

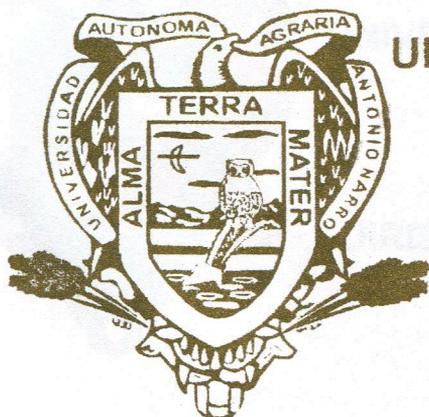
**IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LA
DISPONIBILIDAD DE AGUA Y PRODUCCIÓN DE MAÍZ EN LA
COMARCA LAGUNERA.**

AUDELIN ERNESTO ROBLERO CORTEZ

TESIS

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

MAESTRO EN CIENCIAS AGRARIAS



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO**

**UNIDAD LAGUNA
DIRECCIÓN DE POSTGRADO**

Asesor: Ph.D. VICENTE DE PAUL ALVAREZ REYNA

Torreón, Coahuila, México

Diciembre de 2009

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

AUDELIN ERNESTO ROBLERO CORTEZ

TESIS

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

MAESTRO EN CIENCIAS AGRARIAS



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO**

**UNIDAD LAGUNA
DIRECCIÓN DE POSTGRADO**

Asesor: Ph.D. VICENTE DE PAUL ALVAREZ REYNA

Torreón, Coahuila, México. Diciembre del 2009.

002153

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO

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

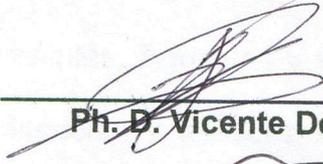
TESIS
POR

AUDELIN ERNESTO ROBLERO CORTEZ

Elaborado bajo la supervisión del comité particular de asesoría y
aprobada como requisito parcial para obtener el grado de:

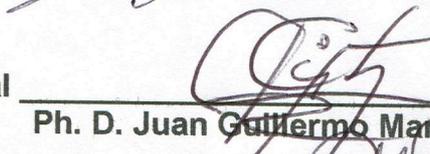
MAESTRO EN CIENCIAS AGRARIAS

Asesor principal



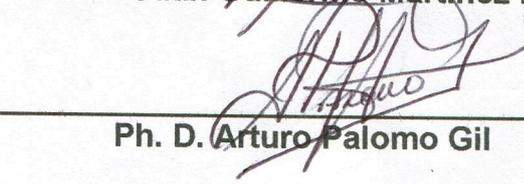
Ph. D. Vicente De Paul Alvarez Reyna

Coasesor principal



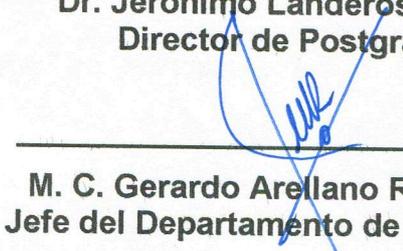
Ph. D. Juan Gutierrez Martinez Rodriguez

Asesor



Ph. D. Arturo Palomo Gil

Dr. Jerónimo Landeros Flores
Director de Postgrado



M. C. Gerardo Arellano Rodriguez
Jefe del Departamento de Postgrado

Torreón, Coahuila, México. Diciembre del 2009.

El presente trabajo de investigación se realizó en las instalaciones del Campo Experimental la Laguna (CELALA), del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), en Matamoros, Coahuila, bajo la dirección y asesoría del Ph.D. Juan Guillermo Martínez Rodríguez.

A mis padres

Celso y Elsa, por haberme dado la vida, quienes han sido un ejemplo a seguir, por todos los esfuerzos y sacrificios que han hecho en el trayecto de mi formación profesional, culminando el anhelo que siempre tuvieron en mente para mí, dándome de herencia una profesión.

A Dios

Quien ha sido generoso durante toda mi vida, que en los momentos más difíciles por los cuales e pasado, jamás me ha dejado solo, estando a mi lado en cada momento de mí existir y por permitirme llegar a culminar una meta más en mi vida.

A mi novia

Rosa Isela, por su gran amor, la confianza que ha depositado en mí, su apoyo y comprensión, dándome aliento de continuar adelante, sobre todo por estar presente en los momentos más difíciles de mi vida...

A los Ph.D.

Juan Guillermo Martínez Rodríguez y Vicente de Paul Alvarez Reyna, por haberme brindado su amistad incondicional, ya que a lo largo de varios años fui su tesista tanto como de licenciatura y maestría; quienes compartieron parte de su enseñanza y experiencia, las cuales fueron fundamentales en mi formación profesional.

AGRADECIMIENTOS

A MIS PADRES. Por haber depositado toda la confianza en mi y su apoyo incondicional durante el recorrido largo pero anhelado de mi formación.

A DIOS. Por darme el entendimiento, paciencia y sabiduría para salir adelante en todos las metas que me e fijado.

A MI ALMA MATER. Institución que me adopto, permitiéndome formar parte de ella, sobre todo porque mi Alma Mater a sido muy generosa con migo.

AL CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA. Por otorgarme una beca económica, facilitando mi formación y preparación en el ámbito profesional; eternamente agradecido CONACYT...

AL INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES, AGRÍCOLAS Y PECUARIAS. Permitiendo realizar las investigaciones en su campo, que están plasmadas en este documento, en especial al Ph.D. Juan Guillermo investigador del instituto, quien me asesoro en este proyecto, y por brindarme su amistad durante todos estos años.

A MI ASESOR. Ph.D. Vicente de Paul Alvarez Reyna, por haber depositado toda su confianza y brindarme su apoyo.

A LOS INTEGRANTES DEL COMITÉ REVISOR: Ph. D. Vicente de Paúl Álvarez Reyna, Ph.D. Juan Guillermo Martínez Rodríguez y al Ph.D. Arturo Palomo Gil; quienes con su ayuda se hizo posible este trabajo, realizando sugerencias y correcciones.

Al Dr. Gerónimo Landeros Flores; M. C. Gerardo Arellano Rodríguez por haberme bridado su confianza y apoyo incondicional

A todos mis maestros por su valioso tiempo y conocimientos brindados.

A mis amigos y compañeros de Postgrado, por su amistad, comprensión.

COMPENDIO

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

POR

AUDELIN ERNESTO ROBLERO CORTEZ

MAESTRÍA EN CIENCIAS AGRARIAS
EN PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

Torreón, Coahuila, Diciembre del 2009

Ph. D. VICENTE DE PAÚL ÁLVAREZ REYNA – Asesor

Palabras Clave: Calentamiento global, cambio climático, emisiones de gases de efecto de invernadero, Evapotranspiración, Requerimientos hídricos.

Algunos han encontrado una relación entre el calentamiento global con las emisiones de gases a la atmosfera, causando el efecto de invernadero original, por las sociedades industrializadas (Nebel et al., 1999). Esta investigación evaluó el comportamiento de maíz forrajero con respecto a crecimiento, evapotranspiración y estrés hídrico sobre el rendimiento de forraje debido al cambio climático en las últimas décadas en la región lagunera. La temperatura en las áreas más altas y más baja en el periodo analizado de 42 años fueron una máxima de 45 °C y una mínima de -13 °C, la temperatura promedio anual varia de 19.4 °C a 20.68 °C la temperatura Máxima y mínima en el periodo fueron 29.12 y 12.4 °C respectivamente. Los

meses caliente son junio, julio y agostos y los meses más fríos son diciembre y enero.

El estudio fue conducido en la estación experimental de la laguna localizado en el matamoros Coahuila México, la información acerca de las prácticas culturales fueron generadas de parcelas experimentales establecidas en el campo, las cuales son parte de la tecnología disponible para alto rendimiento y calidad nutricional para la producción de maíz, la información acerca de los cultivos regionales y su valor de producción fueron obtenidas de las estadísticas agrícolas de la S.A.G.A.R.P.A región lagunera durante 1990 a 2003. La información del volumen de agua derivado de las presas Lázaro Cárdenas y Francisco Zarco de la base de datos digital BANDAS.

De acuerdo a lo antes mencionado el calentamiento global y su efecto es un problema de interés mundial, actualmente el cambio climático es de gran interés para comunidad científica internacional para su estudio debido a que representa, un riesgo para el futuro de la humanidad.

ABSTRACT

IMPACT OF THE CLIMATIC GLOBAL CHANGE ON THE WATER AVAILABILITY AND CORN PRODUCTION IN THE LAGUNERA REGIÓN

BY

AUDELIN ERNESTO ROBLERO CORTEZ

**MASTER OF SCIENCE
AGRONOMIC PRODUCTION**

Torreón, Coahuila, Diciembre del 2009

Ph. D. VICENTE DE PAUL ALVAREZ REYNA – Advisor

Key words: Global warming, climatic change, gas emission, greenhouse effect, evapotranspiración, water stress.

The climate is changing continuously. The climate change in the last century has been great variation. Its variation affects seriously the planet. The scientist has been looking the causes generating this acceleration. Some have been found a relationship between the global warming with the gas emissions to the atmosphere causing the greenhouse effect originated by the

INDICE

COMPENDIO.....	I
ABSTRACT.....	I
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivos.....	3
1.2 Hipótesis.....	3
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1 Calentamiento global y Cambio climático.....	4
2.1.1 Historia sobre la teoría del calentamiento global.....	5
2.2 Bases teóricas del cambio climático global.....	8
2.3 Causas del cambio climático global (Efecto de invernadero).....	11
2.3.1. Los efectos antropogénicos.....	18
2.4 El cambio climático actual.....	20
2.4.1 Combustibles fósiles y calentamiento global.....	22
2.5 Cambio climático en la producción de los cultivos en México.....	23
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	31
3.1 Descripción del área de estudio.....	31
Datos Requeridos.....	36
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	37
CONCLUSIONES.....	47
5. RESUMEN.....	48
LITERATURA CITADA.....	49

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Predicciones a nivel mundial.....	14
Cuadro 2. Gases responsables del efecto de invernadero natural	16
Cuadro 3. Gases que producen el efecto invernadero.....	17
Cuadro 4. Ejemplo de enfermedades infecciosas y parasitarias cuya epidemiología puede verse afectado en España por el cambio climático	22
Cuadro 5. Caracterización de los productos analizados, 2006.	30
Cuadro 6. Parámetros de desarrollo del cultivo de maíz forrajeros bajo diferentes ambientes climáticos.....	47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Evolución de la temperatura del hemisferio durante el último milenio. El área envolvente gris corresponde al intervalo de confianza del 95% de los datos.....	11
Figura 2. Evolución de la temperatura media mundial desde 1860.....	12
Figura 3. Representación del balance energético mundial expresado en (W.m-2). ..	15
Figura 4. Evolución del hombre en relación al descubrimiento de combustibles fósiles.....	19
Figura 5. Áreas de cultivo de maíz temporal vulnerables al cambio climático modelo GFDL-R30.....	26
Figura 6. Espacio de amenaza climática.	26
Figura 7. Mapa de la Comarca Lagunera.	31
Figura 8. Temperatura promedio anual de la Comarca Lagunera de Coahuila.....	32
Figura 9. Precipitación total anual promedio de la Comarca Lagunera de Coahuila.	33
Figura 10. Apreciación global de los componentes y estructura modular del DSSAT-CSM.	36
Figura 11. Distribución temporal de la precipitación total anual.	38
Figura 12. Distribución temporal de la temperatura media anual.	39
Figura 13. Distribución temporal de la amplitud térmica anual.....	40
Figura 14. Fluctuación del régimen hídrico en la parte alta de la cuenca.....	41
Figura 15. Patrón de Cultivos Regionales.	42
Figura 16. Patrón de Cultivos Forrajeros.	42
Figura 17. Incremento de superficies sembradas con cultivos forrajeros.....	43
Figura 18. Evapotranspiración real para el cultivo de maíz en la Laguna.	44
Figura 19. Etr acumulado.	45
Figura 20. Requerimientos hídricos estacionales para maíz en dos ambientes contrastantes.	46

1. INTRODUCCIÓN

Parece obvio que cualquier cambio significativo en el clima a escala global debe tener impacto en la agricultura local, y por lo tanto afectar el suministro mundial de alimentos. Alrededor del mundo, se ha realizado una gran cantidad de trabajo para cuantificar cuánto y cómo la agricultura puede ser afectada en diferentes regiones; y si el resultado neto es benéfico o perjudicial. Sin embargo, las proyecciones actuales con respecto a cómo el cambio climático puede afectar la agricultura, presenta incertidumbres, una de ellas es el grado de incremento en la temperatura y su distribución geográfica. Otro tiene que ver con los cambios en los patrones de precipitación que determinan el suministro de agua para los cultivos, y el incremento en la demanda evaporativa debido al clima más caliente. Existe una incertidumbre extra; la respuesta fisiológica de los cultivos al enriquecimiento de la atmosfera con bióxido de carbono. El problema de predecir el curso futuro de la agricultura en un mundo cambiante se complica debido a la complejidad de los sistemas agrícolas y sistemas socioeconómicos que gobiernan la oferta y demanda a nivel mundial.

Por otro lado, la agricultura es fuertemente influenciada por la disponibilidad de agua. El cambio climático modificara procesos como: lluvia, evaporación, escurrimiento y almacenamiento de agua en el suelo. Los cambios en la precipitación estacional total o la variabilidad de sus patrones son muy importantes. La presencia de estrés hídrico en la floración, polinización y llenado de grano es dañina para la mayoría de los cultivos agrícolas y particularmente para maíz, soya y trigo. Un incremento en la evaporación del suelo y una transpiración acelerada en las plantas dará como resultado un estrés hídrico; como resultado habrá necesidad de desarrollar cultivos o variedades con mayor tolerancia a sequía.

Se proyecta que la demanda de agua para irrigación se incrementara en climas calientes, lo cual dará como resultado un incremento en la competencia por agua entre la agricultura y usuarios de áreas urbanas e industriales. La baja en los niveles de los acuíferos asociada al incremento de los costos de energía eléctrica necesaria para bombear el agua, traerá como consecuencia el encarecimiento de la práctica del riego, particularmente cuando en condiciones más secas la cantidad de agua por hectárea se incrementa.

Las demandas máximas de riego también se predice que se incrementarán, debido a ondas de calor más severas. Será necesario invertir en desarrollar nuevas áreas de riego para lo cual se tendrá que invertir en presas, canales de riego y toda la infraestructura hidroeléctrica necesaria para el buen funcionamiento de la red. Finalmente, el incremento en la demanda evaporativa incrementara el peligro de acumulación de sales en el suelo.

La investigación sobre los efectos del cambio climático en cultivos agrícolas y requerimientos hídricos de los cultivos puede ser un proceso muy costoso y a largo plazo. Por lo tanto se requiere el uso de herramientas que permitan conocer, en corto plazo, de manera confiable los posibles efectos que las altas temperaturas y el incremento de los gases efecto invernadero tienen sobre el rendimiento de los cultivos y de la disponibilidad de agua para satisfacer las necesidades agrícolas, urbanas e industriales de las diferentes regiones del país.

Los modelos de simulación de cultivos tienen varias aplicaciones actuales y potenciales en respuesta a temas relacionados con investigación, manejo de cultivos 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 tácticas durante el ciclo del cultivo tales como: prácticas culturales, fertilización, irrigación y uso de pesticidas (Boote *et al.*, 1996).

Como herramienta de planificación permiten cuantificar a través de la predicción el impacto de los procesos de erosión, contaminación por agroquímicos, distintas estrategias ante el cambio climático y el pronóstico de rendimiento a nivel regional (Boote *et al.*, 1996).

1.1 Objetivos

- Analizar las modificaciones climáticas que ha sufrido la Comarca lagunera en los últimos treinta años y su efecto en la demanda hídrica de los cultivos.
- Analizar el comportamiento del maíz forrajero en la Comarca Lagunera y presentar las modificaciones que a nivel local ha tenido con respecto al crecimiento en respuesta al cambio climático.

1.2 Hipótesis

- El rendimiento y crecimiento del maíz forrajero se han visto negativamente afectados en función de la mayor demanda atmosférica por agua.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Calentamiento global y Cambio climático.

El clima siempre ha variado, el problema del cambio climático es que en el último siglo el ritmo de esta variación se ha acelerado de manera anómala, a tal grado que afecta ya al planeta. Al buscar la causa de esta aceleración, algunos científicos encontraron que existe una relación directa entre el calentamiento global o cambio climático y el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), provocado principalmente por las sociedades industrializadas (Nebel et al., 1999).

La comunidad internacional está reaccionando creando el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) en 1988, por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA); grupo constituido por expertos de todo el mundo y su objetivo es dar a conocer a los gobernantes del mundo la información científica, técnica y económica disponible sobre el cambio climático, su impacto y las posibles soluciones (IPCC, 1997).

El IPCC es la Agencia especializada de la Organización de las Naciones Unidas creada para profundizar en el conocimiento sobre el fenómeno del calentamiento global, organismo científico que emite un informe periódico a partir de la información disponible y los avances en la investigación producidos en todo el mundo (Edwards et al., 1997).

Cabe señalar que a la fecha este panel de expertos es la principal fuente de asesoramiento científico y reúne a cerca de tres mil expertos de 150 países. El Primer Informe de Evaluación del IPCC fue publicado en 1990, y formó la base científica para la negociación del Convenio Marco de la

ONU sobre Cambio Climático, que fue concluido en la Cumbre de la Tierra en Río de Janeiro en 1992 (Alfsen et al., 1998).

El Segundo Informe de Evaluación fue publicado en 1995, su conclusión clave fue: "El conjunto de las evidencias sugiere una influencia humana discernible sobre el clima global". El informe fue decisivo en la negociación del Protocolo de Kyoto en diciembre de 1997, el mayor instrumento internacional para enfrentar el calentamiento global (Masood, 1998).

El Protocolo de Kyoto, es un pacto al que llegaron los gobiernos en la Conferencia de las Naciones Unidas celebrada en Kioto, Japón, en 1997, para reducir la cantidad de gases de efecto invernadero emitidos por los países desarrollados en un 5.2 por ciento respecto a los niveles registrados en 1990 durante el periodo comprendido entre 2008 y 2012. Un total de 141 naciones han ratificado el pacto (ONU, 1998).

El antecedente de este protocolo, celebrada en 1992, siendo el primer acuerdo global legalmente vinculado para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. En este encuentro, los líderes crearon la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMCC), que estableció un objetivo de carácter no obligatorio para estabilizar las emisiones a los niveles de 1990 para 2000 (Masood, 1998).

El protocolo de Kyoto vincula de forma legal a los países que lo han ratificado a partir del 16 de febrero de 2005 después de que se han cumplido dos condiciones: el respaldo de al menos 55 países y que estos países representen al menos el 55 por ciento de las emisiones de dióxido de carbono de los países desarrollados. (ONU, 2005).

2.1.1 Historia sobre la teoría del calentamiento global.

Svante Arrhenius (1859-1927) científico Sueco, primero en proclamar en 1896 que los combustibles fósiles podrían dar lugar o acelerar el calentamiento de la tierra, estableciendo una relación entre concentraciones de dióxido de carbono atmosférico y temperatura; determino que la media de la temperatura superficial de la tierra es de 15 °C debido a la capacidad de absorción de la radiación Infrarroja del vapor de agua y el Dióxido de Carbono (denominado "efecto de invernadero natural"). Sugiriendo que una concentración doble de gases de CO₂ provocaría un aumento de temperatura de 5 °C (Maslin, 2004).

Thomas Chamberlin y Arrhenius calcularon que las actividades humanas podrían provocar el aumento de la temperatura mediante la adición de dióxido de carbono a la atmósfera, investigación que se llevo a cabo en la línea de investigación principal sobre el dióxido de carbono podría explicar los procesos de hielo y deshielo (grandes glaciaciones) en la tierra; verificándose en 1987 (Berger, 1982).

En 1940 se produjeron desarrollos en las mediciones de radiaciones de onda larga mediante espectroscopia de Infrarrojo, comprobándose que el aumento del dióxido de carbono en la atmosfera provoca una mayor absorción de radiación Infrarrojo, es decir la adición de dióxido capta la radiación Infrarroja, provocando un sobrecalentamiento de la tierra (Agrawala, 1998).

El argumento que los océanos absorberían la mayoría del dióxido de carbono permanecía intacta, sin embargo, en 1950 se encontró evidencia suficiente que el dióxido de carbono tenía un vida en la atmósfera de 10 años, solo un tercio del CO₂ antropogénico puede ser retenido por los océanos (Benton et al., 1994).

A finales de la década de los 50s y principio de los 60s, Charles Keeling usaba la tecnología más avanzada para producir curvas de concentración de CO₂ atmosférico en la Antártica y Mauna Loa, estas curvas han sido una de las señales y pruebas más grandes sobre el calentamiento de la tierra; mostrando una tendencia de disminución de las temperaturas registradas entre los años 1940 a 1970 (Bryson et al., 1977).

En los años 1980, la curva de temperatura media anual global comienza a aumentar, mostrando aumentos de temperatura tan intensos que la teoría sobre calentamientos global comienza a ganar terreno; la gente comienza a cuestionar la teoría de una edad de hielo (Kingdon, 1984).

Stephen Schneider predijo por primera vez el calentamiento global en el año 1976, convirtiéndolo en el mayor experto y liderazgo en relación al calentamiento global, en la actualidad las Organizaciones No Gubernamentales medio ambientales, comienzan a establecer la necesidad de protección global del medio ambiente para prevenir un calentamiento global de la tierra (Hall et al., 2005).

En 1988 se reconoce finalmente que el clima es más caliente que antes de los 80s (Burgess, 1990). Se reconoció la teoría del efecto invernadero y se estableció el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y Organización Meteorológica Mundial (OMM), con el propósito de predecir el impacto de los gases de efecto invernadero teniendo en cuenta modelos previstos sobre el clima e información bibliográfica (Haas et al., 2001).

El Panel consiste en más de 2500 científicos y expertos técnicos de más de 60 países de todo el mundo. Los científicos pertenecen a distintos campos de investigación como climatología, ecología, economía, medicina y

oceanografía. El IPCC se reconoce como el grupo de cooperación científica pionero más grande de la historia. El IPCC informa sobre el cambio climático mediante informes en 1992 y 1996, y la versión más reciente en 2001 (IPCC, 2001).

Debido a datos no fiables en la información y modelos publicados sobre la teoría de efecto invernadero, origino que el IPCC revisara los datos y relaciones establecidas desde un principio, pero esto no les hizo reaccionar reconsiderando si la tendencia al calentamiento global existe realmente o no. Actualmente es bien sabido que 1998 fue el año más cálido registrado, seguido de 2002, 2003, 2001 y 1997. Los 10 años más calientes han sido registrados desde 1990 (Maslin, 2004).

2.2 Bases teóricas del cambio climático global

En el año 535 D.C. ocurrió uno de los eventos volcánicos más grandes y violentos del Holoceno, en el primer milenio de la era cristiana, estudios en anillos de los árboles (dendrológicos), detectan gran descenso en las temperaturas del año 541 en Europa; otras investigaciones en cilindros de hielo en Groenlandia y en la Antártica indican al 535 como un año con una atmósfera con alto contenido de azufre (Jihong et al., 2006).

Diversos testimonios históricos apuntalan que Cienciorama: La gigantesca explosión, en intervalos del 535-555 comenzó con un significativo oscurecimiento y una repentina e importante disminución de la temperatura mundial que duró hasta el año 900, alcanzando el mínimo con el congelamiento del Mar Negro, entre el 800 y el 801, y del Nilo el año 829 (Fuentes, 2007).

El depósito de nieve ácida entre el 535 y el 540 D.C. fue el doble en la Antártica que en Groenlandia, se tiene como evidencia de que la erupción que oscureció al Sol tuvo lugar en la zona intertropical del hemisferio sur y no en la del norte (Robert et al., 2001).

La erupción del Tierra Blanca Joven (TBJ), en la porción central de El Salvador (13.5 °N, 89.0 °O), fue uno de los eventos volcánicos más grandes del Holoceno en el primer milenio, se cree que fue una explosión volcánica con gran dispersión de sulfato y de partículas sólidas pequeñas inyectando 18×10^6 ton de SO_2 en la estratósfera (Fuentes, 2007).

Para poder comprender el cambio global climático y el aumento de la temperatura global se debe comprender el clima global y cómo opera, el clima es consecuencia del vínculo que existe entre la atmósfera, los océanos, las capas de hielos (criosfera), los organismos vivientes (biosfera) y los suelos, sedimentos y rocas (geosfera) (Miller, 1991).

La atmósfera es uno de los componentes más importantes del clima terrestre, es el presupuesto energético de ella la que primordialmente determina el estado del clima global, por ello es esencial comprender su composición y estructura (GCCIP, 1997).

La composición atmosférica es una mezcla de varios gases y aerosoles (partículas sólidas y líquidas en suspensión), forma el sistema ambiental, entre sus variadas funciones mantiene condiciones aptas para la vida, su composición es sorprendentemente homogénea, resultado de procesos de mezcla, el 50% de la masa está concentrado por debajo de los 5 km. s.n.m. (Becker, 1997).

Los gases más abundantes en la atmósfera son el N_2 y O_2 , a pesar de estar en bajas cantidades, los gases de invernadero cumplen un rol crucial

en la dinámica atmosférica; entre éstos contamos al CO₂, el metano, los óxidos nitrosos, ozono, halocarbonos, aerosoles, etc. debido a su importancia y el rol que juegan en el cambio climático global, requieren de análisis (Houghton, 1997).

Previamente es importante entender que el clima terrestre depende del balance energético entre la radiación solar y la radiación emitida por la Tierra; en esta reirradiación, sumada a la emisión de energía geotectónica, los gases invernadero juegan un rol crucial (WCED, 1990).

Al analizar los gases atmosféricos, incluidos los gases invernadero, es importante identificar las *fuentes*, *reservorios* o *sinks* y el *ciclo de vida* de cada uno de ellos, datos cruciales para controlar la contaminación atmosférica (Houghton, 1992).

Un *reservorio* o *sink*, es un punto o lugar en el cual el gas es removido de la atmósfera, o por reacciones químicas o absorción en otros componentes del sistema climático, incluyendo océanos, hielos y tierra. El *ciclo de vida* denota el periodo promedio que una molécula de contaminante se mantiene en la atmósfera (WMO, 1986).

El aumento de gases invernadero atmosféricos ha incrementado la capacidad que tiene para absorber ondas infrarrojas, aumentando su reforzamiento radiactivo, que aumenta la temperatura superficial. Este fenómeno se mide en watts por metro cuadrado (W/m²) (Lashof, 1997).

Otro gas de invernadero, CH₄, el metano es producido principalmente a través de procesos anaeróbicos tales como los cultivos de arroz o la digestión animal. Es destruida en la baja atmósfera por reacción con radicales hidroxilo libres (-OH). Como el CO₂, sus concentraciones aumentan por acción antropogénica directa e indirecta (Dunn, 1997).

2.3 Causas del cambio climático global (Efecto de invernadero).

El calentamiento global y cambio climático, junto con la búsqueda de un desarrollo sostenible, son los asuntos que producen más reuniones a nivel internacional, reuniendo a líderes políticos, la CMCC; lo define como el cambio originado en el clima directa o indirectamente por la acción del hombre y que se suma a la variabilidad natural del clima (Echarri, 1998).

La temperatura media mundial de la superficie (es decir, el promedio de la temperatura del aire cerca de la superficie de la tierra y de la temperatura de la superficie del mar) ha subido desde 1861. Durante el siglo XX, el aumento ha sido de $0,6 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$. La mayor parte del calentamiento se produjo en el siglo XX y tuvo lugar en dos períodos: de 1910 a 1945 y de 1976 a 2000 (Houghton et al., 2001).

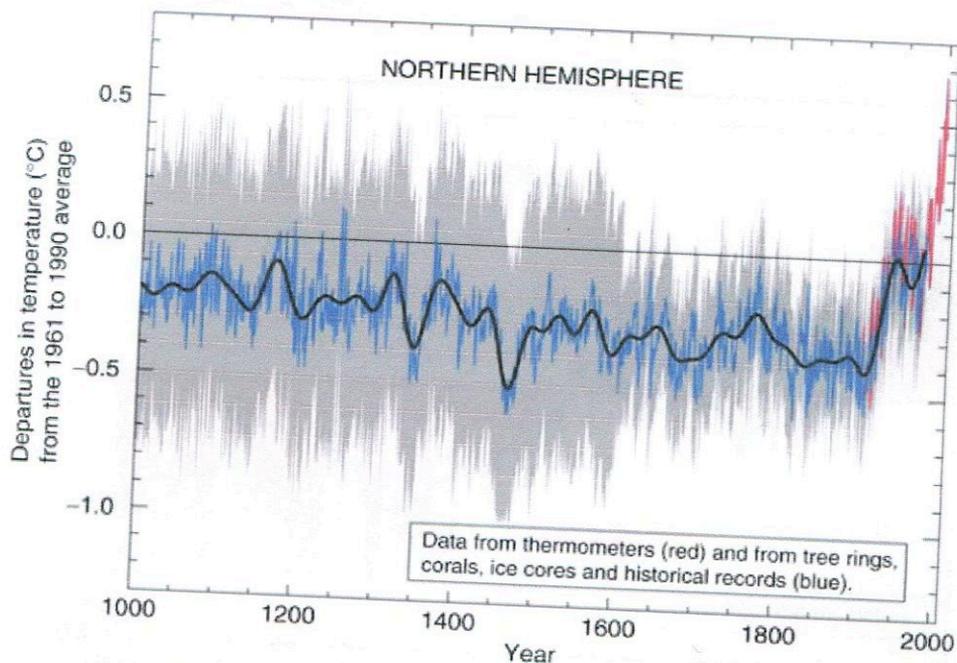


Figura 1. Evolución de la temperatura del hemisferio durante el último milenio. El área envolvente gris corresponde al intervalo de confianza del 95% de los datos.

Fuente: IPCC CLIMATE CHANGE, 2001.

A lo largo más de 4000 millones de vida, la Tierra ha sufrido gran cantidad de cambios climáticos, solamente en los últimos dos millones se han alternado glaciaciones y épocas de clima cálido que han afectado de forma determinante a todas las formas de vida en la Tierra, ha supuesto grandes cambios e incluso la desaparición de ecosistemas enteros, a pesar de que la temperatura media de la Tierra solo ha variado unos cinco o seis grados entre una época climática y otra (Takle, 1997).

Mundialmente, es muy probable que los años noventa hayan sido el decenio más cálido, siendo 1998 el año más cálido en el registro instrumental desde 1861. El aumento de temperatura es más relevante en las temperaturas mínimas que en las máximas, ya que mientras las primeras se han incrementado un promedio de $0,2^{\circ}\text{C}$, las últimas lo han hecho en $0,1^{\circ}\text{C}$. Esto ha alargado la estación sin heladas en muchas regiones de latitudes medias y altas (Maslin, 2004).

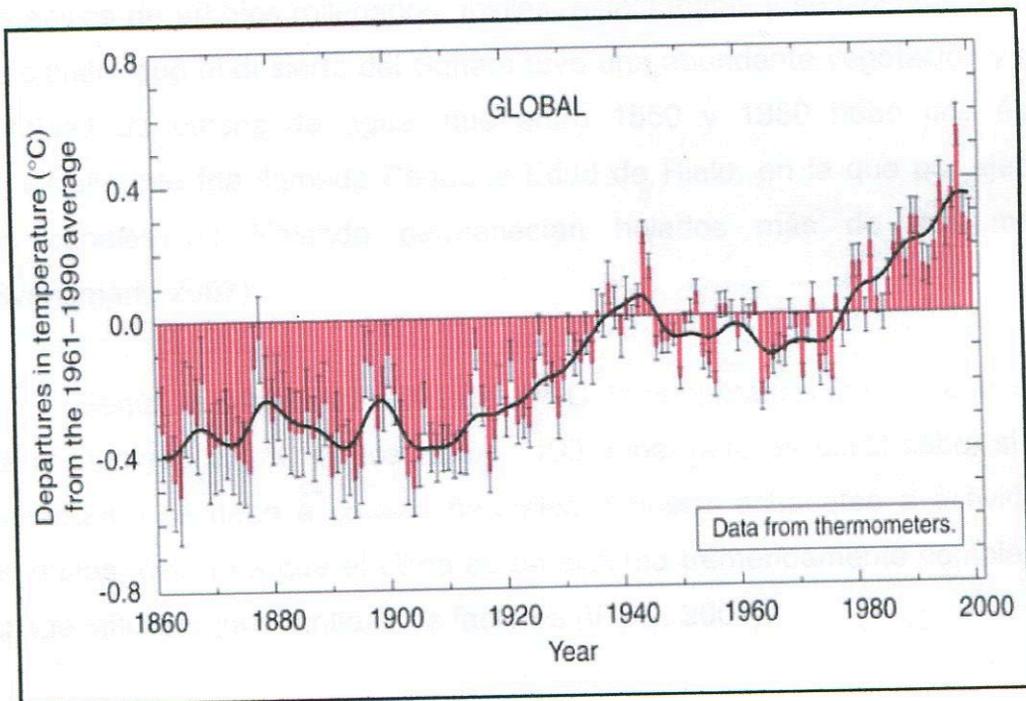


Figura 2. Evolución de la temperatura media mundial desde 1860.

Fuente: IPCC CLIMATE CHANGE, 2001.

Las perturbaciones que provoca el cambio climático son variadas, agrupándose en 4 bloques, de los cuales los dos primeros son de origen natural y los dos segundos son principalmente de origen antropogénico; estos bloques son la actividad solar, erupciones volcánicas, cambios en la concentración atmosférica y los cambios en el albedo. Todas ellas tienen en común que modifican la energía involucrada en el Sistema-Tierra (Watson, 2001).

Los cambios en la actividad solar se deben a que el Sol tiene un ciclo de actividad de 11 años, durante los cuales su actividad es variable, es posible que los cambios climáticos anteriores fueran ocasionados por cambios bruscos en la actividad solar (Working grup I, 2007).

Gracias al estudio del clima de épocas pasadas a partir de burbujas de aire atrapadas en trozos de hielo de la Antártida y Groenlandia, a través de los anillos de árboles milenarios, fósiles, estalagmitas y sedimentos, etc. Se ha sabido, que el desierto del Sahara tuvo una abundante vegetación y gran cantidad de cursos de agua, que entre 1550 y 1850 hubo una época especialmente fría llamada Pequeña Edad de Hielo, en la que por ejemplo los canales de Holanda permanecían helados más de tres meses (Svensmark, 2007).

Según el informe de 2001 del IPCC, la temperatura media de la Tierra ha aumentado 0.6 °C en los últimos 100 años, pero es difícil saber si este incremento se debe a causas naturales o puede achacarse a actividades humanas, debido a que el clima es un sistema tremendamente complejo en el que influyen gran cantidad de factores (IPCC, 2001).

Hasta hace poco las consecuencias del calentamiento global, las previsiones hablaban de entre 1.5 y 4.5 °C, pero actualmente sabemos que el calentamiento se producirá con retraso con respecto al

aumento en la concentración de gases de efecto invernadero, ya que los océanos más fríos absorberán gran parte del aumento de temperatura, de modo que el IPCC prevé para el año 2100 un calentamiento de entre 1.0 y 3.5 °C; variaciones de temperatura que pueden parecer insignificantes, pero supondrán transformaciones tan importantes (Evan et al., 1999).

Cuadro 1. Predicciones a nivel mundial

Clasificación	Observaciones	Daños
Áreas desérticas	Serán más cálidas pero no más húmedas.	Graves consecuencias, sobre todo donde el agua se escasea como en África y Oriente Medio.
Glaciares	Se fundirán, teniendo en cuenta que el 11% de la superficie terrestre es hielo, resultan bastante creíbles las previsiones sobre el aumento del nivel del mar de entre 0.4 y 0.65 m.	Haciendo desaparecer muchas zonas costeras.
Lluvia	Las precipitaciones aumentarán entre un 3 y 15%.	En algunas regiones provocara inundaciones, trayendo consigo brotes epidemiológicos.
Extensión Territorial	En algunas regiones muchas tierras de cultivo se verán afectadas.	Podrían perderse, al convertirse en desiertos.

Adaptado de: (Evan et al., 1999).

En resumen, aún con las predicciones más optimistas, estos cambios en el clima es el más rápido de todos los que han ocurrido a lo largo de la historia de nuestro planeta y supondrán grandes impactos adversos para la humanidad (IPCC, 2001).

Se entiende por efecto invernadero, fenómeno por el cual determinados gases que componen una atmósfera planetaria retienen parte

de la energía que el suelo emite por haber sido calentado por la radiación solar (Echarri, 1998).

El planeta tierra, mantiene la temperatura media en unos $15\text{ }^{\circ}\text{C}$, si no existiera atmósfera, no habría efecto invernadero y la temperatura media sería de unos $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$. Por tanto el efecto invernadero permite mantener una temperatura adecuada para la vida en la Tierra (Leiserowitz, 2005).

En la Tierra, la energía media que proviene del sol es de $342\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, energía que llega en forma de radiación con longitudes de onda comprendidas entre 200 y 4000 nm, correspondiente al rango de luz ultravioleta visible e infrarroja; los valores elevados de frecuencias de radiación permiten atravesar fácilmente la atmosfera terrestre (Vila Of et al., 1998).

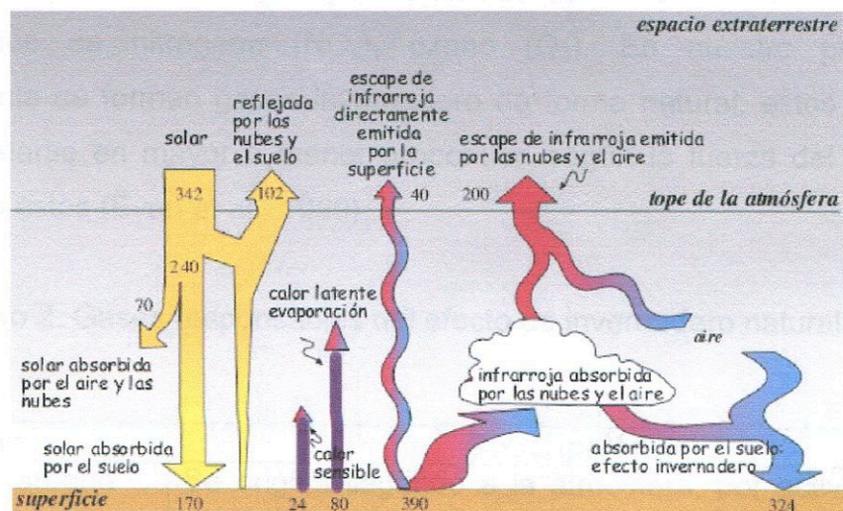


Figura 3. Representación del balance energético mundial expresado en ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$).

Fuente: Vila Of et al., 1998.

La energía que llega a la Tierra es absorbida principalmente por el suelo y el mar ($170\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$), aunque también hay una parte absorbida por las

nubes y el aire ($70 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$). La Tierra tiene una cierta capacidad de reflejar la energía que proviene del sol, lo que se denomina como albedo. De esta energía reflejada, solo una pequeña parte va a parar al espacio, ya que la mayoría es absorbida por los gases de efecto invernadero (nubes y aire) (Takle, 1997).

Bajo un cielo claro, alrededor del 60 al 70% del efecto invernadero es producido por el vapor de agua. Después de éste son también importantes, por orden, el dióxido de carbono, metano, ozono y óxidos de nitrógeno. No se citan los gases originados por la actividad humana que no afectan, lógicamente, al efecto invernadero que hemos llamado natural (CALMET, 1998).

Los gases responsables del efecto invernadero natural, o gases invernadero, son: vapor de agua (H_2O), dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxidos de nitrógeno (NO_x), ozono (O_3). En nuestro planeta, continuamente se forman gases invernadero de forma natural, estos gases pueden formarse en mayor o menor proporción según la fuerza del efecto causante de éstos (Evan et al., 1999).

Cuadro 2. Gases responsables del efecto de invernadero natural

Gas	Descripción
Dióxido de Carbono	Se origina llegando a la atmósfera, por actividades volcánicas, al disolver calizas y por la respiración y descomposición de seres vivos.
Metano	Proviene de pantanos, termitas, herbívoros, etc.
Oxido Nitroso	Su origen es por microorganismos y el agua, siendo estos dos los principales causantes de la formación.
Vapor de agua	Esta se forma por evaporación de la misma.
Ozono	Es una forma alotrópica del oxígeno que se forma en interacción con la luz ultravioleta.

Adaptado de: (Evan et al., 1999).

Cuadro 3. Gases que producen el efecto invernadero

GAS	FUENTE EMISORA	TIEMPO DE VIDA	CONTRIB. AL CALENT.
Dióxido de carbono (CO ₂)	Uso de combustibles fósiles, Deforestación, Destrucción de suelos, Industria.	500 años	54 %
Metano (CH ₄)	Actividad ganadera, Biomasa, Arrozales, Escapes de gasolina, Minería, Relleno sanitario, Tratamiento de aguas residuales.	7 – 10 años	12 %
Oxido Nitroso (N ₂ O)	Combustión de fósiles, Actividad agrícola, Deforestación, Tratamiento de aguas residuales.	140 – 190 años	6 %
Clorofluorocarbonos (CFC 11, 12)	Refrigeración, Aire acondicionado, Aerosoles, Espumas plásticas, Actividad agrícola.	65 – 110 años	21 %
Otros	Fotoquímicas, automóviles, etc.	Horas – día	8 %

Adaptado de: (Zaballa, 2007).

El cambio en efecto de gases de invernadero, se origina desde la invención de la máquina de vapor, intensificándose a partir de la Revolución Industrial, iniciando las emisiones de gases de invernadero en grandes cantidades a la atmósfera, que en la actualidad se continúan acumulando, siendo esta uno de los agentes más importantes del cambio climático, ya que el aumento de la concentración de gases de efecto invernadero incrementa el efecto (Núñez, 2007).

2.3.1. Los efectos antropogénicos

Se llama influencia antropogénica a los efectos producidos por las actividades humanas, actualmente se debate la posibilidad de que el hombre este influyendo en el clima de la Tierra y también lo hay sobre las influencias que pudo causar en el pasado (Erickson, 1997).

Según algunos científicos las emisiones humanas se remontan desde las eras preindustriales con la quema de bosques (CO_2) y el incremento de la ganadería (CH_4). Las emisiones preindustriales son fuente de debate científico y no está clara su contribución real al cambio climático de esas épocas (Harrington, 1990).

Los efectos de las emisiones actuales se dividen en dos grupos, Gases invernadero y aerosoles; ambos actúan de formas contradictorias. Los gases invernadero contribuyen al calentamiento global por efecto invernadero mientras que los aerosoles al oscurecimiento global al incrementar el albedo de la Tierra (Nilsson, 1997).

Las partículas que componen la polución atmosférica son también aerosoles unos se ubican en capas más altas contribuyendo a la destrucción de la capa de ozono y los que se sitúan a altitudes estratosféricas contribuyen principalmente al albedo (Waple et al., 2000).

El CO_2 es el principal gas de invernadero emitido por el hombre, la revolución industrial supone el punto de partida de las emisiones de gases de invernadero de forma masiva; aunque esta no se generalizará a todos los continentes hasta bien entrado el siglo XX. La industrialización de la Europa del siglo XIX está íntimamente ligada con el descubrimiento y explotación del carbón (Marland et al., 2007).

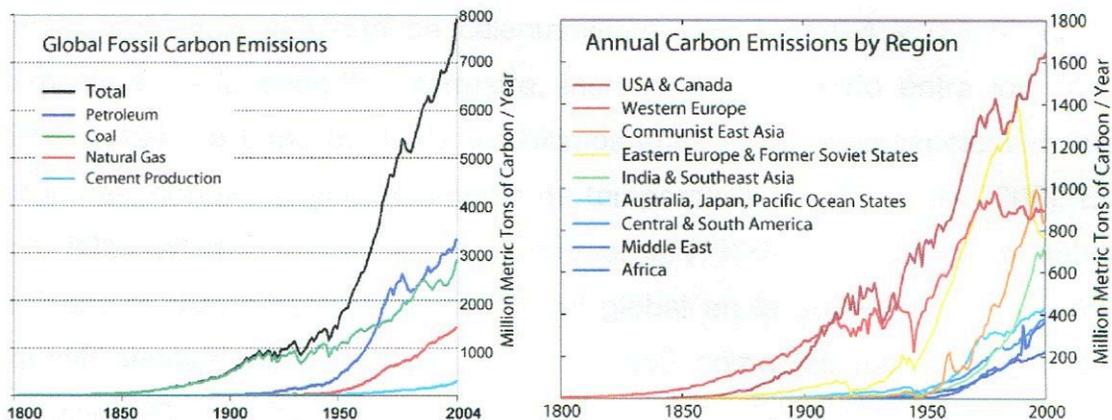


Figura 4. Evolución del hombre en relación al descubrimiento de combustibles fósiles.

Fuente: Marland et al., 2007.

Al intentar determinar el papel que desempeña el Sol en el problema del cambio climático se ha visto que el aumento de su actividad podría agregarse a los efectos antropogénicos, dando como resultado un incremento significativo de la temperatura promedio del planeta (Mendoza, 2007).

El tiempo y el clima tienen fuerte influencia sobre la vida en la tierra, cuyo conocimiento tradicional se concentra en variables que afectan en forma directa la vida en la tierra: temperatura promedio, temperatura máxima o mínima, vientos cerca de la superficie terrestre de la tierra, precipitación, humedad, tipos y cantidades de nubes y radiación solar (Barnett et al., 1996).

Los cambios estadísticamente significativos del estado promedio de las variables del clima o de su variabilidad, causados por factores naturales o antropogénicos y que persisten a escala de décadas o mayor plazo, se conocen como cambio climático (IPCC, 2001).

El análisis del sistema climático global a partir de finales del siglo XIX ofrece evidencia concreta de calentamiento global de 0.4 y 0.8 °C de la atmósfera en la superficie terrestre, incremento producido entre los años 1910 y 1945, a partir de 1976, los últimos años han sido excepcionalmente calientes, con un mayor incremento de temperatura (Jones et al., 2000). En los 80's estudios como el de Jones *et al.*(1986), nos alertaban sobre evidencias de un calentamiento a nivel global en la superficie de la tierra, identificándose los años 1980, 1981 y 1983 como los más calientes del periodo 1960 – 1984.

Registros actuales de las temperaturas superficiales indican que la tendencia parece incrementarse, la década de los 90 ha sido la más caliente del milenio en el hemisferio Norte y 1998 ha sido probablemente el año más caliente, la Evaluación del IPCC (1996) concluyó que las temperaturas en el verano en el hemisferio Norte durante las recientes décadas son las más calientes que al menos seis centurias (Crowley et al., 2000).

Las primeras proyecciones del comportamiento de la temperatura para el siglo XXI consideraban un aumento del orden del 2.5 – 3 °C (Jones *et al* 1986, Hansen *et al* 1981), sin embargo, los cálculos se muestran menos conservadores. Para el rango de escenarios desarrollados por el IPCC, la temperatura superficial del aire global promedio es proyectada a través de modelos a aumentar entre 1.4 – 5.8 °C para el 2100, con respecto a la temperatura mostrada en 1990 (IPCC, 2000).

2.4 El cambio climático actual

En la actualidad la emergencia o reemergencia de la mayor parte de enfermedades infecciosas está condicionada por cambios evolutivos y

medioambientales que pueden afectar a una gran variedad de factores intrínsecos y extrínsecos (Moreno et al., 2005).

Los cambios climáticos en concreto parecen influir sobre la distribución temporal y espacial así como sobre la dinámica estacional e interanual de patógenos, vectores, hospedadores y reservorios. El fenómeno de «El Niño/oscilación austral» (ENOA) es el ejemplo más conocido de variabilidad climática natural, se asocia a un aumento del riesgo epidemiológico de ciertas enfermedades transmitidas por mosquitos, sobre todo de la malaria (Conde et al., 2000).

Se ha observado que durante el fenómeno de El Niño aumentan en un 30% los casos de malaria en Venezuela y Colombia, los casos se multiplican por cuatro en Sri Lanka y aparecen en el norte de Pakistán (Kovats, 2000).

Se han registrado incrementos de casos de dengue en las islas del Pacífico, sureste de Asia y Sudamérica. También aumentan los casos de encefalitis del valle de Murray y enfermedad por el virus del río Ross en Australia, así como los casos de fiebre del Valle del Rift en África del este (Kovats et al., 2003).

Cambios de temperatura, precipitaciones o humedad afectan a la biología y ecología de los vectores, así como a la de los hospedadores intermediarios o la de los reservorios naturales. Además, las formas de asentamiento humano también podrían influir: el dengue es una enfermedad básicamente urbana y tendrá mayor incidencia en las comunidades muy urbanizadas con un sistema deficiente de eliminación de aguas residuales y desechos sólidos (Githeko et al., 2000).

La temperatura es un factor crítico del que depende tanto la densidad vectorial como la capacidad vectorial: aumenta o disminuye la supervivencia

del vector, condiciona la tasa de crecimiento de la población de vectores, cambia la susceptibilidad del vector a los patógenos, modifica el período de incubación extrínseca del patógeno en el vector y cambia la actividad y el patrón de la transmisión estacional (López et al., 2005).

Cuadro 4. Ejemplo de enfermedades infecciosas y parasitarias cuya epidemiología puede verse afectado en España por el cambio climático

Enfermedad	Agente	Vector	Clínica
Dengue	<i>Flavivirus</i>	Mosquito	Fiebre viral hemorrágica
Nilo Occidental (West Nile)	<i>Flavivirus</i>	Mosquito	Encefalitis
Fiebre de Congo Crimea	<i>Nairovirus</i>	Garrapata	Fiebre viral hemorrágica
Encefalitis por Garrapata	<i>Flavivirus</i>	Garrapata	Encefalitis
Fiebre del valle del Rift	<i>Phlebovirus</i>	mosquito	Fiebre viral hemorrágica
Fiebre botonosa	<i>Rickettsia conorii</i>	Garrapata	Fiebre maculada
Tifus murino	<i>Rickettsia typhi</i>	Pulga	Fiebre tífica
Enfermedad de Lyme	<i>Borrelia burgdorferi</i>	Garrapata	Artritis, meningitis, carditis
Fiebre recurrente endémica	<i>Borrelia hispanica</i>	garrapata	Fiebre recurrente
Malaria	<i>Plasmodium sp.</i>	Mosquito	Fiebres palúdicas
Leishmaniosis	<i>Leishmania sp.</i>	Flebotomo	Kala-azar

Adaptado de: (López et al., 2005.).

2.4.1 Combustibles fósiles y calentamiento global

A finales del siglo XVII el hombre empezó a utilizar combustibles fósiles que la tierra había acumulado en el subsuelo durante su historia geológica. La quema de petróleo, carbón y gas natural ha causado un aumento del CO₂ en la atmósfera que últimamente es de 1.4 ppm al año y produce el consiguiente aumento de la temperatura (Albrecht et al., 2003).

Los combustibles fósiles son un recurso que pueden explotarse a un ritmo casi ilimitado, siendo no renovables a una escala de tiempo humana,

quienes representan un depósito de energía planetario (Ciesla, 1996). Se estima que desde que el hombre mide la temperatura hace unos 150 años (siempre dentro de la época industrial) ésta ha aumentado 0.5 °C y se prevé un aumento de 1 °C en el 2020 y de 2 °C en el 2050 (Gómez, 2000).

El consumo de combustibles fósiles provocará un calentamiento medio de 8 grados, estos son los impactantes resultados de las simulaciones del clima y del Ciclo de Carbono llevadas a cabo por científicos del Laboratorio Nacional Lawrence-Livermore (Ludevid, 1999).

Usando un modelo acoplado del clima y del ciclo de carbono para estudiar los cambios globales que los afectan, los científicos han encontrado que la Tierra se calentará 8 grados Celsius si los humanos usamos de aquí hasta el año 2300 todos los combustibles fósiles disponibles en el planeta (López et al., 1999).

Además del dióxido de carbono (CO₂), existen otros gases de efecto invernadero responsables del calentamiento global, tales como el gas metano (CH₄) óxido nitroso (N₂O), Hidrofluorocarbonos (HFC), Perfluorocarbonos (PFC) y Hexafluoruro de azufre (SF₆), los cuales están contemplados en el Protocolo de Kioto (Dixon, 1998).

A principios del siglo XXI el calentamiento global parece irrefutable, aunque los últimos años del siglo XX se caracterizaron por poseer temperaturas medias que son siempre las más altas del siglo (Mackenzie, 2001).

2.5 Cambio climático en la producción de los cultivos en México

En las últimas décadas se confirmó que el Cambio Climático Global (CCG) tiene una relación muy puntual con las actividades agropecuarias y

forestales. Se establece un efecto dual al actuar estas actividades en ambos sentidos, sobreexplotándose los recursos naturales que proporcionan dichos insumos, afectando a los ciclos naturales del carbono, nitrógeno, fósforo, micro elementos e hidrológico (Tijerina, 2008).

Los estudios actuales de Variabilidad y Agricultura relacionados parten necesariamente de considerar que esta actividad es extremadamente vulnerable en los países en desarrollo, ya que se encuentra doblemente expuesta: es vulnerable a los fuertes cambios socioeconómicos que se dan dentro del proceso de globalización económica, y es además altamente sensible a las variaciones climáticas (Kelly, 2000).

El Estudio de País (Gay, 1995, 1996) proporciona escenarios para México en condiciones de doblamiento en las concentraciones atmosféricas de CO₂, estudio que presenta un México muy afectado y vulnerable con incrementos en las temperaturas de entre 2 y 4 °C en todo el país, con problemas crecientes de sequía y erosión y en el manejo de recursos hídricos.

Investigaciones conjuntas en los campos de las ciencias sociales y físicas han demostrado que el sector agrícola en México es particularmente sensible a cambios en la disponibilidad del agua y a los patrones climáticos (Magaña et al., 2000; Conde, 1997; Mendoza et al., 1997; Liverman, 1994).

El estudio del impacto posible del cambio climático en la agricultura en México se centró en el análisis de la vulnerabilidad de la producción de maíz de temporal, particularmente en el ciclo primavera-verano (Flores, 1999).

Si bien las variables macroeconómicas del país no indican una contribución importante de este grano en el producto interno bruto, indudablemente de su producción dependen millones de campesinos a todo

lo largo y ancho del país. El maíz se cultiva a nivel del mar y a más de 2,000 metros de altura, y ha sido el sustento básico de muchas generaciones en el sector rural (Gay, 2000).

La producción de maíz en México depende fuertemente del clima y se desarrolla prácticamente en todo el territorio nacional. Los bajos rendimientos y la gran superficie siniestrada que se presentan año con año, son indicativos de que este cultivo no se desarrolla ni exclusiva ni fundamentalmente para su comercialización a gran escala (INE-SEMARNAP, 1997).

El maíz en México, se cultiva en áreas en donde no existe aptitud para ello, tanto en el ámbito climatológico como en el de suelos y pendientes, lo que en parte explica las altas pérdidas en las cosechas de este cultivo y los bajos rendimientos (menores a 2 ton/ha) en más de la mitad del territorio nacional (Ferrer, 1999).

Se han hecho estudios de maíz con modelos de simulación (Conde et al. 1997) de crecimiento de maíz Ceres Maize (Jones y Kiriny 1986), en donde es necesario especificar variedad, etapas fenológicas, tipo de suelo, manejo de cultivo, entre otras particularidades del cultivo en las localidades en estudio, resultados obtenidos indican aumento en la vulnerabilidad en la agricultura de maíz de temporal.

AREAS DE CULTIVO DE MAIZ DE TEMPORAL

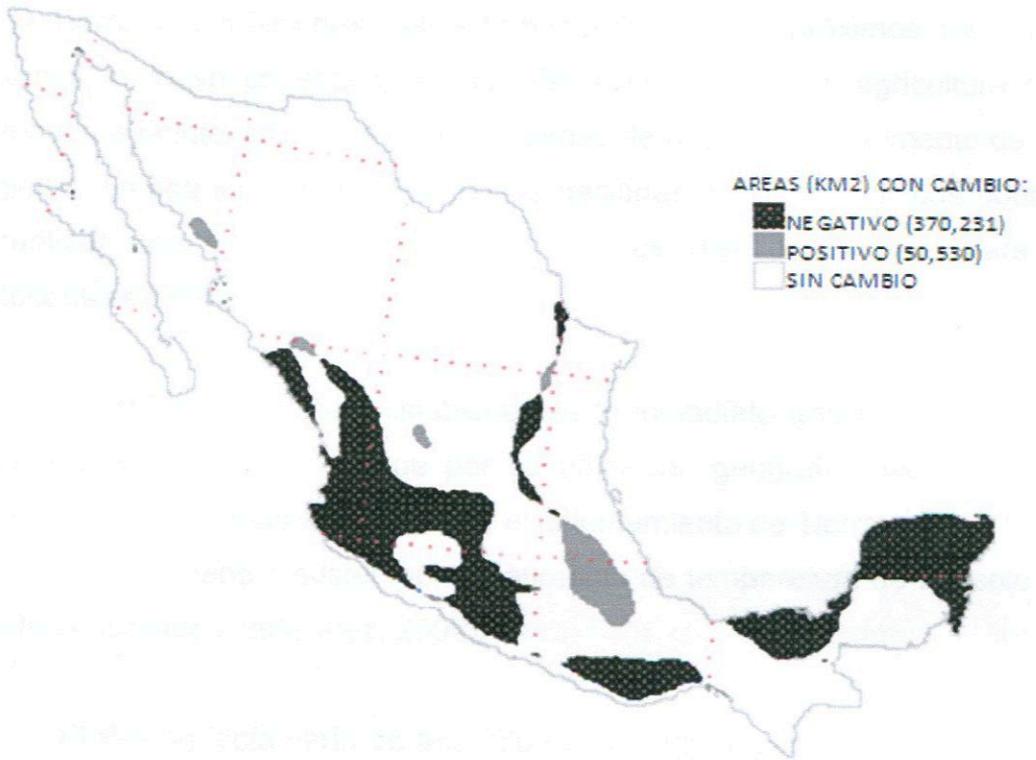


Figura 5. Áreas de cultivo de maíz temporal vulnerables al cambio climático modelo GFDL-R30.

Fuente: Conde et al; 2005.

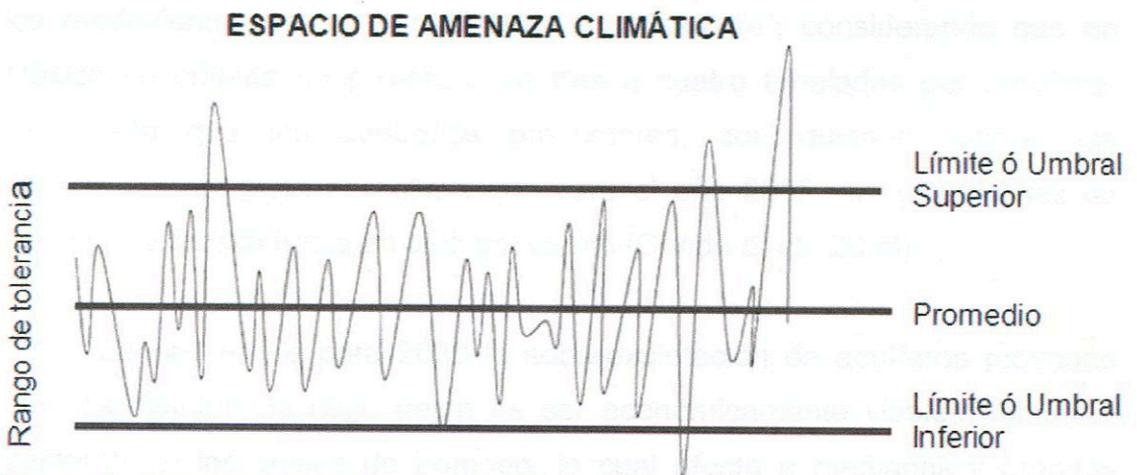


Figura 6. Espacio de amenaza climática.

Fuente: Jones et al; 2004. Conde et al; 2005.

Los integrantes del Panel (IPCC), han establecido que la temperatura de la Tierra aumentara gradualmente hasta 5 °C en los próximos 100 años, lo que contribuye un escenario muy desfavorable para la agricultura que demandara la intensificación de los sistemas de riego ante el aumento de las regiones en sequía, con lo que solo las naciones más desarrolladas podrán garantizar una producción que quizá apenas resulte suficiente para el autoconsumo (Baethgen, 2005).

En México se deben establecer en lo inmediato una estrategia para mitigar este fenómeno, ya que por su ubicación geográfica varias de las regiones se verán más afectadas por el calentamiento de Tierra y difícilmente soportaran de manera sustentable el aumento de temperatura de tan solo un grado centígrado (Velásquez, 2009).

El PIB agrícola varía de acuerdo con la región, para México, que está dentro de los países del sur, los cereales serán de los cultivos más afectados y por ello la preocupación se centra en el maíz, arroz y café (Conde, 1999).

De acuerdo con el IPCC, en cuanto a maíz, se espera que para 2050 los rendimientos bajen, lo cual sería un "desastre", considerando que en México se obtiene un promedio de tres a cuatro toneladas por hectárea. Señalando que los pequeños productores, son quienes sufrirán las consecuencias; pues se estima que para el año 2055 sus extensiones de tierra se reducirán hasta en diez por ciento (Conde et al., 2006).

Se prevé que para 2030 la sobreexplotación de acuíferos provoque que los distritos de riego dejen de ser económicamente viables debido al aumento en los costos de bombeo, lo cual afecta a medianos y grandes productores de maíz, el IV informe de IPCC señala que se esperen reducciones en la superficie cultivable de Brasil y México, que pueden llegar a ser de hasta 70 % para el año 2050 (Ibarrarán et al., 2007).

Otro factor importante a tomar en cuenta es el efecto del bióxido de carbono en los suelos, que puede convertirlos en zonas fértiles para algunos cultivos si se encuentra en regiones frías o, por el contrario, convertirlos en áreas no aptas, en regiones calidas. En este sentido, el IPCC advierte que los efectos del bióxido de carbono pueden provocar reducciones de hasta 30 % de suelos para cultivo en México y un incremento de 5 % de suelos fértiles en argentina (Ibarrarán et al., 2006).

El Instituto Nacional de Ecología (INE) también advierte sobre el cambio climático que, aunado al aumento de la temperatura, “la migración y el envejecimiento de los campesinos de temporal, hacen poco viable ciertas opciones de adaptación, como cambios en los patrones de cultivo o sistemas de riego por goteo; expertos señalan que los apoyos a la agricultura de temporal son insuficientes para reducir la alta vulnerabilidad de este sector a condiciones extremas en el clima (INE, 2007).

Gay (2004) hace un recuento de los efectos esperados por el cambio climático para México. Para ello, se analizan los resultados de dos modelos: el modelo Canadiense de Cambio Climático (CCC) y el Geophysical Fluid Dynamics Model (GFDC). En resumen, ambos predicen que si se duplica la concentración de carbón en la atmósfera habría un aumento en la temperatura en México. Los resultados sobre la precipitación son ambiguos.

En general los mayores efectos se sufrirán en el norte y en el centro del país, afectando la agricultura y la vida urbana principalmente. En particular los sectores afectados serán el sector agropecuario y el forestal a través de desertificación y sequía y una mayor incidencia de incendios forestales. Las zonas costeras también se verán afectadas por el aumento en el nivel medio del mar. (INE, 2006).

La agricultura en México es vulnerable a las condiciones climatológicas extremas como heladas, sequías e inundaciones debido a que más del 60% de la agricultura se lleva a cabo bajo condiciones de temporal (Conde, et al 1999; AGROASEMEX, 2006). Es, pues, necesario evaluar las posibles impactos económicos ante estos cambios que se verán exacerbados por el cambio climático.

Por su parte, Tejeda (2007) hace una revisión bibliográfica de la investigación existente de los impactos físicos del cambio climático en México. Sus resultados incluyen a los descritos a partir de Gay (2003) y el de muchos otros investigadores. Describe los efectos sobre paleoclimas y concluye, a partir de los estudios revisados, que habrá una mayor incidencia de eventos extremos futuros. Además, cita múltiples estudios donde se describen los efectos sobre la agricultura, los bosques, la biodiversidad y áreas naturales protegidas, las zonas costeras y las zonas urbanas. Todos estos efectos apuntan a que habrá una vulnerabilidad importante en varias zonas del país por sus condiciones físicas y características poblacionales, llevando a altos niveles de riesgo económico, social y ambiental.

El cultivo del maíz es el más importante en México, tanto desde el punto de vista alimentario, como social y económico. Según la SAGARPA, durante el periodo 1996 – 2006, el maíz ocupó en promedio el 51% de la superficie sembrada y cosechada y generó el 7.4% del volumen de producción agrícola total y el 30% del valor total de la producción (SIAP, 2007, 2006a).

Dado que México es un importante consumidor de maíz y su producción por hectárea es sólo la sexta parte de la de Estados Unidos, el escenario que se aproxima es desalentador. A nivel nacional existen alrededor de 2 millones de productores dedicados al cultivo de maíz, por lo que un cambio en las condiciones climatológicas tendrán un impacto de gran

envergadura sobre la producción y los ingresos de los productores (SIAP, 2007).

Cuadro 5. Caracterización de los productos analizados, 2006.

*Producto	Producción	Superficie sembrada	Valor de la producción/ valor producción total
Maíz grano	4.9%	36.4%	19%
Frijol	0.31%	8.4%	3.8%
Café cereza	0.34%	3.7%	1.7%
Trigo grano	0.76%	3.1%	2.4%
Caña de azúcar	11.3%	3.3%	8%
Naranja	0.94%	1.6%	1.7%
Total nacional	443 millones ton	21 millones Ha	\$233 mil millones

*Cíclicos y Perennes. Modalidad: Riego y Temporal

Adaptado de: (SIAP, SAGARPA (2006b, 2006c).

En la actualidad existen impactos del cambio climático sobre la agricultura:

- a) Disminución de la superficie apta para cultivar maíz de temporal
- b) Reducción de los rendimientos de maíz en algunas regiones
- c) Reducción de la superficie apta para la ganadería extensiva en el centro y norte del país debido a sequias mas aguadas y a la degradación de tierras
- d) Mayor riesgo de siniestros causados por eventos extremos (sequias, inundaciones, huracanes) en zonas productivas.
- e) Diseminación de plagas y enfermedades a nuevas áreas por el cambio de las condiciones ambientales.

Deterioro de los niveles de bienestar de la población rural (Tijerina, 2008).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Descripción del área de estudio

La Comarca Lagunera, forma parte del Desierto Chihuahuense y se localiza en la parte media sur occidental del Estado de Coahuila y en la parte media oriental del Estado de Durango. Está constituida por 15 municipios, 10 del Estado de Durango y 5 del Estado de Coahuila, con una superficie total de 47 887.5 km², equivalente al 2.43 % de la República Mexicana y al 16 % del Desierto Chihuahuense (Meléndez, 1990).

Está situada geográficamente entre los paralelos 24°22'23" y 26°24' de latitud norte y los meridianos 102°36' y 104°16'5" de longitud oeste (w) del meridiano de Greenwich y con una altura o latitud promedio de 1,130 metros sobre el nivel del mar.

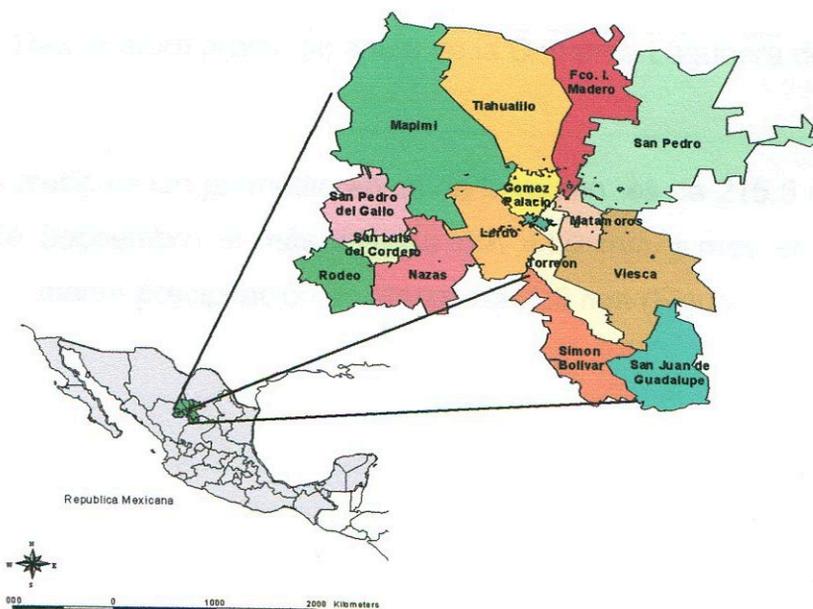


Figura 7. Mapa de la Comarca Lagunera.

El clima de la región se clasifica como muy seco semicálido (BWh), la temperatura media anual es de 22.6 °C (Figura 8), siendo el mes de Junio el mes más caliente en promedio con una temperatura de 29.0° C, y el mes más frío Enero con 14.1 ° C.

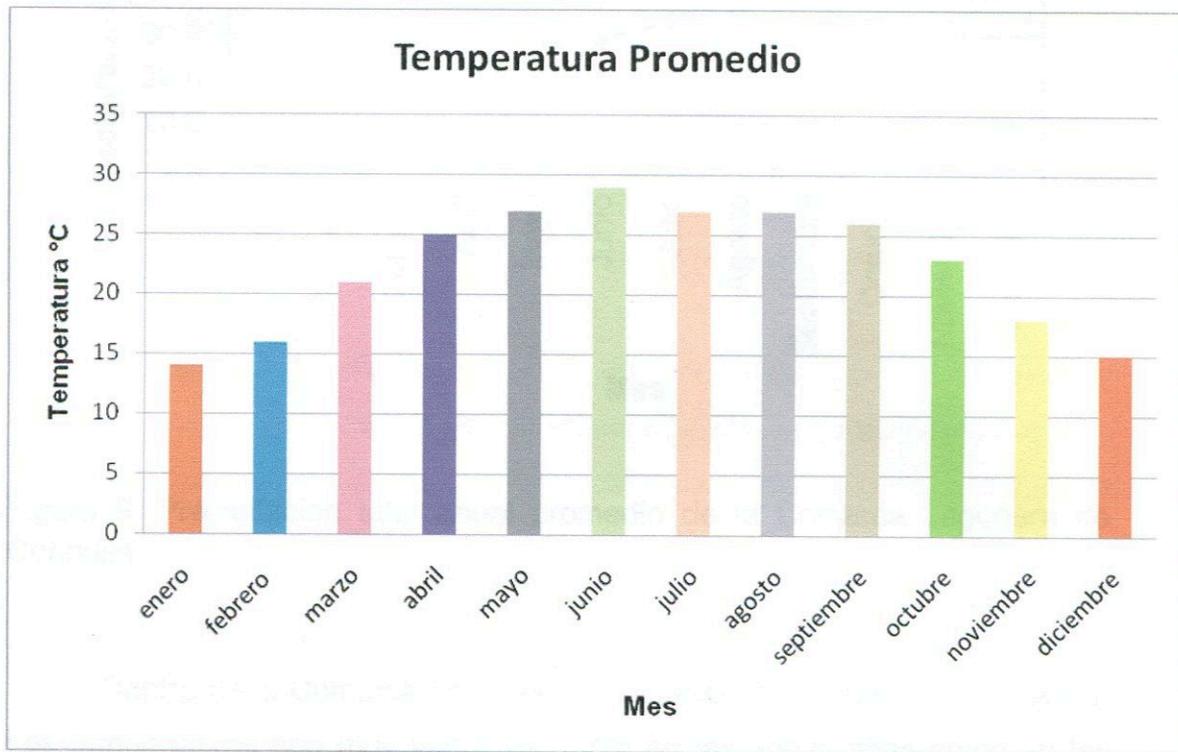


Figura 8. Temperatura promedio anual de la Comarca Lagunera de Coahuila

La precipitación promedio anual de la región es de 215.5 mm, siendo el mes de Septiembre el más lluvioso con 44.9 mm y mes en el cual se presenta la menor precipitación es Marzo con 1.5 mm (Figura 9).

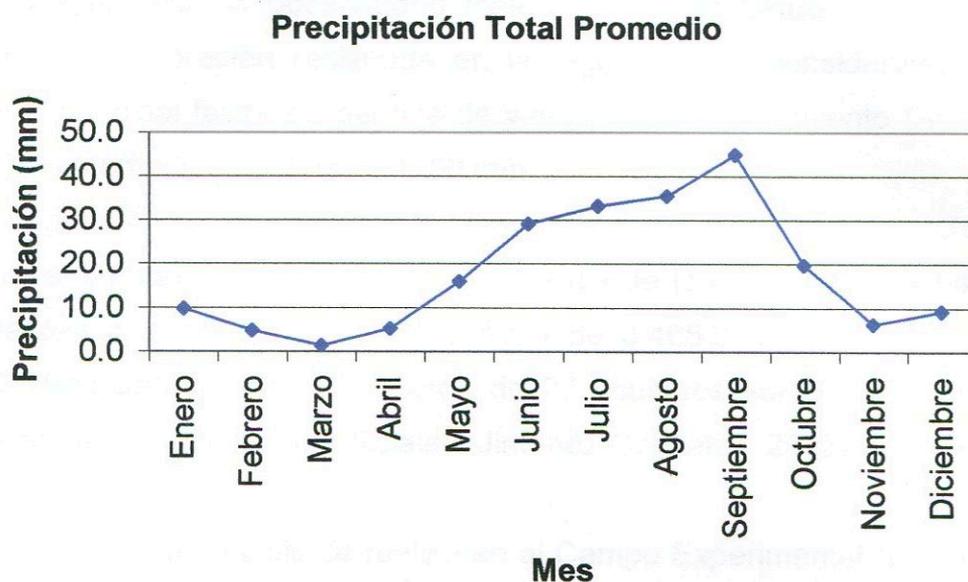


Figura 9. Precipitación total anual promedio de la Comarca Lagunera de Coahuila

Dentro de la Comarca Lagunera la variación del clima es significativa. Las temperaturas son muy variables, tanto en las zonas altas como en las bajas, en un período examinado de 42 años se observa un máximo de 45 °C y un mínimo de -13 °C. La temperatura media anual observada varía de 19.4 °C a 20.68 °C. El promedio de las temperaturas máximas y mínimas observadas en el período son: 29.12 °C y 12.14 °C respectivamente. Los meses más calurosos son: junio, julio, agosto, y los más fríos son: enero y diciembre.

Las lluvias en la región, por lo general, son escasas y mal distribuidas, el promedio de la precipitación pluvial registrada en un período de 42 años es de 231.3 mm al año. Los vientos dominantes por lo general, provienen del sureste, a una velocidad que varía de 12 a 30 km. La época de mayor intensidad corresponde a los meses de febrero y marzo.

De acuerdo al observatorio meteorológico de Lerdo, Dgo., México (1979), la evaporación registrada en la región puede considerarse como intensa, principal factor de pérdida de vasos de almacenamiento (Alvarado, 1987). El promedio anual es de 1800 mm.

La Comarca se centra sobre la cuenca de los ríos Nazas-Aguanaval donde existe una disponibilidad de agua de 3,465.3 Mm³, de los cuales 867.3 Mm³ provienen de la recarga de 27 acuíferos subterráneos y 2598 Mm³ de escurrimientos superficiales (Jiménez-González, 2003).

El presente estudio se realizó en el Campo Experimental "La Laguna" (CELALA) que se localiza en el municipio de Matamoros, Coah. La información utilizada, con respecto al cultivo de maíz y sus prácticas de manejo fue generada en lotes experimentales del propio CELALA y forman parte de la tecnología de producción de maíz forrajero de alto rendimiento y calidad nutricional.

La información con respecto a cultivos regionales y valor de producción se extrajo de los libros de estadística agropecuaria editados por la SAGARPA para la Región Lagunera durante el periodo de 1990 a 2003. También, la información referente a los volúmenes ingresados y extraídos a las presas Lázaro Cárdenas y Francisco Zarco se extrajo de la base de datos digital BANDAS.

La información de clima utilizada en el estudio se extrajo de la base de datos ERIC III; se analizaron las series de tiempo de 1970 hasta 2003 con respecto a temperatura (máxima, mínima y promedio diaria) y precipitación. Además, se consideró a los años 1987 y 1993 como años de clima contrastante respecto a temperaturas, con la finalidad de modelar el efecto de este clima sobre el uso de agua, desarrollo y rendimiento del cultivo de maíz. Para lo anterior, se utilizó el modelo de simulación DSSAT-CSM

(Cropping System Model), el cual fue previamente calibrado con información regional (Sánchez, 2007).

Este modelo simula el crecimiento, desarrollo y rendimiento de un cultivo bajo manejo prescrito. También, simula los cambios en la solución del suelo y la dinámica del carbón y nitrógeno a través del tiempo. El DSSAT – CSM utiliza un formato modular el cual es descrito en detalle por Jones *et al.*, (2001) y Porter *et al.*, (2000).

El DSSAT-CSM tiene en su interface principal, diferentes módulos, entre los que se encuentran: suelo, clima, plantilla CROPGRO, la interface suelo – planta – atmósfera y los componentes de manejo. Colectivamente estos componentes describen los cambios a través del tiempo en suelo y planta que ocurren como respuesta al clima y al manejo del cultivo.

Cada módulo tiene seis pasos operacionales (Figura 13), siendo estos: inicialización de la corrida, inicialización de la estación, cálculo de variables, integración, salidas diarias, y resumen de salidas. El programa principal controla la secuencia de estos pasos, y establece el tiempo en el cual cada uno de los módulos debe ejecutarse. De esta manera se permite a cada módulo leer sus propios datos de entrada, inicializarse, calcular los valores, integrar sus propias variables de estado y escribir su salida completamente independiente de las operaciones de otros módulos. Sólo unas cuantas variables de la interface se comunican hacia y desde cada uno a los módulos. Esto permite “desconectar” un módulo y reemplazarlo con otro diferente en tanto que éste comunique las mismas variables al resto de los módulos, aún si los parámetros de las variables de estado, y los archivos de entrada del módulo son diferentes. Las variables de estado se escriben después de la integración para representar el estado del sistema al final del día, y los valores iniciales son escritos durante la inicialización para el día

cero. Mayores detalles de éste diseño modular pueden ser encontrados en Porter *et al.*, (2000).

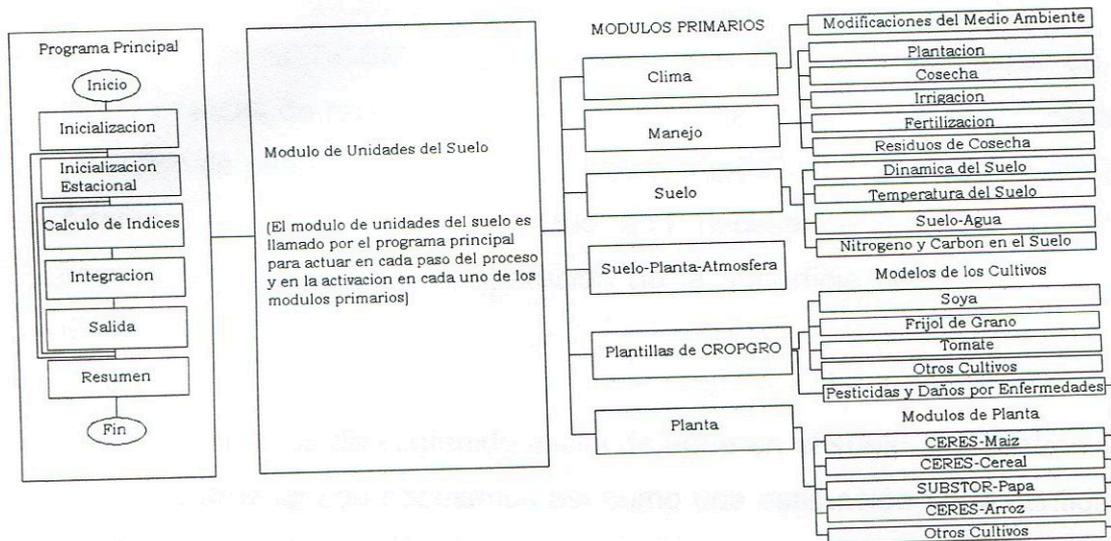


Figura 10. Apreciación global de los componentes y estructura modular del DSSAT-CSM.

Datos Requeridos

Los modelos DSSAT requieren de datos mínimos para correr. Estos incluyen información del sitio en el cual el modelo se va a utilizar, también se requiere información de clima con resolución diaria a lo largo del periodo de crecimiento de cultivo a ser modelado, las características del suelo al inicio de la estación de crecimiento y la información referente al manejo del cultivo (fecha de siembra, aplicaciones de fertilización, riego, etc.).

La información de clima comprende: temperaturas máximas y mínimas, velocidad de viento, radiación solar (requeridas para calcular la evapotranspiración del cultivo y el balance de agua en el suelo), precipitación, etc. En el caso de no existir datos diarios de clima, pueden utilizarse los valores mensuales de tal manera que se calculan los

parámetros estadísticos y en función de ellos se genera información sintética de clima y esta es la que se usa en el modelo.

El DSSAT-CSM requiere de información de entrada de las características de retención de agua de diferentes capas del suelo. Necesita un factor de peso de la raíz, pH del suelo, impedancia del suelo, y salinidad. Además, los parámetros de suelo son necesarios para el cálculo de escurrimiento superficial, evaporación de la superficie del suelo, y drenaje (Ritchie, 1972).

Los valores de contenido inicial de agua en el suelo, concentración de nitratos y amonio son necesarios así como una estimación de la cantidad de residuos del cultivo anterior dejados en el suelo. Todos los aspectos de manejo del cultivo incluyendo modificaciones del medio ambiente (incremento en concentraciones de CO₂) son necesarios. El manejo incluye factores de fecha de siembra, profundidad de siembra, espacio entre surcos, densidad de plantación, fertilización, riego e inoculación. La dimensiones de la parcela y altura del dosel del cultivo es necesaria para algunos cultivos en particular, así como algunos coeficientes de cultivo de acuerdo a la longitud del ciclo del genotipo involucrado (Jones y Kiniry, 1986; Ritchie y Otter, 1985; Ritchie *et al.*, 1998).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Figura 11 presenta el comportamiento temporal de la precipitación total anual; se puede observar la tendencia a disminuir con respecto al tiempo, ubicándose los últimos diez años por debajo de la media que se sitúa en 240 mm. Esta baja en la precipitación local no afecta significativamente el rendimiento de los cultivos regionales debido a que éstos dependen

básicamente del agua de riego que se suministra de manera superficial y que proviene del almacenamiento de las presas regionales.

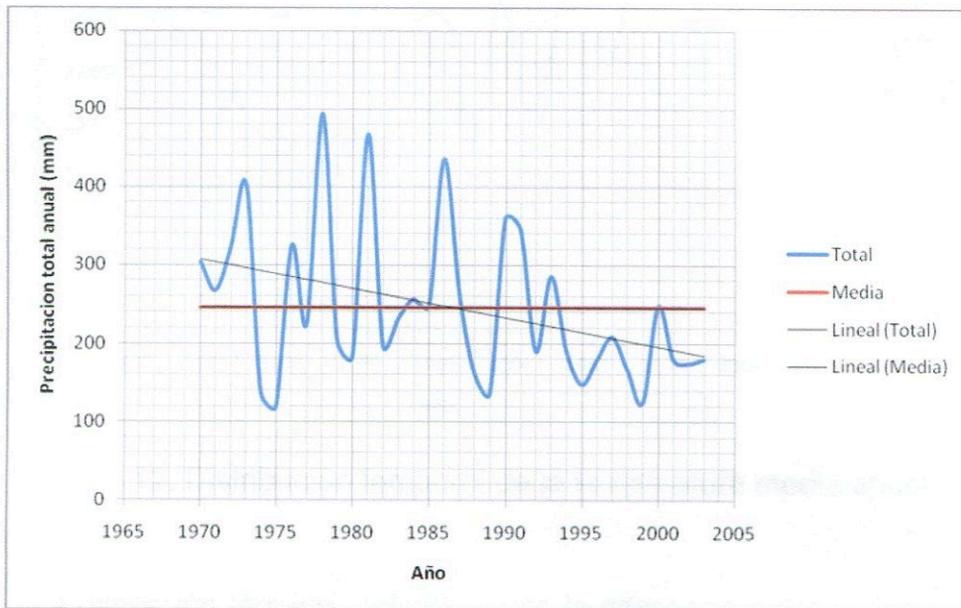


Figura 11. Distribución temporal de la precipitación total anual.

La temperatura media anual presenta una tendencia a incrementarse (Figura 12); la tasa promedio de incremento es de $0.072\text{ }^{\circ}\text{C}$ por año. Se puede observar que la temperatura media, en los últimos 12 años ha estado por arriba del valor medio regional, que se sitúa en $22.1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

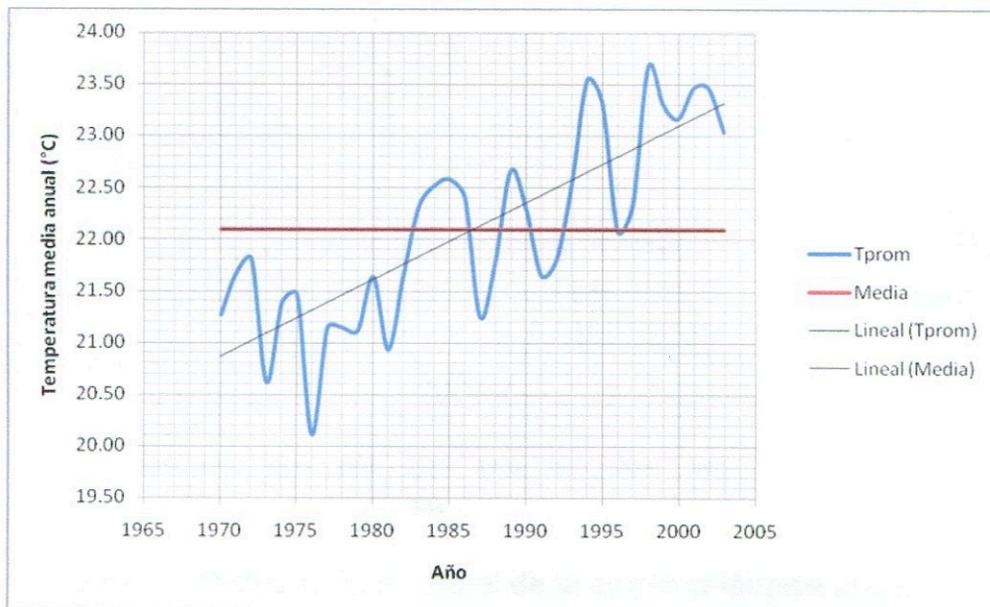


Figura 12. Distribución temporal de la temperatura media anual.

La oscilación térmica, definida como la diferencia entre la temperatura máxima y mínima media anual, se presenta en la Figura 13. En ella se puede observar la variación temporal de los valores y una tendencia a incrementarse ligeramente; se detecta que en los últimos años la diferencia es menor y que desde el punto de vista agrícola, los cultivos se encuentran expuestos a mayores temperaturas diarias y por un periodo mayor durante el día. Esto, indudablemente se refleja en el aceleramiento del crecimiento y desarrollo de los cultivos, así como en el incremento en las necesidades hídricas de los mismos.

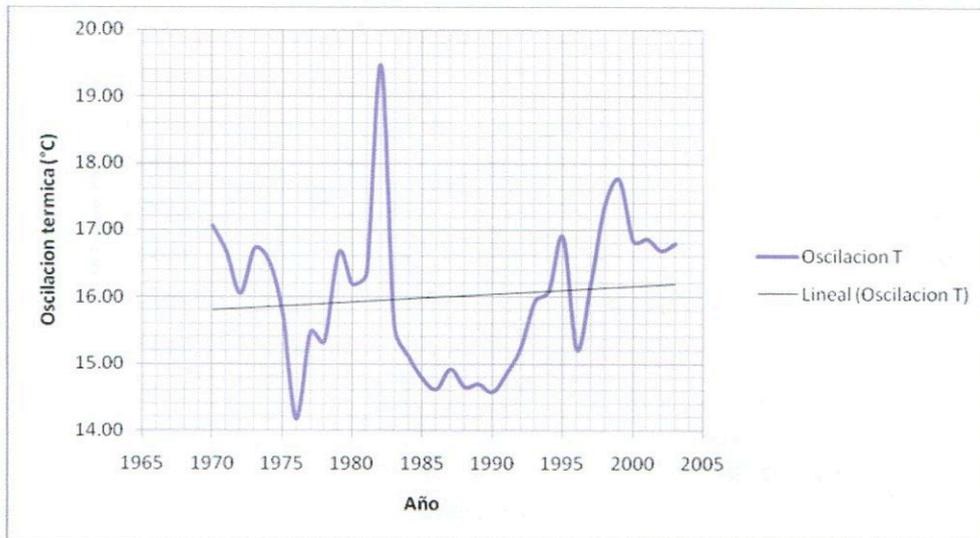


Figura 13. Distribución temporal de la amplitud térmica anual.

La cuenca de captación más importante en la Región es la del Río Nazas que genera por sí sola el 79.7% del escurrimiento medio anual de la Región Hidrológica 36, estimado en 2,508 millones de m³. El volumen de agua generado en las subregiones Nazas y Aguanaval (1,807 millones de m³; parte alta de las cuencas de captación) sirve para sustentar el aprovechamiento de la subregión Comarca Lagunera.

La Figura 14 presenta las fluctuaciones que el régimen hídrico presenta en la parte alta de la cuenca. En esta Figura se puede observar que existe una variación anual enorme, estando ésta en función de las precipitaciones pluviales que ocurran en la parte alta. El promedio de los últimos 20 años es de aproximadamente 1600 Mm³; con valores máximos de 4900Mm³ y mínimos de 710 Mm³, para los años de 1991 y 1999, respectivamente.

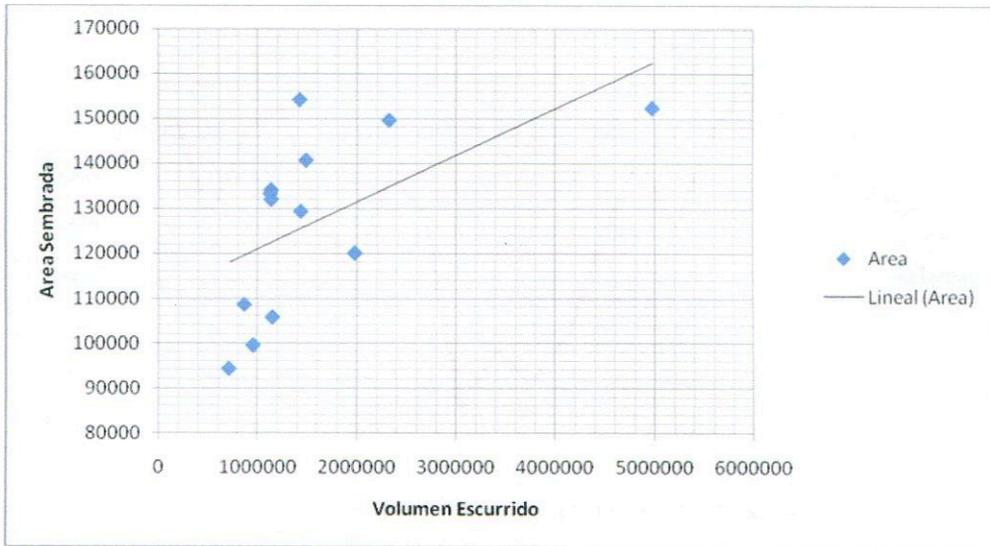


Figura 14. Fluctuación del régimen hídrico en la parte alta de la cuenca

Una de las funciones principales del sistema de presas de la cuenca del río Nazas, es la de almacenar y suministrar el agua captada para ser utilizada por los usuarios del Distrito de Riego No. 17. El balance de agua en el sistema de presas, determina la cantidad de agua a proporcionar a los usuarios. Bajo condiciones normales (que las presas tengan agua en suficiencia) el volumen concesionado los agricultores es de 800 Mm³. Sin embargo, no siempre es así y esto se refleja en el número de hectáreas sembradas en la parte baja de la cuenca.

La Figura 15 muestra el efecto que la captación y almacenamiento de agua en el sistema de presas tiene sobre la superficie sembrada en la Región Lagunera. El rango de variación es de aproximadamente 60 mil hectáreas. Se observa que la mayor superficie sembrada, con 152 mil hectáreas, se presentó en 1991 y la menor, 94 mil hectáreas, en 1999; estos años coinciden con aquellos en los cuales se presentaron la mayor y menor captación de agua en el sistema de presas.

Figura 15. Efecto de la captación y almacenamiento de agua en el sistema de presas sobre la superficie sembrada en la Región Lagunera

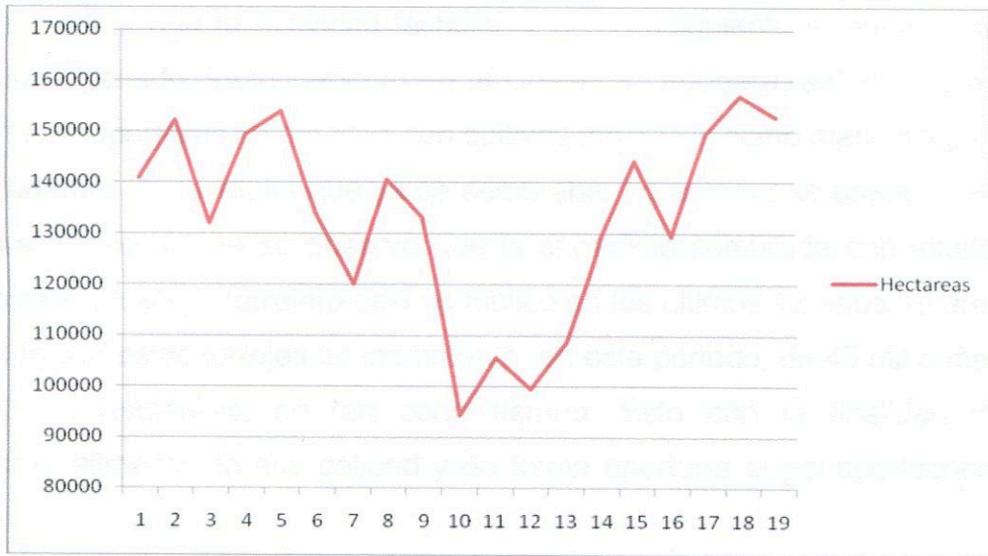


Figura 15. Patrón de Cultivos Regionales.

Con respecto a la dinámica de cultivos a través del tiempo, la Figura 16, presenta la distribución temporal de los cultivos más importantes en la Comarca Lagunera. Se observa que hace 25 años los cultivos más importantes en la región eran los cultivos básicos y el algodón, mientras que los frutales y las hortalizas se mantenían muy por debajo de los anteriores. Los cultivos forrajeros se mantenían en nivel intermedio con 40 mil hectáreas sembradas, aproximadamente.

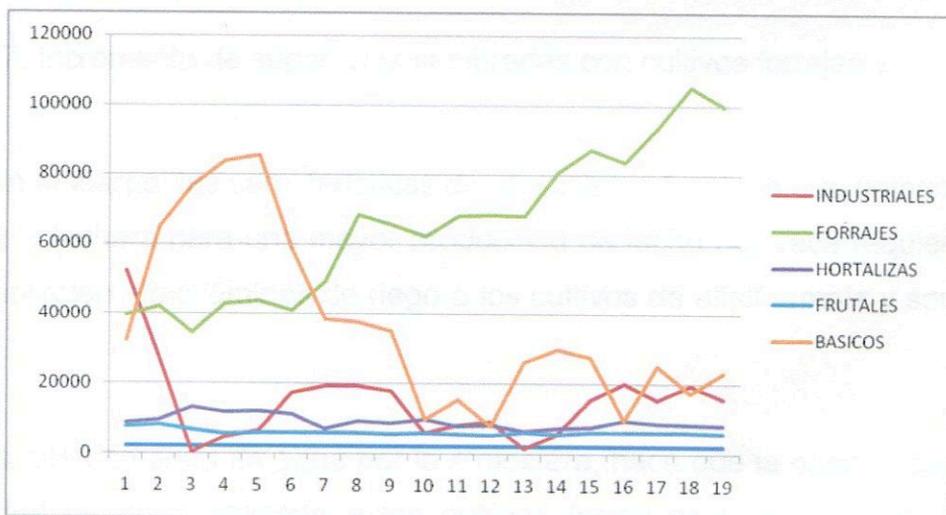


Figura 16. Patrón de Cultivos Forrajeros.

A medida que la actividad lechera, y por consiguiente el número de cabezas de ganado, se incrementó en la Comarca Lagunera, así lo hicieron también las superficies sembradas con cultivos forrajeros como maíz, sorgo y avena, además de la alfalfa que ya se sembraba. Lo anterior se presenta en la Figura 17, en la que se observa que la superficie sembrada con alfalfa, maíz forrajero y sorgo forrajero casi se triplicó en los últimos 12 años. El área sembrada con estos forrajes se incremento, en este periodo, de 45 mil a más de 100 mil hectáreas, en tan corto tiempo. Esto con la finalidad de suministrar alimento de alta calidad y de forma oportuna al ganado lechero local.

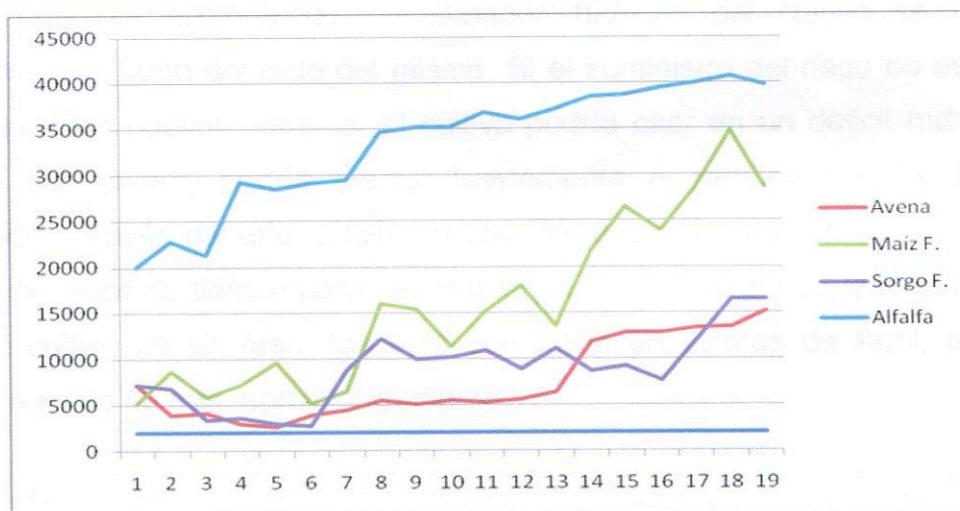


Figura 17. Incremento de superficies sembradas con cultivos forrajeros

Sin embargo, las características de alta calidad forrajera que demanda la industria lechera para una mayor producción de leche por vaca requieren que se apliquen altas láminas de riego a los cultivos de alfalfa, maíz y sorgo forrajero.

La alta demanda de agua por la atmosfera, hace que la oportunidad y la cantidad de agua aplicada a los cultivos forrajeros jueguen un papel preponderante en el rendimiento y la calidad de éstos.

Como se presentó anteriormente, las modificaciones locales en cuanto al incremento en la temperatura, tienen efectos importantes en la demanda evapotranspirativa de los cultivos y a su vez en la frecuencia de aplicación del riego de auxilio a los cultivos forrajeros.

Con respecto a los requerimientos hídricos del cultivo, la Figura 18 presenta el comportamiento anual de la evapotranspiración real (ETr) para dos períodos de tiempo utilizados. La demanda por agua se ha acentuado en los últimos años (de 1988 a la fecha). Como puede observarse ésta ha cambiado drásticamente. En el pasado en el mes de Enero se tenía una demanda de 2 mm día⁻¹; ahora se tienen demandas de agua de casi el doble y esto repercute en que las necesidades hídricas del cultivo se ven aceleradas a lo largo del ciclo del mismo. Si el suministro del riego no es el adecuado a los nuevos tiempos, el cultivo podría caer en un déficit hídrico que, de ser severo, podría afectar fuertemente el rendimiento. La ETr acumulada a través del año resulta en una diferencia de 223 mm de lámina para los periodos de tiempo considerados en el estudio. Mientras que para el ciclo del cultivo de un maíz forrajero sembrado en el mes de Abril, esta diferencia es de 98 mm, aproximadamente.

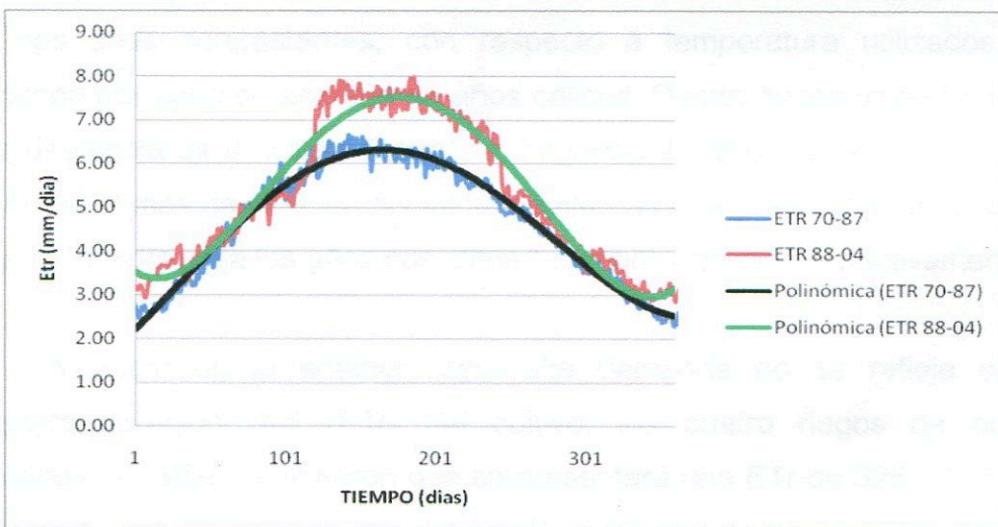


Figura 18. Evapotranspiración real para el cultivo de maíz en la Laguna.

En la Figura 19, se representan dos periodos de 1970-1987 (estándar) y de 1988 al 2004 (caliente), en donde se puede observar la tendencia de la ETr acumulada, es decir el total del agua demandada por el ambiente durante ambos periodos, la cual se representa en mm.

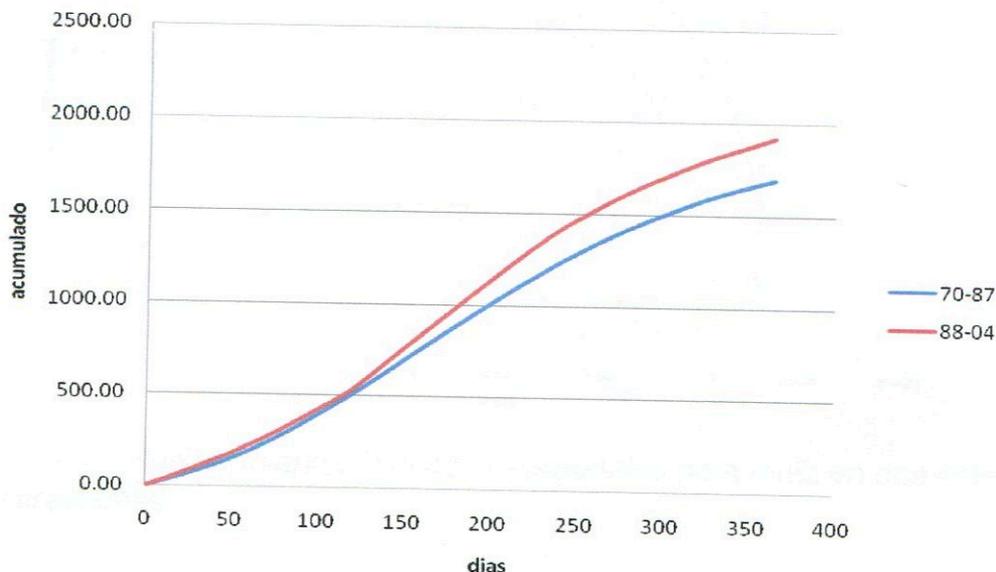


Figura 19. Etr acumulado.

En la Figura 20 se puede observar el comportamiento estacional para los dos años contrastantes, con respecto a temperatura utilizados. La demanda por agua se acentúa en años cálidos. Desde época muy temprana esta diferencia es de hasta 5 mm/día, llegando a manifestarse la diferencia mayor en el mes de julio, en el cual la demanda por agua es de casi el doble 24 y 40 mm/día para los años con clima "normal" y cálido, respectivamente.

A pesar de lo anterior, esta alta demanda no se refleja en la evapotranspiración real (ETr) del cultivo; los cuatro riegos de auxilio aplicados al cultivo permitieron que se presentará una ETr de 525 y 575 mm de lámina para los años cálido y "normal", respectivamente. Debido al menor

número de días que el cultivo permanece en el terreno la evapotranspiración real se ve disminuida en aproximadamente cinco centímetros de lámina.

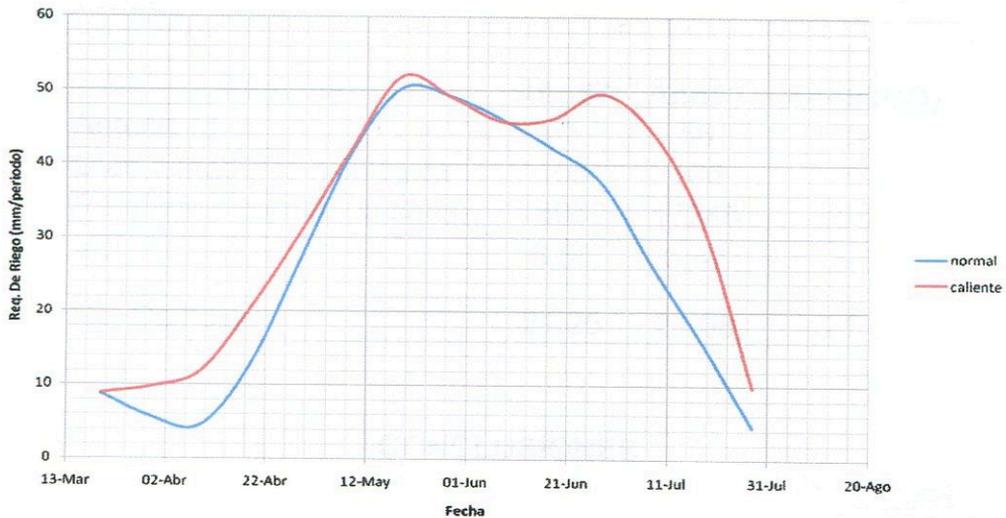


Figura 20. Requerimientos hídricos estacionales para maíz en dos ambientes contrastantes.

El efecto de períodos “calientes” sobre el desarrollo y crecimiento del cultivo, se puede observar en el CuadroXX, en la que se aprecia que los días requeridos para llegar a las etapas fenológicas de antésis y madurez fisiológica se redujeron en cinco y ocho días, respectivamente. El número de hojas, el índice de área foliar y el rendimiento, no mostraron diferencias significativas. Ser observó un ligero incremento en este último parámetro cuando, además del año “caliente” se duplicó (enriqueció) el contenido de CO_2 en la atmosfera.

Cuadro 6. Parámetros de desarrollo del cultivo de maíz forrajeros bajo diferentes ambientes climáticos.

Variable	Año87	Año93	Año93CO₂
Antesis (d. d. s.)	63	58	56
Días a madurez fisiológica	108	100	97
Rendimiento (materia seca)	16969	17246	18533
IAF	6.56	6.42	6.63
No. De hojas	21.25	21.08	21.02

CONCLUSIONES

Los resultados indican que la temperatura máxima y mínima se han incrementado en 0.4, 0.19 °C, mientras que la amplitud térmica ha disminuido en 0.57°C en los últimos años. Lo anterior se traduce en que los cultivos están expuestos a mayores temperaturas y mayor duración durante el día. Esto ocasiona que la demanda evapotranspirativa se incremente y por lo tanto las necesidades de la planta por agua se vean aceleradas a lo largo del ciclo. Los calendarios de riego actuales no presentan la mejor opción y deben de modificarse para obtener los más altos rendimientos posibles.

Con altas temperaturas, el número de días a antesis y a madurez fisiológica se reducen en 5 y 8 días, respectivamente. Por otro lado, aun cuando el IAF y el numero de hojas de reducen ligeramente, esto no afecta el rendimiento del cultivo forrajero. Con respecto a los requerimientos de riego por el cultivo, las necesidades hídricas del cultivo se ven aceleradas a lo largo del ciclo del mismo. Existe una sobre demanda de 98 mm de lámina a lo largo del ciclo del cultivo, esto ocasiona que se tengan que hacer modificaciones en la aplicación de los riegos de auxilio, con la finalidad de no estresar el cultivo.

5. RESUMEN

El cambio significativo en el clima a escala global debe tener impacto en la agricultura local, y por lo tanto afectar el suministro mundial de alimentos. Alrededor del mundo, se ha realizado una gran cantidad de trabajo para cuantificar cuánto y cómo la agricultura puede ser afectada en diferentes regiones; y si el resultado neto es benéfico o perjudicial. Sin embargo, proyecciones actuales con respecto a cómo el cambio climático puede afectar la agricultura, presenta varias incertidumbres. Una de ellas es el grado de incremento en la temperatura y distribución geográfica. Los resultados indican que la temperatura máxima y mínima se han incrementado en 0.4, 0.19 °C, mientras que la amplitud térmica ha disminuido en 0.57°C en los últimos años. Lo anterior se traduce en que los cultivos están expuestos a mayores temperaturas y mayor duración durante el día. Esto ocasiona que la demanda evapotranspirativa se incremente y por lo tanto las necesidades de la planta por agua se vean aceleradas a lo largo del ciclo. Los calendarios de riego actuales no presentan la mejor opción y deben de modificarse para obtener los más altos rendimientos posibles. Con altas temperaturas, el número de días a antesis y a madurez fisiológica se reducen en 5 y 8 días, respectivamente. Por otro lado, aun cuando el IAF y el número de hojas se reducen ligeramente, esto no afecta el rendimiento del cultivo forrajero. Con respecto a los requerimientos de riego por el cultivo, las necesidades hídricas del cultivo se ven aceleradas a lo largo del ciclo del mismo. Existe una sobre demanda de 98 mm de lámina a lo largo del ciclo del cultivo, esto ocasiona que se tengan que hacer modificaciones en la aplicación de los riegos de auxilio, con la finalidad de no estresar el cultivo.

LITERATURA CITADA

- Agrawala S. 1998. Structural and process history of the intergovernmental panel on climate change. *Clima. Change*. Pp. 62-642.
- Agroasemex (2006). "La experiencia mexicana en el desarrollo y operación de seguros paramétricos aplicados a la agricultura". Agroasemex. En línea: <http://www.agroasemex.gob.mx/publicaciones/E2.html>
- Alfsen K., y T. Skodvin. 1998. The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) and scientific consensus, Policy Note 1998: 3. El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) y el consenso científico, Nota de Política de 1998: 3. Center for International Climate and Environmental Research, University of Oslo. Center for International Climate and Environmental Research, Universidad de Oslo.
- Albrecht, A; Kandji, ST. 2003. Carbon sequestration in tropical agro forestry systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. Pp. 15-27.
- Baethgen, W.E. 2005. "Impact of Climate Change on Barley Uruguay: Yield Changes and Analysis of Nitrogen Management Systems", en Rosenzweig, C. y A. Iglesias (eds), *Implications of Climate Change for International Agriculture*, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C., Pp. 1-15.
- Barnett, T.P., Santer, B., Jones, P.D., and Bradley, R.S. 1996. Estimates of low frequency natural variability in near-surface air temperature, Holocene. Pp. 255-263.
- Berger Wolfgang H. 1982. Climate steps in ocean history--lessons from the Pleistocene. In: *Climate in Earth History*. Washington, D.C., National Academy Press. Pp. 43-54.
- Benton T. & Redclift M. 1994. Introduction. *Social theory and the global environment* (eds. Redclift, M. & Benton, T.), London, UK: Routledge. Pp. 1-27.
- Becker, Dan. 1997. *Global Warming Central: Debate numbers three*. En línea: <http://www.law.pace.edu>.
- Berger A.; Loutre E, M.F. & DehanT, V. 1996. Influence of the changing lunar orbit on the astronomical frequencies of pre- Quaternary insolation patterns. *Paleoceanography*, Vol. 4, Pp. 555-564.

- Bellon, M. R., O. Masera, and G. Segura. 1994. "Response Options for Sequestering Carbon in Mexico's Forests. Report to the F-7", en International Network on Tropical Forestry and Global Climatic Change, Energy and Environment Division, Lawrence-Berkeley Laboratory, Environmental Protection Agency, Berkeley, California.
- Bolin, B., Bo. R. Dôôs, J. Jager, and R. A. Warmick. 1986. The greenhouse effect climatic change and ecosystems, Gran Bretaña, John Wiley & Sons.
- Boote K. J., Jones J. W., and N. B. Pickering. 1996. Potential uses and limitations of crop models. *Agronomy Journal*. 98:704-716.
- Bryson R. & Murray, T. 1977. *Climates of hunger: mankind and the world's changing weather*. Madison, WI: University of Wisconsin Press.
- Burgess, J. 1990. The production and consumption of environmental meanings in the mass media: a research agenda for the 1990s. *Trans. Inst. Br. Geog.* Pp. 139-161.
- CALMET. 1998. Balance de radiación solar y terrestre. AL Working group of schoti.
- Cairns, sally y Newson, Carey. 2005. Predict and decide. Aviation, climate change and UK policy. ECI Research Report 33. University of Oxford (UK)
En línea:
<http://www.eci.ox.ac.uk/energy/downloads /predictanddecide.pdf>
- Ciesla WM. 1996. Cambio Climático, bosques y ordenación forestal. Una visión de conjunto. Roma, IT, FAO. Pp. 147.
- Cone C., D. Liverman, M. Flores, R. Ferrer, R. Araujo, E. Betancourt, G. Villarreal y C. Gay. 1997. Vulnerability of rainfed maize crops in Mexico to climate change. *Climate Research*. Pp. 1-23. Conde, C., R.M. Ferrer y D. Liverman (1999). "Estudio de la vulnerabilidad de la agricultura de maíz de temporal mediante el modelo CERES - maize", en Gay C., México: Una visión hacia el siglo XXI. El cambio climático en México. México, Centro de Ciencias de la Atmósfera. UNAM.
- Conde, C., O. Sánchez, C. Gay. 2000. Escenarios básicos y regionales. Estudio de País: México", en México ante el cambio climático. Primer Taller Estudio de País: México, Cuernavaca, Morelos, México. Pp. 39-44.

- Conde C. A., Flores G. 2005. Agricultura y Cambio Climático. Centro de Ciencias de la Atmosfera, UNAM. ASERCA, Abril 2005
Enlínea:
http://www.infoaserca.gob.mx/ponencias/AgriculturaYCambioClimatico_aserca.pdf
- Conde, C. y S. Orozco (2006). "Climate Change and Climate Variability Impacts on Rained Agricultural Activities and Possible Adaptation Measures. A Mexican Case Study". *Atmósfera*, Vol. 19, Num.3. Pp. 181-194.
- Crowley, T.J., and T. Lowery. 2000. How Warm Was the Medieval Warm Period? A Comment on "Man-made versus Natural Climate Change". Pp. 29, 51-54.
- Danilov A. D. 200F2 Region response to geomagnetic disturbances. *Journal of atmospheric and solar-terrestrial physics*. Pp. 441-449.
- Dixon, R.K. 1998. Agroforestry systems: Sources or sinks of greenhouse gases? *Agroforestry systems*. Pp. 99-116.
- Dunn, Seth. 1997. Controlling the climate experiment. *Earthtimes*.
En línea: <http://www.earthtimes.com>.
- Echarri, Luis. 1998. "Ciencias de la tierra y medio ambiente". Ed. Teide, electrónico.
En línea: <http://www.tecnun.es/Asignaturas/ecologia/HiperCaCli.htm>
- Eddy John. 1976. "The maunder minimum", *Science*, vol. 192, No.4245. Pp.1189-1202.
- Edwards, P. S. Schineider, 1997. Climate change: broad consensus or "scientific cleansing"? *Ecofable/ ecoscience* , vol 1. Pp. 3-9.
- Emanuel, W.R., H.H. Shugart and M.P. Steveson. 1985. "Climatis change and the broad-scale distribution of terrestrial ecosystem complexes" en *climate change*, Vol. 7. Pp. 29-43.
- EPPE.2003. Reanálisis de 44 años (1958-2001) del clima oceánico y atmosférico en el mar Mediterráneo: Informe técnico de la contribución de puertos del estado al proyecto Europeo hipocas. Pp.305.
- Erickson, J. 1997. El efecto invernadero: desestresante de mañana, Hoy. Madrid, España, McGraw- Hill/Interamericana. Pp. 217.

- Evan, H. De Lucia, Jason, G. Hamilton, Shawna, L. Naidu, Richard, B. Thomas, Jeffrey, A. Andrews. 1999. "Net primary production forest ecosystem with experimental Co2 enrichment". Revista science, Mayo.
- Ferrer, R. 1999. Impactos en el cambio climático en la agricultura tradicional en el municipio de Apizaco, Tlaxcala. Tesis. Facultad de ciencias, Universidad nacional autónoma de México.
- Ferreya, E. 2008. Influencia de las variaciones solares el cambio climático. Presidente de FAEC "fundación Argentina de ecología científica". En línea: <http://www.mitosyfraudes.org/calen8/solar-1.html>.
- Flores, E.M., R. Araujo, E. Betancourt and D.Liverman.1999. Comportamiento de la superficie potencialmente apta para el cultivo de maíz de temporal ante un cambio climático. Memorias del segundo taller de estudios de país: México. México ante el cambio climático, 8 a 11 mayo, 1996. Cuernavaca, Morelos, México. Pp. 179-184.
- Frakes, L.A., Francis, J.E. and Syktus, J.I. 1999. Climate modes of the phanerozoic. Cambridge University Prees. Pp. 274.
- Fuentes, C.V., 2007. La gigantesca explosión volcánica que oscureció al sol, produciendo un cambio climatológico repentino. Revista ciencia ahora, No 19, Universidad de concepción, Chile.
- Gay Carlos. 1996. Memorias del Segundo Taller del Estudio del País México ante el Cambio Climático. INE, CCA, UNAM, USCSP. Cuernavaca, Mor., 1995.
- Gay Carlos. 1995. Memorias del Primer Taller del Estudio del País: México ante el Cambio Climático. INE, CCA, UNAM, USCSP. Cuernavaca, Mor., 1994.
- Gay Carlos. 2000. México: una visión hacia el siglo XXI. El cambio climático en México. Resultados de los estudios de la vulnerabilidad del país, coordinados por el INE con el apoyo del U.S. Country Studies Program. México: INE, SEMARNAP, UNAM, U.S. Country Studies Program.
- Gay, Carlos. 2003. México: una visión hacia el siglo XXI. El Cambio Climático en México. Resultados de los estudios de la vulnerabilidad del país. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales y Universidad Nacional Autónoma de México.

- Gay, Carlos, F. Estrada, C. Conde y H. Eakin. 2004. "Impactos Potenciales del Cambio Climático en la Agricultura: Escenarios de Producción de Café para el 2050 en Veracruz, México", en García Condrón, J.C., Diego Liaño, Fernández de Arróyabe Hernández, Garmendia Pedraja y Rasilla Álvarez. Asociación Española de Climatología y Universidad de Cantabria, Serie A.
- GCCIP. 1997. Global Climate Change Information Programme.
En línea: <http://www.doc.mmu.ac.uk/>
- Githeko AK, Lindsay SW, Confalonieri UE, Patz JA. 2000. Climate change and vector-borne diseases: a regional analysis. Bull World Health Organization. Pp.1136-1147.
- Gomez Echeverri, L. 2000. Cambio climático y desarrollo. San José, CR, PNUD-Yale School of Forestry and Environmental Studies. Pp. 465.
- González Hidalgo. 2005. Introducción a los modelos de sistemas energéticos, económicos y medioambientales: Descripción y aplicaciones del modelo POLES. IPTS, CCE. Comisión Europea (mimeo).
- Greenpeace. 2001. Los efectos del cambio climático en los glaciares del planeta; Los glaciares de la Patagonia en Sudamérica.
En línea: <http://www.greenpeace.org/raw/reports/los-efectos-del-cambio-climati.pdf>
- Hall, N. L. & Taplin, R. 2005 Confronting climate change: a review of theoretical perspectives on environmental NGOs and their campaign effectiveness. Griff. J. Environ.
- Harrington, J.B. 1990. Climatic change: a review of causes. Canadian Journal and Forestry Research. Pp. 1313-1339.
- Haas P. & McCabe D. 2001. Amplifiers and dampeners: international institutions and social learning in management of global environmental risks. In Learning to manage global environmental risks: a comparative history of climate change, ozone depletion and acid precipitation (ed. Social Learning group), Cambridge, MA: MIT Press. Pp. 323-348.
- Hays J.D., J. Imbrie y N.J. Shackelton. 1976. "Variations in the Earth's Orbit: Pacemaker of the Ice Ages". In Science, vol. 194. Pp. 1121-32.

- Hecht L. 2008. ¿Que cambia en realidad el clima? ante la campaña de propaganda contra la industrialización y el desarrollo económico de las naciones. Editor de la revista 21st Century, Science & Technology.
- Hecht L. 1995. "La era de hielo venidera". Edición de invierno de 1993-1994 de la revista 21st Century Science & Technology. Pp. 22-35.
En línea: www.21stcenturysciencetech.com/ComingPresentIceAge.pdf
- Houghton, J.T., Jenkins, G.J. y Ephraums, J.J. 1990. The Climatic Change. Scientific Assessment of the IPCC. Cambridge University Press, trad. Por el Instituto Nacional de meteorología en 1992.
- Houghton, J.T., Callander, B.A., and Varney, S.K., 1990. Climate Change: The IPCC Scientific Assessment. Cambridge University Press. Pp. 365.
- Houghton, J.T., Callander, B.A., and Varney, S.K., 1992. Climate Change 1992: The Supplemental Report to the IPCC Scientific Assessment. Cambridge University Press. Pp. 200.
- Houghton J.T., Callander, B.A., and Varney, S.K., 1997. Climate Change: The IPCC Scientific Assessment. Cambridge University Press. Pp. 365.
- Houghton J. T, Y. Ding D.J. Griggs, M. Noguer, P. J. van der Linden and D. Xiaosu. 2001. "Climate Change 2001: The Scientific Basis". Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, UK.
- Hoyty Kenneth H. Schatten. 1979. "the role of the Sun in climate change", Oxford University Press.
- IATA. 2005. Fuel Efficiency.
En línea: http://www.iata.org/whatwedo/environment/fuel_efficiency.htm
- Ibarrarán, M.E., Antoinette L. Brenkert, and Elizabeth L. Malone (2007), "Climate change vulnerability and resilience: an exploratory analysis for Mexico", Joint Climate Change Research Institute, College Park, MD.
- Ibarrarán, M.E., M. Ruth, S. Ahmad y M. London (2006a), "Climate Change and Natural Disasters: Macroeconomic Performance and Distributional Impacts", University of Maryland, School of Public Policy.
- Instituto Nacional de Ecología (2007). México. Tercera Comunicación nacional ante la convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático. Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

- Instituto Nacional de Ecología (INE) (2006a). Análisis de escenarios de cambio climático y vulnerabilidad de sectores clave en México y propuestas de adaptación. Estudio desarrollado por el Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM. Informe de síntesis.
- Intergovernmental panel of climate change. 1999. Aviation and the Global Atmosphere.
En línea: <http://www.grida.no/Climate/ipcc/aviation/index.htm>
- International energy agency. 2008. World Energy Outlook 2007. IEA Publications. París.
En línea: <http://www.iea.org/Textbase/npsun/WEO2007SUM.pdf>
- INE-SEMARNAP (Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca). 1997. Primera Comunicación Nacional Ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. México: INE- SEMARNAP.
- IPCC. 1997. Página web. About IPCC. Acerca de IPCC. Online at
En línea: www.ipcc.ch/about/about.htm
- IPCC. 2000. Land use, Land use change, and forestry. Special Report of IPCC, Cambridge University Press. Pp. 377.
- IPCC, Climate change. 2001. The scientific, basis, technical summary. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Published for the Intergovernmental Panel on Climate Change.
En línea: http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg1/pdf/wg1_tar-front.pdf
- IPCC. 2001. El cambio climático, la base científica. Working Group II Report "Impacts, Adaptation and Vulnerability"
En línea: <http://www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-wg2>
- IPCC. 2001. Third Assessment Report-Climate Change 2001: The scientific basis. Approved by IPCC Working Group II in Geneva, 13-16 February 2001.
En línea: www.ipcc.ch/
- IPCC, 2007. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, formado por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) en 1988.
En línea: <http://www.ipcc.ch/languages/spanish.htm>

- IPCC website. Masood, E. 1996. Masood E. 1998. Head of climate group rejects claims of political influence. *Nature* 381:455. Jefe de grupo clima rechaza demandas de influencia política. *Nature*. IPCC website. IPCC página web. Principles & procedures. Principios y procedimientos. Pp. 381-455.
En línea en www.ipcc.ch/about/procd.htm.
- Isla Cristina. 2001. ¿Cómo se predice el Cambio Climático? IPCC-(Cubash-2001)
En línea: http://www.juntadeandalucia.es/predice_cambio_climatico.pdf
- Jihong Cole-dai, Drew M. Budner, and Daveg Ferris. 2006. (Department of Chemistry and Biochemistry, South Dakota State University, Brookings, South Dakota 57007). High Speed, High Resolution, and Continuous Chemical Analysis of Ice Cores Using a Melter and Ion Chromatography. *Environmental Science and Technology*. Pp. 6764-6769.
- Jiménez G. G. 2003. Análisis Comparativo de indicadores sobre el agua en las cuencas de ríos Nasas-Aguanaval y Conchos. En Martínez R. J. J; resumen P. S; Martínez T. J. Martínez R. A. (eds). XV Semana Internacional de Agronomía PP: 89-96. "M. A. Jose Ramon Hernandez Meraz". Facultad de Agronomía y Zootecnia. Universidad Juarez del Estado de Durango. Venecia, Durango; Mexico.
- Jones C. A., and Kiniry J. R. 1986. CERES-Maize: A Simulation Model of Maize Growth and Development. Texas A&M University Press, College Station, Texas. 37: 341-350
- Jones J. Pittock and Smit. 2004, NCSP workshop2000.
En línea: http://www.undp.org/cc/apf_outline.htm
- Jones J.W., Keating B.A., and Porter C.H. 2001. Approaches to modular model development. *Agricultural Systems* 70: 421-443.
- Jones, R. 2000. The rail gun: A popular demonstration of the Lorentz force. *Am. J. Phys.* 68 (8) August.
- Jones P.D.; Wigley, T.M.; Wright, P.B. 1986. Global temperature variations between 1861 and 1984. *Nature* 322. Pp. 430-434.
- Kauppi, P., and Posch, M. 1985. "Sensitivity of boreal Forest to possible climatic warming", en *Climatic Change*, Vol. 7. Pp. 45-54.

- Kelly P. M. y W. N. Adger. 2000. Theory and practice of assessing vulnerability to climate change and facilitating adaptation. *Climatic Change* 47. Pp. 325 -352.
- Kingdon J.W. 1984. *Agendas, alternatives, and public policies*. Boston, MA: Little-Brown.
- Kovats RS. 2000. El Niño and human health. *Bull World Health Organ.* 78:1127-35.
- Kovats RS, Bouma MJ, Hajat S, Worrall E, Haines A. 2003. El Niño and health. *Lancet*. Pp. 1481-9.
- Lashof, Dan. 1997. *Global Warming Central: Debate numbers three*.
En línea: <http://www.law.pace.edu/>
- Leiserowitz A. A. 2005. American risk perceptions: is climate change dangerous. *Risk Anal.* 25. Pp. 1433–1442.
- Lean J. 1991. "Variations in the Sun's radiative output," *Reviews of Geophysics*, vol. 29, No. 4. Pp. 353-378.
- Lean J.L., White, O.R., y Skumanich, A., 1998. "On the solar ultraviolet spectral irradiance during the Maunder Minimum," *Global Biogeochemical Cycles* vol. 9, No. 2. Pp.171-182.
- Liverman D. 1994. Possible Impacts of climate change on maize yields in Mexico. In: ROSENZWEIG, C. and IGLESIAS, A. (Eds.). *Implications of Climate Change for International Agriculture: Crop Modeling Study*. U.S. Environmental Protection Agency, Mexico. Washington D.C., Pp. 1-4.
- López Vélez, Rogelio y Molina Moreno, Ricardo. 2005. Cambio climático en España y riesgo de enfermedades infecciosas y parasitarias transmitidas por artrópodos y roedores. *Rev. Esp. Salud Pública*, mar.-abr. Vol. 79. No.2, ISSN 1135-5727. Pp.177-190.
En línea: <http://scielo.isciii.es/pdf/resp/v79n2/colaboracion4.pdf>
- Lopez A; Schlönvoigt, A; Ibrahim, M; Kleinn, C; Kanninen, M. 1999. Cuantificación del carbono almacenado en el suelo de un sistema silvopastoril en la zona Atlántica de Costa Rica. *Agroforestería en las Américas*. Pp. 51-53.
- Ludevid Anglada, Manuel. 1999. *El cambio global en el medio ambiente. Introducción a sus causas humanas*, México, Alfa-Omega.

- Maslin M. 2004. Global Warming, a very short introduction. Oxford University Press, Oxford.
- Marland, G., T.A. Boden, and R. J. Andres. 2007. Global, Regional, and National CO2 Emissions. In Trends: A Compendium of Data on Global Change. Oak Ridge National Laboratory, United States Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., U.S.A."
- Masood E. 1998. Jefe de grupo clima rechaza demandas de influencia política. Nature. IPCC página web. Principios y procedimientos. Pp. 381-455
En línea en www.ipcc.ch/about/procd.htm.
- Mackenzie Fred. 2001. An Introduction to Earth System Science and Global Environmental Change, Estados Unidos, Prentice-Hall.
- Markham, A. 1996. "Potential impacts of climate change on ecosystems: a review of implications for policymakers and conservation biologist", en Climate Research, Vol. 6, No. 2. Pp. 179-191. CR Special.
- Magaña V. and Conde C. 2000. "Climate variability and freshwater resources in northern Mexico. Sonora: a case study". Environmental Monitoring and Assessment, KLUWER Academic Publishers, 61, Pp. 167-185.
- Meléndez G. R. Valdez C. R. D; Peña R. R. 1990. Modulo de Introducción al cultivo y aprovechamiento integral del recurso vegetal de zonas áridas en la Comarca Lagunera. Universidad Autónoma Chapingo. Subdirección de Centros Regionales, Ponencia presentada en el Primer Seminario de Investigación Regional, Servicio y Enseñanza Agrícola en Zacatecas. Centro Regional Universitario Centro Norte. 29-30 de Noviembre de 1990. Bermejillo, Durango. México.
- Mendoza Blanca. 2007. El Sol tiene efectos antropogénicos, e incide en el cambio climático. Instituto de Geofísica (IG) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).
En línea: <http://www.jornada.unam.mx/2007/06/19/index.php?ciencias>
- Méndez F. J. 2004. Estudio de los Impactos en la Costa Española por efecto del Cambio Climático. En: IV Congreso de la Asociación Española de Climatología (AEC). Prudence Project.
En línea: <http://prudence.dmi.dk>

- Mendoza, V.M.; Villanueva, E.E. and Adem J. 1997. "Vulnerability of basins and watersheds in Mexico to global climate change". *Clim. Res.* (2). Pp. 139-145.
- Miller, G. T. 1991. *Environmental Science, Sustaining the Earth*. Wadsworth Publishing Company, USA. Tercera Edición. Pp. 465.
- Moreno José Manuel, A. Cruz. 2005. Principales Conclusiones de la Evaluación Preliminar de los Impactos en España por efecto del Cambio Climático. Departamento de Ciencias Ambientales. Universidad de Castilla-La Mancha Toledo.
En línea: <http://www.aguastenerife.org/PDF/Jornadas-AlbertoCruz.pdf>
- Munasinghe M. 2003. *Analysing the Nexus of Sustainable Development and Climate Change: An Overview*, OCDE.
- Nebel J. y R.T. 1999. *Wright: Ciencias Ambientales: Ecología y Desarrollo Sostenible*. Madrid, Ed. Prentice Hall.
- Nilsson, A. 1997. *Greenhouse earth*. John Wiley and Sons, England. Pp. 219.
- NRDC "Natural Resources Defense Council". 2007. The earth's best defense. En su traducción en español "El Consejo para la Defensa de Recursos Naturales" organización nacional de científicos, abogados y especialistas dedicados a la protección de la salud pública y el medio ambiente.
En línea: <http://www.nrdc.org/default.asp>.
- Núñez, MN. 2007. El clima esperado para la Argentina hacia fines del siglo XXI. *Ciencia Hoy* 16. Pp. 16-21.
En línea: www.cedha.org.ar/es/iniciativas/clinica_cambioclimatico.doc
- OECC. 2002. Principales conclusiones del Tercer Informe de Evaluación. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). En: *Cambio Climático: Ciencia, Impactos, Adaptación y Mitigación*. Ministerio de Medio Ambient. Pp. 35.
- ONU "Organización de las Naciones Unidas". 1998. Protocolo de Kyoto de la convención marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.
En línea: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas. 2005. La protección de la Capa de Ozono y el sistema Climático mundial. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el cambio climático. Pp. 5.

- Peltier, W.R. & JIANG, X. 1994. The precession constant of the earth: variations through the ice age. *Geophysical Research*. Vol. 21. Pp. 2299-2302.
- Porter C., Jones J. W., and Braga R. 2000. An approach for modular crop model development. International Consortium for Agricultural Systems Applications, 2440 Campus Rd., 527 Honolulu, HI 96822, pp. 13. Available from
En línea: <http://www.icasanet.org/modular/index.html>.
- Ritchie J. T. 1972. Model for predicting evaporation from a row crop with incomplete cover. *Water Resources Research* 8: 1204-1213.
- Ritchie J. T. and Otter S. 1985. Description and performance of CERES-Wheat: a user-oriented wheat yield model. In: ARS Wheat Yield Project. ARS-38. Natl Tech Info Serv, Spring-field, Missouri, pp: 159-175.
- Ritchie J. T., Singh U., Godwin D. C., and Bowen W. T. 1998. Cereal growth development and yield. In: Tsuji, G.Y., Hoogenboom, G., Thornton, P.K. (Eds.), *Understanding Options for Agricultural Production*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands, pp. 79.
- Robert A. Dull, John R. Southon, Payson Sheets. 2001. Volcanism, Ecology and Culture: A Reassessment of the Volcan Ilopango Tbj eruption in the Southern Maya Realm. *Latin American Antiquity*. Vol. 12, No. 1 (Mar., 2001), Pp. 25-44.
- Sánchez Camarillo, J. 2007. Sistemas agrícolas y lixiviación de nitratos al acuífero regional. Tesis de Maestría. Dirección General de Educación Tecnológica. Instituto Tecnológico de Torreón. 130 p.
- Sargent, N.E. 1988. Redistribution of the Canadian boreal forest under a warmed climate, *Climatologically Bulletin*. Vol. 22(3). Pp. 23-34.
- Segura, G. 1992. "Deforestación y cambio climático", en *Memorias. Reunión anual del Programa Universitario de Medio Ambiente*. Vol. 1. México, UNAM.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) (2007). Situación actual y Perspectivas del maíz en México 1996-2012. SIAP, SAGARPA.
En línea: <http://www.siap.gob.mx/>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) (2006a). Situación actual y perspectiva de frijol en México 2000-2005.
En línea: http://w4.siap.gob.mx/sispro/SP_AG/sp_frijol.html

- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) (2006b). Ingresos del hogar provenientes de negocios agrícolas 1998 – 2004.
- Servicio de información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) (2006c). Avance de siembras y cosechas, resumen nacional, incluye programa, riego y temporal, para diferentes años. Elaborado con información de las Delegaciones de SAGARPA.
En línea: <http://www.siap.gob.mx/>
- Shugart, H.H. 1984. A Theory of Forest Dynamics. Springer-Verlag, Nueva York, N.Y.
- Singer Peter. 2005. Ética Práctica. Estados Unidos, Ed. Cambridge University Press.
- Smith, T.M., H. H. Shugart, G. B. Bonan, J. B. and Smith. 1992. "Modeling the Potential Response of Vegetation to Global Climate Change", advances in Ecological Research, 22. Pp.13-113.
- Soares, C.G. 2002. A 40 years hindcast of wind, sea level and waves in European waters. Proceedings of OMAE 2002: 21^o International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering. OMAE2002-28604.
- Svensmark, Henrik. 2007. Astronomy & Geophysics, "Cosmoclimatology: a new theory emerges", Vol. 48, Issue 1. February. Pp. 18-24
En línea: <http://www.spacecenter.dk/research/sun-climate/global-warming>
- Takle, Eugene S. 1997. "Balance global de energía" Iowa State University.
En línea:
http://www.meteor.iastate.edu/gccourse/forcing_lecture_es.html
- Tejeda, Adalberto. 2007. "Estado de la investigación de los aspectos físicos del cambio climático". Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM, Núm. 62, 2007. Pp. 31-43.
- Tijerina Chávez Leonardo. 2008. La agricultura en el contexto del Cambio Climático. Simposio sobre gestión conjunta en el control de contaminantes atmosféricos y gases de efecto invernadero en Norteamérica. México, D. F.
En línea: <http://mce2.org/narsto/narstotech/Dr%20Tijerina-2.pdf>
- Velásquez Fernando. 2009. Cambio climático, México será unos de los países más afectados por el CC gradual de la Tierra. Revista Proyección Económica 2010. 25/04/2009. Pp. 17-18.

Zaballa R. Mauricio. 2007. Causas y Efectos del Cambio Climático. Programa Nacional de Cambios Climáticos. República de Bolivia Ministerio de Planificación del Desarrollo Viceministerio de Planificación Territorial y Medio Ambiente. La Paz, Enero.