como en el caso de Chihuahua en los municipios localizados en la sierra casi no existe estaciones o casetas meteorológicas que reporten los datos climatológicos y por ese motivo no pudieron ser analizados.

En el caso del estado de Guanajuato, donde de acuerdo con los datos de temperatura analizados, para todos los municipios donde se siembra este cultivo, solamente en uno de ellos se encontraron las condiciones adecuadas, para que el carbón parcial se presente y en el resto de los municipios no se dan tales condiciones, esto puede ser debido a que en el invierno se presentan temperaturas muy frías por debajo de 14° C reportado como temperatura mínima requerida para el desarrollo del hongo y en este estado se reportar

temperaturas alrededor de los 7 y 8 ° C en promedio, la cual no es adecuada para que el proceso de infección de inicio, aunque Paulitz, en 1995 reporta que observó germinación de teliosporas a 5° C, esto fue bajo condiciones de laboratorio, y además no reporta que cantidad de las mismas germinaron, si eran suficientes para iniciar el proceso infectivo.

En la mayoría de los sitios, en donde se presentan las condiciones de temperatura adecuada para el desarrollo del hongo causante de carbón parcial y éste no se ha detectado, es porque los inviernos son más bien secos, con nula precipitación, (como ocurre en los estados de Nuevo León, Coahuila, etc) durante los meses de febrero y marzo, y de acuerdo con Smilanick en 1985, es necesario que se registre alguna precipitación en el período en el que el cultivo del trigo está en floración, para que las microesporidias puedan ser depositadas sobre el sitio adecuado y dar inicio a la infección.

En las regiones donde se siembre trigo bajo condiciones de temporal no ha sido reportada hasta el momento la presencia del carbón parcial, tal vez porque no se presentan las condiciones de humedad relativa adecuadas para el desarrollo de este hongo durante el período de antesis.

En la región norte del País, que abarca a los estados de Chihuahua, Tamaulipas, Nuevo León y Coahuila, donde se presentan las condiciones de temperatura adecuada y sin embargo no se ha detectado la presencia del carbón parcial, esto puede ser en parte, debido a que también se siembren trigos de hábitos invernales, o de tipo facultativo, cuyo ciclo vegetativo es más largo con lo cual evade las condiciones ambientales propicias para el desarrollo del hongo.

Baja California Norte, en los meses de Febrero y Marzo, se presentan las condiciones adecuadas de temperatura, para que se dé el proceso de infección del carbón parcial, se debe hacer mención que, de acuerdo a los datos

históricos de temperatura registrada en las estaciones meteorológicas que en los municipios de Ensenada y Mexicali se analizaron, se encontró que esta es la adecuada para la presencia y desarrollo de *Tilletia indica* Mitr. Con la excepción de Borlaug 95 que es una variedad tolerante a la enfermedad, el resto de las variedades comerciales son susceptibles. Sin embargo Mexicali aun se considera una zona libre de carbón parcial: una de las razones por las cuales no se ha identificado la presencia de la enfermedad al menos en el área de este municipio, puede estar asociado con un período vegetativo más largo, que hace que no coincida las temperaturas óptimas con la época de antesis, la segunda explicación parece estar asociada con inviernos secos, con baja humedad relativa durante el ciclo, aun después de la aplicación de un riego, la humedad relativa permanece tan baja que aun enfermedades como las royas, no se presentan en variedades altamente susceptibles.

Excepcionalmente en años con precipitación durante el espigamiento, no se descarta la posibilidad de encontrar carbón parcial en este estado, ya que ha sido detectado en el estado vecino de la Unión Americana de Arizona.

En el estado de Baja California Sur, donde también se siembra trigo solamente durante el ciclo de Otoño/invierno, se encontraron las condiciones óptimas de temperatura para, en los meses de Febrero y Marzo, donde de hecho, ya se tiene la presencia del carbón parcial del trigo. Por efecto de latitud y la presencia del mar de Cortés y el océano Pacífico crean un microclima con mayor humedad relativa, durante la mayor parte del ciclo del cultivo. Con la excepción de Guamuchil 92, el resto de las variedades que se utilizan son susceptibles al carbón parcial.

Para el estado de Coahuila, el cultivo de trigo se lleva a cabo en la época de Otoño/Invierno, por lo que las condiciones de temperatura para la incidencia del carbón parcial, también fue analizada para los meses de Febrero y Marzo, presentan condiciones solamente durante el mes de Febrero, en el mes de

Marzo las condiciones se presentan solamente en dos de ellos que son Frontera y Saltillo. Estos son los municipios que menor área de trigo cultivan y en años recientes, por la falta de agua, el trigo se ha restringido a la parte norte del estado. Todas las variedades cultivadas en el estado se comportan como susceptibles.

En el estado de Chihuahua, el cultivo del trigo se lleva a cabo en sus dos modalidades, es decir se siembra en riego y temporal, el de riego se siembra en los meses de Noviembre y Diciembre, y el de temporal durante los meses de Junio y julio, en esta modalidad se siembran generalmente variedades de ciclo corto e intermedio, ya que el factor limitante son las heladas las cuales se evitan haciendo uso de las variedades mencionadas. Este estado se ha convertido en el productor número 1, de semilla de trigo para la región del noroeste, incluyendo nuevas Variedades como INIFAP y Tobarito, tolerantes al carbón parcial, la mayoría de estas se producen bajo condiciones de riego.

Hasta la fecha el estado de Chihuahua se considera libre de carbón parcial, lo que indica que otro factor aparte de la temperatura está ayudando a que la enfermedad no se presente.

En el estado de Guanajuato, las condiciones óptimas de temperatura se presentan solo en uno de los municipios donde el trigo se cultiva y es el municipio de San Diego de la Unión. En este municipio la superficie que se siembra de trigo, es mínima comparada con la superficie de otros municipios.

En este estado se han encontrado bodegas con teliosporas de *tilletia indica* M., pero no existen reportes de campos cuarentenados, aunque se han realizado monitoreos constantes por varios años, y hasta la fecha todos los reportes han sido negativos, este estado al igual que el de Chihuahua es un productor de semilla de trigo, pero para mantener el estatus de libre de carbón

parcial se han tomado algunas medidas fitosanitarias como la aplicación de fungicidas al momento de la floración.

El estado de Jalisco, ubicado dentro de la región del Bajío presenta condiciones de temperatura favorable para el desarrollo del hongo *Tilletia indica* Mitr: agente causal del carbón parcial del trigo, durante el ciclo de primavera/verano, ya que la superficie cultivada durante el otoño/invierno es muy reducida, solamente en algunos municipios como Ocotlán, Etzatlán, Degollado y Chapala. Por tanto si el inóculo estuviese presente en el suelo, o fuera introducido por medio de la semilla, además de la temperatura, las condiciones de humedad relativa son propicias para la infección del hongo causante del carbón parcial.

En cuanto a la modalidad del trigo de temporal, solamente en la parte alta de Atotonilco (región de los altos), se siembran alrededor de 300 hectáreas durante el verano y en los municipios de Jesús María, Arandas y Tepatlán se cultivan alrededor de 15000 has., mientras que en la región semiárida del estado los municipios de San Julian, San Miguel el alto, San Juan de los lagos, Lagos de Moreno y Ojuelos se siembran otras 15000 has., y es posible que la temperatura no este dentro del rango que favorece la infección del hongo.

En el estado de Hidalgo, donde solamente se cultiva trigo en el ciclo primavera/verano las condiciones de temperatura favorable para el establecimiento y desarrollo del agente causal del carbón parcial del trigo se dan en los meses de Julio y Agosto, y de los municipios que presentan condiciones favorables solamente Apam es importante productor de este cereal.

El estado de México, también es importante productor de trigo bajo condiciones de temporal, por lo que las condiciones de temperatura tuvieron que ser analizadas para los meses de Julio y Agosto, que corresponde al período de antesis del cultivo, etapa, como ya se ha citado anteriormente,

susceptible al ataque del patógeno *Tilletia indica* M., de los municipios que presentan condiciones de temperatura que favorecen al hongo solamente Juchitepec y Zumpango están considerados como productores de trigo.

En el estado de Nuevo León se cultivan poco mas de 24 000 hectáreas de trigo en otoño/invierno y primavera/verano, debido a la escasés de agua durante los últimos años el cultivo de trigo tiende a perder importancia en este estado, pero no se debe descartar la posibilidad que el carbón parcial se presente, pues las condiciones al menos de temperatura le favorecen, aunque el otro factor determinante, que es la humedad relativa difícilmente se podrá dar, dadas las condiciones de sequía del estado.

El estado de Oaxaca, con su gran número de municipios, también cultiva una gran variedad de cultivos, donde el trigo tiene cabida en la región de la mixteca alta, incluyendo varios municipios que colindan con los estados de Puebla y Guerrero, en este estado existen tres modalidades de cultivo del trigo, una de riego durante el otoño/invierno, otra de primavera/verano y una más de humedad residual y generalmente se siembran trigos facultativos, no mejorados.

De los municipios en que la temperatura es adecuada para el desarrollo del carbón parcial, solo Huajuapam de León y Tlaxiaco reportan una superficie considerable de trigo.

Michoacán, en la modalidad de riego, de los municipios potenciales para el establecimiento del carbón parcial usando la temperatura como criterio, solamente en Ario de Rosales, Zitácuaro e Hidalgo, el trigo no ocupa una superficie considerable, mientras que en Epitacio Huerta no existe disponibilidad de agua para el trigo de invierno; el resto de los municipios conjuntan una superficie considerable dedicada al cultivo de trigo.

Actualmente la modalidad de temporal se ha visto reducida al mínimo, ya que solo en el Municipio de Ario de Rosales es donde se cultiva trigo en este ciclo, el resto de los municipios potenciales, no se reportan siembras de este cultivo después de que las primeras variedades mejoradas se pusieron a disposición del agricultor.

En el estado de Puebla, se cultiva trigo bajo condiciones de temporal, por lo que las condiciones de temperatura se analizaron solamente para los meses de Julio y Agosto, de los municipios potenciales para el desarrollo del hongo, solamente el área de Libres ocupa un lugar importante en la producción de este cereal, sin embargo el tipo de variedades que se adaptan a esta región deben ser muy precoces pues el riesgo de que ocurra una helada temprana es muy alto.

El estado de Querétaro, enclavado dentro de la región conocida como “El Bajío”, presenta condiciones propicias para el cultivo del trigo bajo condiciones de riego como de temporal, lo cual indica que los meses críticos para el establecimiento y desarrollo del hongo causante del carbón parcial son Febrero, Marzo, Julio y Agosto, sin embargo los municipios importantes productores de trigo de temporal no se encontraron como potenciales para el establecimiento del carbón parcial, el riesgo se presenta en los municipios que se siembra durante el otoño/invierno, pero si se siguen aplicando las medidas de prevención establecidas, como utilizar solo semilla libre de carbón parcial y monitoreos constantes en la época de floración se podrá seguir manteniendo al estado, libre de la presencia del hongo.

El estado de Sinaloa ubicado en la región del Noroeste, se cultiva el trigo durante el ciclo de otoño/invierno, es uno de los estados donde se tiene la presencia del agente causal del carbón parcial del trigo en los municipios de Ahome, Angostura, Culiacán, El Fuerte, Guasave, Salvador Alvarado y Sinaloa en la región costera, es decir que limitan al mar de Cortés, o con el Océano

Pacífico y región colindante al norte, con el estado de Sonora, y que de acuerdo con los datos analizados del factor temperatura, se encontraron las condiciones favorables solamente en cuatro de los municipios que ya tienen presencia del hongo, ellos son: Culiacán, Mocorito, El Fuerte y Sinaloa, el hecho de que no coincidan todos los municipios que ya registran la enfermedad, con los obtenidos como resultado del análisis, puede deberse, a que tal vez los datos registrados no sean los reales, ya que el factor temperatura es determinante para el establecimiento y desarrollo carbón parcial, y esta tiene que estar dentro del rango favorable, pues la humedad relativa que se registra, debe ser alta, dada la ubicación, en latitud y la presencia del mar de Cortés y del océano Pacífico, que la favorecen durante casi todo el desarrollo del cultivo.

Por otro lado, dadas las restricciones que impone la NOM 001 FITO 1995, muchos productores tienen que cambiar el cultivo de trigos harineros, por trigos duros, por razones antes expuestas, con el objetivo de mantener a la enfermedad por abajo de los niveles económicos, o en un momento determinado, lograr su erradicación.

Sonora, el estado donde primero fue detectada la presencia de *Tilletia indica* Mitr. En nuestro país en los valles del Yaqui y Mayo, y de donde ha tenido un desplazamiento muy lento hacia los estados de Baja California y Sinaloa, se encuentra en los municipios de Alamos, Altar, Caborca, Cajeme, Bacum, Empalme, Etchojoa, Guaymas, Hermosillo, Huatabampo, Navojoa, Pitiquito, Quiriego y Rosario (SAGAR 1996), después de haber analizado los datos históricos de temperatura, para los municipios productores de trigo, en el estado, se encontraron las condiciones adecuadas en los siguientes municipios; Altar, Etchojoa, Hermosillo y Pitiquito, el hecho de que no todos los municipios que actualmente tienen la presencia del carbón parcial, no salieran con las condiciones de temperatura, pudo deberse a que los datos analizados incluyó un período muy amplio (alrededor de 50-60 años), lo cual viene a dar datos no muy representativos, al trabajar con los promedios, pues en ese lapso tan

amplio pudieron haberse registrado temperaturas muy extremas. O tal vez los datos anotados, no fueran los reales registrados y que al analizarlos estadísticamente no nos dan el rango que favorece el desarrollo del agente causal del carbón parcial.

Al mismo tiempo, en este estado, al igual que en Sinaloa y Baja California Sur, donde también se tiene la enfermedad, presenta la misma situación geográfica, colindancia al Golfo de Cortés, lo que le viene a dar condiciones de alta humedad relativa, durante casi todo el ciclo vegetativo del cultivo, haciendo con esta combinación de factores (temperatura y humedad relativa), las condiciones propicias para el desarrollo de *Tilletia indica* M., aunado al uso de variedades susceptibles, como se mencionó anteriormente, todas las variedades de trigo harinero que se siembran son susceptibles a este hongo.

En la región del Noroeste, las medidas preventivas y de control que la NOM 001 FITO 1995, impone deben ser cumplidas, si se quiere mantener al carbón parcial, como una plaga A2, o de ser posible, lograr su erradicación de nuestro país, esto sólo podrá lograrse, en la medida que los productores de trigo y las autoridades estén dispuestos a cumplirla en su totalidad.

El estado de Tamaulipas localizado en la región conocida como Norte, produce trigo en el ciclo otoño/invierno, lo cual lo hace susceptible de ser atacado por el hongo causante del carbón parcial del trigo, en los meses de febrero y marzo, pero tal vez los vientos que se registran durante esos meses, no permiten que la humedad relativa llegue a ser tan alta que permita el desarrollo del hongo, hasta este momento, la situación real, es que en el estado no se ha reportado la presencia del carbón parcial, aunque las condiciones de temperatura le son favorables.

Respecto al modelo para predecir incidencia, como se mencionó anteriormente, se obtuvo con datos registrados de temperatura máxima, temperatura media, precipitación e incidencia en el Valle del Yaqui en Sonora, este modelo describe bien estos datos, con una confiabilidad del 92% y un coeficiente de determinación (R^2) del 86%, lo cual lo hace un modelo de buena aceptación para predecir incidencia de carbón parcial del trigo.

Este modelo deberá ser validado en cada una de las regiones donde se siembra trigo, con los datos de temperatura máxima y media así como la precipitación registrada en la etapa en que el cultivo es susceptible de ser atacado por el hongo causante del carbón parcial, para poder estar en condiciones de predecir el nivel de incidencia de la enfermedad al final del ciclo y al momento de la cosecha tomar las medidas precautorias necesarias para evitar la diseminación del inóculo primario, o teliospora; tomando en cuenta que una de las principales formas de dispersión de la enfermedad, es mediante el uso de semilla contaminada.

Otra de las condiciones que deberá cumplirse, es que el patógeno se encuentre presente en la zona de cultivo del trigo, pues este modelo es para determinar niveles de incidencia, porque si en una determinada región se presentan las condiciones ambientales favorables para el desarrollo del hongo, pero esto no se encuentra presente, el proceso infectivo no podrá llevarse a cabo, ya que una de las condiciones de la Epidemiología Agrícola, para que una epidemia pueda tener o no éxito es que coincidan en tiempo y espacio los tres componentes epidemiológicos que conforman el triángulo epidemiológico, (hospedante susceptible disponible, patógeno presente y condiciones ambientales favorables).

Es por este motivo, que este modelo también podrá ser utilizado, una vez que se valide en campo, para monitorear la posible presencia del carbón parcial, del trigo, pues si el ciclo anterior, se presentó en la región y en el

presente ciclo, las condiciones ambientales de temperatura le son favorables, lo más probable es que se vuelva a presentar con igual, menor o mayor intensidad, que en el ciclo anterior, dependiendo de la intensidad de la interacción de los componentes del triángulo epidemiológico.

Si este modelo al ser validado en campo da buenos resultados, podrá ser una herramienta de utilidad en el manejo del carbón parcial del trigo, causado por *Tilletia indica* M., enfermedad presente en nuestro país desde 1970, y que es causa de múltiples restricciones para la comercialización, tanto nacional como internacional del trigo en grano, o como semilla, este fue el propósito de proponer un modelo para predecir la presencia de esta enfermedad, en la presente investigación.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos, demuestran que el agente causal del carbón parcial del trigo (*Tilletia indica* M.), encuentra condiciones favorables de temperatura, para presentarse en cualesquiera de las regiones donde se cultiva trigo, y que si no se ha presentado, es por que tal vez las restricciones impuestas para movilizar trigo, o sus derivados de la región donde actualmente se le localiza, al resto de las regiones donde se cultiva trigo

De acuerdo a los resultados obtenidos, queda demostrado que el factor temperatura, es el determinante para que el carbón parcial del trigo se establezca en una región, y en la mayoría de los sitios analizados, se encontró que esta se presenta como favorable para el desarrollo del mismo, de ahí la importancia que cobra vigilar que para siembra, solamente se haga uso de semilla libre de carbón parcial del trigo, ya que es el único componente del triángulo epidemiológico que al parecer no está coincidiendo en tiempo y espacio con el hospedante susceptible y el factor clima, también favorable. Por lo que todos los sitios que presentan la condición de temperatura favorable, son sitios potenciales para el establecimiento del carbón parcial, factor en que el hombre no puede tener ingerencia alguna.

Quizá el uso de variedades de ciclo corto a espigamiento, sembradas al iniciar el ciclo, se presente como una alternativa en el manejo de la enfermedad, al evitar que el período de antesis de estas coincida con las condiciones de temperatura que favorecen la presencia y desarrollo del agente causal del carbón parcial del trigo.

Otra alternativa, serían variedades tardías al espigamiento y de un periodo de madurez corto, que al ser de un ciclo vegetativo más largo, el período de antesis, se presenta después de que las condiciones ambientales que favorecen el desarrollo de *Tilletia indica* M., ya pasaron, de esta manera se

evita que coincidan en tiempo y espacio los tres componentes del triángulo epidemilógico.

Respecto al modelo para predecir incidencia de carbón parcial, después de su validación, y de ser esta positiva, servirá como una herramienta de pronóstico, para que al final del ciclo del cultivo, estar en condiciones de saber con que intensidad se presentará la enfermedad en estudio y al mismo tiempo, tomar las medidas precautorias, al momento de realizarse la cosecha, evitando que la semilla contaminada caiga al suelo, ya que esto representará una fuente de inóculo para el siguiente ciclo de cultivo del trigo.

También ayudará en la toma de decisiones, de las medidas necesarias para evitar que en el siguiente, o siguientes ciclos, se presente el carbón parcial del trigo, proponiendo la suspensión de cultivo de trigo, proponiendo un cultivo alternativo, o sembrar trigos duros o triticales, que se muestran como resistentes o tolerantes al ataque del carbón parcial del trigo, causado por *Tilletia indica* M.

LITERATURA CITADA

- ALVAREZ Z., R. 1987. Evaluación de fungicidas para el control del carbón parcial *Neovossia indica* (mitr.) Mundkur, en el Valle del Yaqui, Sonora. 1985-1986. Tesis de Ing. Agr. Especialista en Parasitología Agrícola. Universidad autónoma Chapingo. Chapingo, Méx., p-68.
- ANÓNIMO. 1996. Norma Oficial Mexicana NOM-001-FIT 1995. Por la que se establece la campaña contra Carbón Parcial del trigo. Diario Oficial de la Federación. P-18.
- ANÓNIMO. 1997. Karnal Bunt (*Tilletia indica* Mitra): a Fungal Disease of wheat. <http://entweb.chenson.educ/crops/state/Survey/exotic/kb/kb.htm>. p-4.
- ANÓNIMO. 1997. Partial Bunt of wheat (Karnal Bunt) *Tilletia indica* Mitra, *Neovossia indica* (Mitra) Mundkur. Plant Pathology at WSU. Cereal research. P-8.
- AULJA S., S. SHARMA Y., R. SAWNLY S., S. 1977. Influence of wheather factors on the incidence and Epidemiology of Karnal Bunt, Disease of wheat in the Punjab. Indian journal ecology 4(1) 71-74.
- AYON R., I. 1989. Identificación de Enfermedades que atacan al trigo (*Triticum aestivum* L.) en Juchitipec, México y su incidencia en relación a las condiciones climáticas. Tesis de Ing. Agr. Especialista en Parasitología agrícola. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Méx., p-83.
- BRENAN et al. 1990. Economic Losses from Karnal Bunt of wheat in Mexico. CIMMYT. Economics working paper. P-55.
- CAMPBELL C., ML. MADDEN, L., V. 1990. Introduction to plant Disease Epidemiology. A willey Interscience Publication. E.U.A. p-532.

- CASHION N., L. LUTRELL, C., S. 1998. Host parasite relationships in Karnal Bunt of wheat, *Phytopathology* 78: 75-89.
- CIBA-GEIGY. 1980. Wheat Documenta. Suiza, p-95.
- COHEN S., et al. 1991. Pest Risk Analysis on Karnal Bunt. APHIS-USDA. P-14.
- CUNFER B., M., DOUCE G., K., PADGETT G., B., MILLER A., E. 1997. Karnal Bunt *Tilletia (Neovossia) indica*. USDA-APHIS p-4.
- CHAVEZ O., J., 1994. Identificación y Evaluación de alelos del sistema de incompatibilidad, Trampeo in Vitro y Reacción de variedades de trigo (*Triticum sp* L.), a *Tilletia indica* Mitra. Agente causal del Carbón parcial. Tesis de Ingeniero Biotecnólogo. Instituto Tecnológico de Sonora, Obregón, Sonora, Mex., p-65.
- DURAN R., 1972. Further Aspects of teliospore germination in North American Smut fungi II. *Can. J. Bot.* 50:2569-2573.
- FIGUEROA L., P., SALAZAR, F. H. 1989. Tratamiento químico a la semilla de trigo para el combate del carbón parcial *Tilletia indica* Mitra. Memorias del XVI Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Fitopatología. Montecillos, Texcoco, Méx.,
- FUENTES D., G. 1992. Karnal Bunt and durum wheat. CIMMYT. Wheat Report Special No. 9 p129-132.
- FUENTES D., G. 1992. Karnal Bunt of wheat. CIMMYT, México, p-12.
- FUENTES D., G. HETTEL G., P. (editors). 1991. Update on Karnal Bunt Research in México, Ciudad Obregón, Sonora, p-38.
- FUENTES G., GILCHIST, L., SING, R., LAVEN, D., ROWE, R., 1989. Effect of fungicide dressing on survival of KB Teliospores. CIMMYT. P-11.

- GUTIÉRREZ M., R. 1997. Potencial de establecimiento del minador dde la hoja de los cítricos (*Phyllocnistis citrella* Stainton), en las regiones citrícolas de la República Mexicana en base a preferencias climáticas. Tesis de Ing. Agrónomo especialista Parasitología Agrícola. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, México, p-91.
- HANSON H., BORLAUG, N. E., ANDERSON, R. G. 1982. Trigo en el tercer mundo. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. CIMMYT. P:8-11.
- INEGI. 1997. Anuario Estadístico del Comercio Exterior de los Estados Unidos Mexicanos. Aguascalientes, Méx., p-500.
- INEGI. 1997. Anuario Estadístico del Estado de Baja California Sur. Aguascalientes, Ags. México, D.F. p-368.
- INEGI. 1997. Anuario Estadístico del Estado de Baja California. Aguascalientes, Ags. México, D.F. p-346.
- INEGI. 1997. Anuario Estadístico del Estado de Coahuila. Aguascalientes, Ags. México, D.F. p-452.
- INEGI. 1997. Anuario Estadístico del Estado de Chihuahua. Aguascalientes, Ags. México, D.F. p-482.
- INEGI. 1997. Anuario Estadístico del Estado de Guanajuato. Aguascalientes, Ags. México, D.F. p-559.
- INEGI. 1997. Anuario Estadístico del Estado de Hidalgo. Aguascalientes, Ags. México, D.F. p-604.
- INEGI. 1997. Anuario Estadístico del Estado de Jalisco. Aguascalientes, Ags. México, D.F. p-588.

- INEGI. 1997. Anuario Estadístico del Estado de México. Aguascalientes, Ags. México, D.F. p-504.
- INEGI. 1997. Anuario Estadístico del Estado de Michoacán. Aguascalientes, Ags. México, D.F. p-554.
- INEGI. 1997. Anuario Estadístico del Estado de Nuevo León. Aguascalientes, Ags. México, D.F. p-450.
- INEGI. 1997. Anuario Estadístico del Estado de Oaxaca. Aguascalientes, Ags. México, D.F. p-856.
- INEGI. 1997. Anuario Estadístico del Estado de Puebla. Aguascalientes, Ags. México, D.F. p-672.
- INEGI. 1997. Anuario Estadístico del Estado de Querétaro. Aguascalientes, Ags. México, D.F. p-404.
- INEGI. 1997. Anuario Estadístico del Estado de Sinaloa. Aguascalientes, Ags. México, D.F. p-402.
- INEGI. 1997. Anuario Estadístico del Estado de Sonora. Aguascalientes, Ags. México, D.F. p-440.
- INEGI. 1997. Anuario Estadístico del Estado de Tamaulipas. Aguascalientes, Ags. México, D.F. p-500.
- INEGI. 1997. Anuario Estadístico del Estado de Tlaxcala. Aguascalientes, Ags. México, D.F. p-524.
- JHORAR O., P., et al 1992. A Biometeorological Model For forecasting Karnal Bunt, Disease of wheat. Plant Disease Research 7(2):204-209.
- JOSHI L., M. SINGH D., V. SRIVASTANA K., D. 1983. Karnal Bunt a minor Disease tha is now a threat to what. The Botanical Review 49(4) 309-330.

- KAROW R., SMILEY, D., 1997. Karnal Bunt.
<http://www.ccs.orst.edu/crops/cereals/>
- KRANZ J., 1990. Epidemics of plant Disease. Ecological Studies, vol. 13. Berlin, Germany. P-268.
- KRISHNA A., SINGH R., H. 1982. Effect of physical factors and chemicals on the teliospore germination of *Neovossia indica*. Indian Pathology 35(3) 448-455.
- KUMAR J., NAGARAJAN, S. 1998. Role of flag leaf and spike emergence stage on the incidence of Karnal Bunt, in Wheat. Plant Disease 82: 1368-1370.
- MERONUCK R., A. 1997. Vomitoxin, Karnal Bunt and Beyond. Whats Ailing wheat: Proceedings of GEAPS p-6.
- MILROY N., N., PAULITZ T. 1995. Karnal Bunt Disease a Pest Risk Assesment Report. Agriculture Canadá. P-73.
- MORA A., G. 1996. Apuntes del curso de Epidemiología Agrícola. IFIT, Colegio de Posgraduados, Montecillos, Mex.
- NAGARAJAN S. 1991. Epidemiology of Karnal Bunt of wheat Incited by *Neovossia indica* and an attempt to develop a Disease Prediction System. Wheat Special Report No. 4 p-69.
- NAGARAJAN S., et al. 1997. Karnal Bunt (*Tilletia indica*) of wheat- a review. Plant Pathology. 76(12).01-08.
- OIRSA. 1995. Norma Centroamericana para Análisis de Riesgo de Plagas. San Salvador. C. A. P-21.
- PEDROZA S., A. 1997. La Estadística Aplicada a la Fitopatología, V Reunión de la Red Internacional de Biometría para Centro América, El Caribe, Colombia, y Venezuela, Xalapa, Ver. México, p-104.

- PERRING T., 1997. Karnal Bunt: Risk assesment. Riverside California, E.U.A. p-4.
- ROMERO C., S. 1994. Hongos Fitopatógenos. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México, p-347.
- SAGAR. 1998. Proceso de Análisis de Riesgo de Plagas para México. Dirección General de Sanidad Vegetal. México, D.F. p-17.
- SALAZAR F., H. et al 1989. Evaluación de seis genotipos de trigo al carbón parcial causado por *Tilletia indica* Mitra. Memorias del XVI Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Fitopatología, Montecillos, Texcoco, Méx.,
- SALAZAR F., H., et al. 1989. Modificación de una técnica de inoculación para el carbón parcial (*Tilletia indica* Mitra) en trigo. Memorias del XVI Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Fitopatología. Montecillos, Texcoco, Méx.,
- SARH. 1992. Guía Fitosanitaria para el cultivo del trigo. Serie sanidad Vegetal. Sistema producto trigo, México D. F. P-287.
- SCHALL R., A. 1994. Karnal Bunt; the Risk to the American. Wheat crop p-28.
- SEQUEIRA R., A., 1997. Karnal Bunt- Risk Assesment. An integrated approach to assesing Suscetibility Regions. USDA- APHIS-PPQ. E.U.A. P-40.
- SINGH R., A., ASHOK K., 1982. Susceptible stage for inoculation and effect of Karnal Bunt on viability of wheat seed. Indian Phytopathology 35(1) 54-56.
- SMILANICK J., L. HOFFMANN, ROGER M., H. 1985. Effect of temperature, Ph, Ligh and desication on teliospore Germination of *tilletia indica*. Ecology and Epidemiology. Phytopathology. 75 (12) 1428-1431.
- SMILANICK J., L., et al. 1986. Germination of teliospores of Karnal Dwarf, and commom Bunt Fungi after ingestion by animals. Plant Disease 70: 242-244.

- SOLORZANO V., E. 1995. Guías fenológicas para cultivos básicos, oleaginosas, sacaríferas, tubérculos y fibras. Universidad autónoma Chapingo, Depto. De Fitotecnia, Chapingo, Méx. P-162.
- STUBBS R., W. PRESCOTT J., M. SAARI E., E. DUBIN H., J. 1986. Cereal Disease Methodology Manual. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, (CIMMYT), México, p-46.
- USDA-APHIS.1996. Karnal Bunt. Afungal Disease of wheat. P-4.
- VILLALPANDO I., J., F., RUIZ, C., J. 1993. Observaciones Agrometeorológicas y su uso en la Agricultura. Editorial Limusa, México, D. F. p-133.
- WARHAM E., J. 1998. Teliospore germination Patterns in *Tilletia indica*. Trans. Mycol. Soc. 90(2) 318-321. Wheat/diseases/Karnal.ht.p-22.
- WIESE M., V.1986. Compendio de enfermedades del trigo. Editorial Hemisferio Sur. Uruguay, p-155.
- WILCOXON R., D. SAARI E., E. 1996. Bunt and Smut Diseases of wheat: Concepts and Methods of Disease Management. CIMMYT, México, p-66.
- ZILLINSKY F., J., 1984. Guía para la identificación de Enfermedades en cereales de grano pequeño. CIMMYT. México, D. F. p-141.