

Protocolo para Proyecto de Investigación 2013

Título del proyecto

IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA Y PRODUCCIÓN DE MAÍZ EN LA COMARCA LAGUNERA.

Introducción

El cambio climático es inducido por las emisiones antrópicas de Gases Efecto Invernadero (GEI) y se perfila junto con las pérdidas de la biodiversidad y la degradación de ecosistemas y de sus servicios ambientales, como el problema ambiental más trascendente del siglo XXI y uno de los mayores desafíos globales que enfrenta la humanidad (CICC, 2007).

El incremento en la temperatura aumentará la evapotranspiración de los cultivos y necesidades de riego en algunos casos. En el norte y noroeste de México la demanda de agua se incrementará, al ser más frecuente el estrés térmico. La distribución de plagas agropecuarias y enfermedades de los cultivos de importancia económica puede variar, la capacidad de control natural y el rendimiento podría disminuir (CICC, 2007).

El contenido de agua en el suelo en la zona radicular es un parámetro clave para muchos aspectos de la agricultura, la hidrología y la meteorología. En la agricultura, el conocimiento del balance hídrico es esencial para una correcta gestión de este recurso que influye en la programación del riego, la productividad de cultivos, y las aplicaciones de agroquímicos entre otros.

Los diferentes modelos pronostican que el período entre siembra y cosecha del maíz coincide con la menor disponibilidad de agua. En la Región Lagunera, el riego es una imperiosa necesidad para obtener rendimientos aceptables. Un manejo de agua adecuado debe garantizar que la evapotranspiración real del cultivo se aproxime lo más posible a la evapotranspiración máxima, determinada por la demanda evaporativa de la atmósfera. El irrigador debe conocer los componentes del balance hídrico (entradas/salidas de agua en la zona de raíces activas) y suministrar el riego que asegure la satisfacción de las necesidades hídricas del cultivo.

La modelación se ha desarrollado basada en un enfoque de análisis mediante procedimientos biológicos y procesos físicos, permitiendo responder preguntas relacionadas con la interacción biológica, genética y fenológica, el manejo de cultivos, el medio ambiente y la rentabilidad, constituyendo una invaluable ayuda a la toma de decisiones sobre las prácticas culturales, la fertilización, riego y uso de plaguicidas. La modelación de los cultivos puede ayudar a los encargados de formular políticas en la predicción de la erosión del suelo, la influencia de los productos agroquímicos sobre el ambiente, los efectos del cambio climático y previsiones de rendimiento (Rojas, 2011).

Es por eso que se requieren técnicas para cambiar la escala de predicciones. Entre estas técnicas se encuentran los llamados modelos de simulación y/o Sistemas de Soporte para Decisión de Transferencia Agrotecnológica (DSSAT); los cuales ofrecen valores de variables meteorológicas, estadísticamente equivalentes a las series históricas del lugar, pero alteradas de acuerdo a los pronósticos del cambio climático.

Objetivos

Estimar el impacto del cambio climático sobre la disponibilidad de agua superficial, balance hídrico regional y rendimiento de maíz bajo riego en la Región Lagunera.

Hipótesis

El cambio climático no afecta la disponibilidad de agua superficial, balance hídrico regional y rendimiento del maíz en la Comarca Lagunera.

Revisión de Literatura

Definición de cambio climático

El calentamiento del sistema climático es inequívoco, así lo evidencian los aumentos observados del promedio mundial de la temperatura del aire y del océano, el deshielo generalizado de nieves y hielos, así como el incremento del promedio mundial del nivel del mar. Para el IPCC, el término del cambio climático denota una modificación en el estado del clima identificable (por ejemplo, mediante análisis estadísticos) a raíz de un cambio en el valor medio y/o en variabilidad de sus propiedades y que persiste durante un periodo prolongado, por lo general cifrado en decenios o lapsos más largos. Dicha concepción del tema denota toda modificación del clima a lo largo del tiempo, tanto si es debido a la vulnerabilidad natural como si es consecuencia de la actividad humana. Este significado difiere del utilizado en la convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático (CMNUCC), que lo describe como un

cambio del clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera mundial y que viene a sumarse a la variabilidad climática natural observada en periodos comparables (Magaña, V. y Galván, L. 2010).

Causas del cambio climático

La variación de las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) y aerosoles en la atmósfera, y las variaciones de la cubierta terrestre y de la radiación solar, alteran el equilibrio energético del sistema climático. Las emisiones mundiales de GEI por efecto de actividades humanas han aumentado, desde la era preindustrial, en un 70% entre 1970 y 2004. Las concentraciones atmosféricas mundiales de CO₂, metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O) han aumentado notablemente por efecto de las actividades humanas desde 1750, y son actualmente muy superiores a los valores preindustriales, determinados a partir de núcleos de hielo que abarcan muchos milenios (IPCC, 2007).

La mayor parte del aumento observado del promedio mundial de temperatura desde mediados del siglo XX se debe muy probablemente al aumento observado de las concentraciones de GEI antropógenos. Es probable que se haya experimentado un calentamiento antropógeno apreciable en los últimos cincuenta años, en promedio para cada continente; exceptuada la región antártica (IPCC, 2007).

Factores que influyen en el cambio climático

El cambio climático está dado por la modificación de los factores atmosféricos y biofísicos. Algunos gases encontrados en la atmósfera regulan el clima debido a que absorben y retienen el calor del Sol, de tal forma que un aumento o disminución en sus concentraciones es determinante para que la temperatura se incremente. Algunos de estos gases son conocidos como gases de efecto invernadero y entre ellos están el carbono (CO₂), óxidos de nitrógeno (N_xO_y), ozono (O₃) y metano (CH₄). Estos gases naturalmente se encuentran en la atmósfera. Sin embargo, algunas actividades humanas, como la agricultura extensiva, la deforestación y el uso excesivo de combustibles fósiles como la gasolina y el diesel, han promovido la generación y liberación de estos gases en grandes cantidades (Magaña, 2005).

Impacto del cambio climático en la agricultura

La alteración de los patrones climáticos afectará indudablemente la producción y la productividad agrícola de diferentes maneras, dependiendo de los tipos de prácticas agrícolas, sistemas y período de producción, cultivos, variedades y zonas de impacto (Villalobos, R. y Retana, J. 1999).

Villalobos, R. y Retana, J. 1999 dicen que los principales efectos directos derivados de las variaciones en la temperatura y precipitación principalmente, serían la duración de los ciclos de cultivo, alteraciones fisiológicas por exposición a temperaturas fuera del umbral permitido, deficiencias hídricas y respuesta a nuevas concentraciones de CO₂ atmosférico. Algunos efectos indirectos de los cambios esperados se producirían en las poblaciones de parásitos, plagas y enfermedades (migración, concentración, flujos poblacionales, incidencias, etc.) disponibilidad de nutrientes en el suelo y planificación agrícola (fechas de siembra, laboreo, mercadeo, etc.)

Disponibilidad de agua en la comarca lagunera

Las condiciones geográficas hostiles de la región, son resultado de un clima arido-semiarido, con fuertes variaciones estacionales y precipitaciones pluviales escasas, concentrada en los meses de julio, agosto y septiembre; variando de los 200 mm. anuales en la parte baja de la cuenca, donde se localiza la mayor parte de la zona agrícola, hasta los 600 mm. en la parte alta de la cuenca, ubicada en la sierra madre occidental, que es donde ocurren las precipitaciones más significativas las cuales generan los escurrimientos superficiales que se utilizan la sustentabilidad para el riego agrícola en la Comarca Lagunera (Cervantes, M. y Franco, A. 2006).

La subregión comarca lagunera- parras, hidrológicamente está integrada por la cuenca media- baja de los ríos Nazas y Aguanaval, incluyendo la zona de descarga hacia las lagunas de Mayran y Viesca. Las cuencas de los ríos Nazas y Aguanaval captan el agua de pequeñas corriente intermitentes que descargan en las lagunas de Mayran y Viesca. El escurrimiento es de 223 hm³/año dados los compromisos de uso del agua y las perdidas por infiltración y evaporación, no se tiene disponibilidad. Sin embargo los volúmenes de escurrimiento del río Nazas, han dado origen a la construcción de importante infraestructura hidroagícola: las presas de almacenamiento Francisco Zarco, Lázaro Cárdenas y 51 de derivación para abastecer al distrito de riego 017 Región lagunera (Cervantes, M. y Franco, A. 2006).

Simulación computarizada.

La simulación computarizada ha sido una de las técnicas disponibles para estudiar procesos dentro de la física o ingeniería desde la década de los 40, habiendo constituido uno de los primeros usos de la computadora digital electrónica (Burks y Burks, 1981).

Modelos de simulación como herramienta en la toma de decisiones en la transferencia de tecnología e la agricultura.

Los modelos de simulación de cultivos tienen varias aplicaciones actuales y potenciales en respuesta a temas relacionados con investigación, manejo de cultivo y planificación. Los modelos pueden ayudar a la comprensión de las interacciones genético-fisiológico-ambiental, con una integración interdisciplinaria. Permiten definir estrategias de

producción en la etapa de planificación de un cultivo futuro o bien ayudar a tomar decisiones técnicas durante el ciclo del cultivo tales como: prácticas culturales, fertilización, irrigación y usos de pesticidas (Boote et al., 1996).

Decisiones de transferencia de Sistema de apoyo para transferencia de agrotecnología (DSSAT).

Desde 1983, un grupo internacional de científicos cooperantes han desarrollado modelos de simulación de cultivos enfocados a proporcionar estimaciones realistas del comportamiento de los cultivos bajo diferentes estrategias del manejo y condiciones ambientales. Modelos que utilizan un juego estándar de datos de acceso (inputs) y producen un juego estándar de datos de salida (outputs), aun cuando describen los procesos de crecimiento de diferentes maneras; todos utilizan los mismos procedimientos para simular los procesos de suelo, agua y nitrógeno (Jones et al., 1994; Bowen et al., 1998; Jones et al., 1998). Estos modelos se han combinado en un paquete, como parte de un programa de enlaces (software Shell) conocido como Sistema de Apoyo para Decisiones de Transferencia de Agrotecnología (DSSAT por sus siglas en inglés).

El DSSAT permite que los usuarios puedan acceder, organizar y almacenar datos sobre cultivos, suelo, clima y continuamente. La versión del DSSAT puesta en circulación (versión 4) contiene versiones mejoradas de los modelos anteriores, un programa para el manejo de archivos de clima así como mejores programas de análisis, incluyendo la capacidad para simular y analizar rotación de cultivos de largo plazo (Tsuiji et al., 1994; Bowen et al. 1998; Jones et al., 1998). La aplicación potencial de los modelos del DSSAT, la manera en que los procesos son simulados, así como los requerimientos de acceso de datos para correr los módulos son cubiertos en los programas de entrenamiento conducidos anualmente por los creadores de los modelos (Tsuiji., 1998).

El modelo de sistemas de cultivos DSSAT.

Las necesidades de información para la toma de decisiones en la agricultura en todos los niveles se están incrementando rápidamente debido al incremento en la demanda por productos agrícolas incremento las presiones sobre el suelo, agua y otros recursos naturales. La generación de nuevos datos de los métodos de investigación agrícola tradicional y su aplicación no son suficientes para solventar el incremento de necesidades. Los experimentos económicos tradicionales se conducen en un punto en particular en tiempo y espacio, haciendo los resultados específicos del sitio y de la estación, consumidores de tiempo y caros. A menos de que nueva información y resultados de investigación sean puestos en formatos que son relevantes y fácilmente accesibles, ellos no podrán ser usados efectivamente.

Simulación del crecimiento de los cultivos a niveles crecientes de complejidad con DSSAT.

Los modelos del DSSAT son capaces de simular resultados a medida que se incrementa el nivel de complejidad. Los más simples o de primer nivel asumen que el crecimiento está limitado solamente por la cantidad de radiación solar, temperatura y el potencial genético; asumiendo que el agua y nutrientes no son limitaciones. La simulación a este nivel proporciona una estimación del rendimiento potencial. El segundo nivel asume que el desarrollo del cultivo puede ser limitado por la disponibilidad del agua; pero los nutrientes no son limitaciones. El tercer nivel incluye la disponibilidad de nitrógeno como una posible limitación; mientras que el cuarto nivel incluye la disponibilidad de fósforo, además de las restricciones de los niveles anteriores (Hunt y Boote, 1998).

Los sistemas agrícolas y la simulación con DSSAT.

Un sistema de producción agrícola se constituye de una serie de componentes o procesos, llamados subsistemas, los cuales destacan su propia conducta, y reaccionan en sus formas particulares a los diferentes estímulos de su medio ambiente. Tales subsistemas pueden interactuar el uno con el otro de tal forma que no sea sencillo poder predecir el comportamiento del sistema entero dadas ciertas condiciones iniciales. Es decir que estos son sistemas complejos por definición (hunt y boote, 1998).

Procedimiento Experimental

El estudio se realizara en la U.A.A.N U.L en el municipio de Torreón, ubicado en la parte oeste del sur del estado de Coahuila, en las coordenadas 103° 26'33" longitud oeste y 25° 32' 40" latitud norte, a una altura de 1,120 metros sobre el nivel del mar. El clima en el municipio es de subtipos secos semiáridos; la temperatura media anual es de 20 a 22°C y la precipitación media anual se encuentra en el rango de los 260 mm, con régimen de lluvia en los meses de junio a octubre; viento predominante tiene dirección sur con velocidad de 27 a 44 km/h.

Para lograr los objetivos del presente trabajo se establecerán dos experimentos con tres fechas de siembra cada uno, se evaluara diferente aplicación de riegos en base a la demanda evaporativa con la finalidad de observar su efecto sobre la producción de maíz en la Comarca Lagunera. Los experimentos se establecerán en Primavera y Verano del año 2014 en tierra húmeda. La fertilización se realizara de la siguiente manera, se aplicara a la siembra una dosis de fertilización de 120-80-00 de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) respectivamente, y en el primer auxilio se aplicara una segunda dosis de nitrógeno de 80 unidades, las fuentes de fertilizante serán Urea y MAP.

Los tratamientos se presentan en los cuadros E1, E2 y se distribuirán en un diseño en bloques al azar con cuatro repeticiones cada uno, la unidad experimental será de 75 m², la parcela útil serán los dos surcos centrales de ocho

producción en la etapa de planificación de un cultivo futuro o bien ayudar a tomar decisiones técnicas durante el ciclo del cultivo tales como: prácticas culturales, fertilización, irrigación y usos de pesticidas (Boote et al., 1996).

Decisiones de transferencia de Sistema de apoyo para transferencia de agrotecnología (DSSAT).

Desde 1983, un grupo internacional de científicos cooperantes han desarrollado modelos de simulación de cultivos enfocados a proporcionar estimaciones realistas del comportamiento de los cultivos bajo diferentes estrategias del manejo y condiciones ambientales. Modelos que utilizan un juego estándar de datos de acceso (inputs) y producen un juego estándar de datos de salida (outputs), aun cuando describen los procesos de crecimiento de diferentes maneras; todos utilizan los mismos procedimientos para simular los procesos de suelo, agua y nitrógeno (Jones et al., 1994; Bowen et al., 1998; Jones et al., 1998). Estos modelos se han combinado en un paquete, como parte de un programa de enlaces (software Shell) conocido como Sistema de Apoyo para Decisiones de Transferencia de Agrotecnología (DSSAT por sus siglas en inglés).

El DSSAT permite que los usuarios puedan acceder, organizar y almacenar datos sobre cultivos, suelo, clima y continuamente. La versión del DSSAT puesta en circulación (versión 4) contiene versiones mejoradas de los modelos anteriores, un programa para el manejo de archivos de clima así como mejores programas de análisis, incluyendo la capacidad para simular y analizar rotación de cultivos de largo plazo (Tsuji et al., 1994; Bowen et al. 1998; Jones et al., 1998). La aplicación potencial de los modelos del DSSAT, la manera en que los procesos son simulados, así como lo requerimientos de acceso de datos para correr los módulos son cubiertos en los programas de entrenamiento conducidos anualmente por los creadores de los modelos (Tsuji., 1998).

El modelo de sistemas de cultivos DSSAT.

Las necesidades de información para la toma de decisiones en la agricultura en todos los niveles se están incrementando rápidamente debido al incremento en la demanda por productos agrícolas incremento las presiones sobre el suelo, agua y otros recursos naturales. La generación de nuevos datos de los métodos de investigación agrícola tradicional y su aplicación no son suficientes para solventar el incremento de necesidades. Los experimentos económicos tradicionales se conducen en un punto en particular en tiempo y espacio, haciendo los resultados específicos del sitio y de la estación, consumidores de tiempo y caros. A menos de que nueva información y resultados de investigación sean puestos en formatos que son relevantes y fácilmente accesibles, ellos no podrán ser usados efectivamente.

Simulación del crecimiento de los cultivos a niveles crecientes de complejidad con DSSAT.

Los modelos del DSSAT son capaces de simular resultados a medida que se incrementa el nivel de complejidad. Los más simples o de primer nivel asumen que el crecimiento está limitado solamente por la cantidad de radiación solar, temperatura y el potencial genético; asumiendo que el agua y nutrientes no son limitaciones. La simulación a este nivel proporciona una estimación del rendimiento potencial. El segundo nivel asume que el desarrollo del cultivo puede ser limitado por la disponibilidad del agua; pero los nutrientes no son limitaciones. El tercer nivel incluye la disponibilidad de nitrógeno como una posible limitación; mientras que el cuarto nivel incluye la disponibilidad de fósforo, además de las restricciones de los niveles anteriores (Hunt y Boote, 1998).

Los sistemas agrícolas y la simulación con DSSAT.

Un sistema de producción agrícola se constituye de una serie de componentes o procesos, llamados subsistemas, los cuales destacan su propia conducta, y reaccionan en sus formas particulares a los diferentes estímulos de su medio ambiente. Tales subsistemas pueden interactuar el uno con el otro de tal forma que no sea sencillo poder predecir el comportamiento del sistema entero dadas ciertas condiciones iniciales. Es decir que estos son sistemas complejos por definición (Hunt y Boote, 1998).

Procedimiento Experimental

El estudio se realizara en la U.A.A.N U.L en el municipio de Torreón, ubicado en la parte oeste del sur del estado de Coahuila, en las coordenadas 103° 26'33" longitud oeste y 25° 32' 40" latitud norte, a una altura de 1,120 metros sobre el nivel del mar. El clima en el municipio es de subtipos secos semiáridos; la temperatura media anual es de 20 a 22°C y la precipitación media anual se encuentra en el rango de los 260 mm, con régimen de lluvia en los meses de junio a octubre; viento predominante tiene dirección sur con velocidad de 27 a 44 km/h.

Para lograr los objetivos del presente trabajo se establecerán dos experimentos con tres fechas de siembra cada uno, se evaluara diferente aplicación de riegos en base a la demanda evaporativa con la finalidad de observar su efecto sobre la producción de maíz en la Comarca Lagunera. Los experimentos se establecerán en Primavera y Verano del año 2014 en tierra húmeda. La fertilización se realizara de la siguiente manera, se aplicara a la siembra una dosis de fertilización de 120-80-00 de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) respectivamente, y en el primer auxilio se aplicara una segunda dosis de nitrógeno de 80 unidades, las fuentes de fertilizante serán Urea y MAP.

Los tratamientos se presentan en los cuadros E1, E2 y se distribuirán en un diseño en bloques al azar con cuatro repeticiones cada uno, la unidad experimental será de 75 m², la parcela útil serán los dos surcos centrales de ocho

metros de longitud eliminando un metro en cada orilla para cosechar plantas de competencia completa. Los tratamientos se diseñaran de la siguiente manera: T1 aplicar los riego al 100 % de la demanda evaporativa regional, T2 al 80% y T3 al 70%. En los cuadros E1 y E2 se presentan de manera detallada los calendarios de riego que se estudiaran en cada ciclo de estudio.

Experimento 1

15 Febrero			01 Marzo			15 Marzo		
T1	T3	T2	T1	T3	T2	T1	T3	T2
T3	T2	T1	T3	T2	T1	T3	T2	T1
T2	T1	T3	T2	T1	T3	T2	T1	T3
T3	T2	T1	T3	T2	T1	T3	T2	T1

Cuadro E1

Experimento 2

15 Junio			01 Julio			15 Julio		
T1	T3	T2	T1	T3	T2	T1	T3	T2
T3	T2	T1	T3	T2	T1	T3	T2	T1
T2	T1	T3	T2	T1	T3	T2	T1	T3
T3	T2	T1	T3	T2	T1	T3	T2	T1

Cuadro E2

La densidad de siembra será para obtener una población entre 90 a 100 mil plantas por hectárea (9 semillas por metro). En cada riego de auxilio se medirá el agua con un aforador tipo parshall.

La cosecha se realizara cuando el cultivo en cada tratamiento alcance la etapa de desarrollo conocida como un tercio de la línea de leche, al momento de corte de cada tratamiento se evaluara la producción de forraje verde y se tomaran muestras para determinar el porcentaje de materia seca, calculando la producción de forraje seco. Se tomara una muestra de cinco plantas por parcela útil, se separaran en tallos y mazorcas para determinar su distribución de materia seca en estos órganos, dichas muestras se secaran en una estufa a 65°C por 72 horas hasta alcanzar peso constante. Para estimar el Balance Hídrico emplearemos cálculos que realizaremos manualmente.

Con el DSSAT simularemos el crecimiento, desarrollo y rendimiento del cultivo creciendo sobre un área uniforme de suelo bajo manejo prescrito o simulado así como los cambios en la solución del balance hídrico en el suelo que tiene lugar bajo el sistema de cultivo a través del tiempo.

Los módulos primarios son el clima, suelo, planta, la interface suelo-planta-atmósfera y los componentes de manejo. Colectivamente estos componentes describen los cambios a través del tiempo en suelo y planta los cuales ocurren en una unidad simple de terreno como respuesta al clima y manejo.

El DSSAT abarca datos en el sitio donde el modelo está siendo operado, el clima diario, la precipitación durante el ciclo, características del suelo en el inicio del ciclo de desarrollo o secuencia del cultivo, y manejo del cultivo (índice de siembra, aplicaciones de fertilización, riego).

Requiere datos de clima abarcando archivos diarios de la radiación solar total incidente en la máxima cobertura, temperatura máxima, mínima, el aire sobre el cultivo y precipitación.

La información básica para la conformación de la base de clima se obtendrán de la estación meteorológica del INIFAP campo Laguna, donde los datos de temperatura máxima, mínima, precipitación, y radiación se calcularan con la ecuación de (Hargreaves y Markley, 2000), y se ordenaran en Excel. En lo que corresponde a la base de datos del suelo estos serán tomados del análisis del suelo del experimento.

Los datos del experimento que se utilizaran para la calibración y validación del (DSSAT) será ubicación del experimento, Siembra, manejo del cultivo (índice de siembra, aplicaciones de fertilización, riego) y cosecha.

Las estrategias de estudio serán tomadas del INIFAP campo experimental laguna (folleto técnico Núm. 13, 2006)

La información se analizara mediante el análisis de varianza con el programa SAS 9.2 con los procedimientos de GLM

y comparación múltiple de medias.

Cronograma de actividades.

Actividad a realizar 2013 - 2015	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Protocolo de Investigación											X	
Documentación de la Investigación	X	X	X									X
Experimentos en campo		X	X	X	X		X	X	X	X		
Evaluación de resultados de campo					X	X	X	X	X	X	X	
Calibración del modelo								X	X	X		
Validación del modelo										X	X	X
Análisis de escenarios	X	X	X									
Presentación de resultados y tesis						X	X	X	X			

5.-Productos esperados

Dos artículos indexados para publicar, una presentación en congreso nacional y una tesis de maestría.

6.-Literatura citada

- Boote K. J., Jones J. W., and N. B. Pickering. 1996. Potential uses and limitations of crop models. *Agronomy journal*. 98:704-716.
- Bowen W. T., P. K. Thornton., and G. Hoogenboom. 1998. The simulation of cropping sequences using DSSAT. Pp. 317-331. In G. Y. Tsuji., G. Hoogenboom., and P. K. Thornton., (eds) *Understanding options for agricultural production*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht
- Burks A. W., and A. R. Burks. 1981. The ENIAC: First general-purpose electronic computer. *Ann. Of the history of computing* 3:310-399.
- Cervantes, M. y Franco, A. 2006. Diagnóstico ambiental de la comarca lagunera. Colegio de geografía. Facultad de filosofía y letras UNAM. , México, D.F. Pág. 12
- CICC, 2007. Estrategia nacional de cambio climático. Agricultura y ganadería. México, D.F. pág. 22 y 128
- Guereña, A., Ruiz-Ramos, M., Díaz-Ambrona, C.H., Conde, J.R. & M.I. Minués. 2001. Assessment of climate change and agriculture in Spain using climate models. *Agron. J.* 93:237-249.
- Hargreaves, G. H. and G. P. Merkle. 2000. *Fundamentos del riego. Un texto de tecnología aplicada para la enseñanza de riego a nivel intermedio*. Wáter Resouses Publications, LLC. P 3.
- Hunt L. A. and K. J. Boote. 1998. Data for model operation, calibration, and evaluation. p. 9-41. In G. Y. Tsuji, G. Hoogenboom, and P. K. Thornton (eds.) *Understanding options for agricultural production*. Kluwer academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands.
- Hunt L. A., White J. W., and Hoogenboom G. 2001. Agronomic data: advances in documentation and protocols for exchange and use. *Agricultural Systems* 70: 477-492.
- IPCC, 2007: Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 págs.

- IPCC, 2000: Impacts, Adaptations and mitigation of climate change: Scientific-Technical analysis. Cambridge University Press.,879.
- Jones J. W., L.A. Hunt., Hoogenboom D. C., Godwin u., Singh G. Y., Tsuji N. P., Pikeri P.K., Thornton W. T., Bowen K. J., Boote and J. T. Ritchie. 1994. Input and output files. P. in DSSAT v3 vol 2-1. G. Y. Tsuji G., Uehara and S. Balas. Honolulu, University of Hawaii.
- Jones J. W., Tsuji G. Y., hoogenboom G., hunt L. A., thornton P. K., Wilkens P. W., Imamura D. T., Bowen W. T., and Singh U. 1998. Decision support system for agrotechnology transfer; DSSAT v3. In: Tsuji G. Y., Hoogenboom, G., Thornton p. K. (Eds.), Understanding options for agricultural production. Kluwer academic publishers, Dordrecht, the Netherlands, pp: 157-177.
- Magaña, V. y Galván, L. 2010. Detección y atribución de cambio climático a escala regional. Realidad, datos y espacio. Revista internacional de estadística y geografía. Año 1 número 1, noviembre 2010. pág. 75
- Ritchie J. T. 1972. Model for predicting evaporation from a row crop with incomplete cover. Water Resources Research 8: 1204-1213
- Rojas E. 2011. Evaluación del desarrollo del cultivo de papa bajo escenarios de variabilidad climática interanual y cambio climático, en el sur oeste de la Sabana de Bogotá. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de ciencias, Departamento de Geociencias Bogotá D.C.
- Sawchik J. 1996. Vulnerabilidad y adaptación del maíz al cambio climático en el Uruguay. Pag. 11. <http://www.simulaciondelareafoliarconelmodelocers.mht>
- Semenov, M.A. y P.D. Jamieson, 2000. Using weather generators in crop modeling. In Sivakumar, M.V.K. (Ed.) Climate Prediction and Agriculture, Proceedings of the START/WMO International Workshop held in Geneva, Switzerland, 27-29 September 1999, Washington D.C. USA, International START Secretariat. p. 119-142.
- Sivakumar, M.V.K. (ed.) 2000. Climate Prediction and Agriculture. Proceedings of the START/WMO International Workshop held in Geneva, Switzerland, 27-29 September 1999. Washington D.C., USA. International START Secretariat.
- CICC, 2007. Estrategia nacional de cambio climático. Agricultura y ganadería. México, D.F. pág. 22 y 128
- Tsuji G. Y., Uehara G., and Balas s. 1994 (Eds.), decision support system for agrotechnology transfer (DSSAT) versión 3. University of Hawaii, Honolulu, Hawaii.
- Tsuji G. Y. 1998. Network management and information dissemination for agrotechnology transfer. In: Tsuji, G. Y., Hoogenboom. G., Thornton, P. K. (Eds.), Understanding Options for Agricultural Production. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp: 367-381.
- Villalobos, R. y Retana, J. 1999. Efecto del cambio climático en la agricultura. Gestion de desarrollo, Instituto meteorológico nacional. Apartado 7-3350-1000 San José, Costa Rica. Pag. 367-369.
- Olesen, J.E. & B. Hindi. 2002. Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use and policy. European J. Agronomy. 16:239-262