

Impacto del cambio climático sobre la disponibilidad de agua y producción de maíz en la región lagunera.

José Miguel Castro Aguilera

Tesis

Presentada como requisito parcial para obtener el grado de Maestría en Ciencias Agrarias



Universidad Autónoma Agraria
Antonio Narro
Unidad Laguna

Torreón, Coahuila, julio de 2015

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO

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

JOSÉ MIGUEL CASTRO AGUILERA

Elaborada bajo la supervisión del comité particular de asesoría y aprobada como
requisito parcial para optar por el grado de

MAESTRO EN CIENCIAS AGRARIAS


COMITÉ PARTICULAR

Asesor principal



Dr. Vicente De Paul Alvarez Reyna

Co-asesor



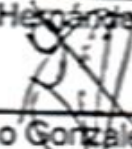
Dr. Juan Guillermo Martinez Rodriguez

Asesor

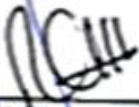


Dr. Vicente Hernandez Hernandez

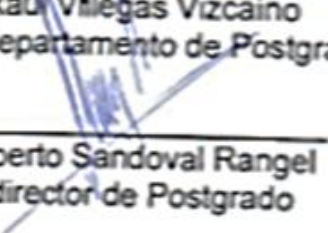
Asesor



Dr. Guillermo Gonzalez Cervantes



Dr. Raúl Villegas Vizcaino
Jefe del Departamento de Postgrado



Dr. Alberto Sandoval Rangel
Subdirector de Postgrado

Torreón, Coahuila, julio de 2015.

El presente trabajo de investigación se realizó en su totalidad en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” Unidad Laguna en Torreón, Coahuila, bajo la dirección y asesoría del Ph. D. Juan Guillermo Martínez Rodríguez investigador titular del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).

DEDICATORIA

A mis padres

Miguel y Aurora, 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 he 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 familia

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

A los Ph. D.

Juan Guillermo Martínez Rodríguez y Vicente de Paúl Álvarez Reyna, por haberme brindado su amistad incondicional, ya que a lo largo de varios años he sido su alumno tanto como de licenciatura y de maestría; quienes compartieron parte de su enseñanza y experiencias, las cuales fueron fundamentales en mi formación profesional.

AGRADECIMIENTOS

A MIS PADRES. Por haber depositado toda la confianza en mí 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 todas las metas y objetivos que me he fijado.

A MI ALMA MATER. Institución que me adopto, permitiéndome formar parte de ella, sobre todo porque mi Alma Mater ha 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...

A LA UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO” UNIDAD LAGUNA. Permitiendo realizar las investigaciones en su campo experimental, que están plasmadas en este documento, en especial al Ph. D. Juan Guillermo Martínez Rodríguez, quien me asesoro en este proyecto, y por brindarme su amistad durante todos estos años.

A MIS ASESORES. Ph. D. Juan Guillermo Martínez Rodríguez y Ph. D. Vicente de Paúl Álvarez Reyna, por haber depositado toda su confianza y brindarme su apoyo.

A LOS INTEGRANTES DEL COMITÉ REVISOR: Ph. D. Juan Guillermo Martínez Rodríguez, Ph. D. Vicente de Paúl Álvarez Reyna, Ph. D. Vicente Hernández Hernández y el Dr. Guillermo González Cervantes; quienes con su ayuda se hace posible este trabajo, realizando sugerencias y correcciones.

Al Ph. D. Juan Guillermo Martínez Rodríguez; Ph. D. Vicente de Paul Álvarez Reyna 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 REGION LAGUNERA.

POR

JOSÉ MIGUEL CASTRO AGUILERA

MAESTRÍA EN CIENCIAS AGRARIAS
EN PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

Torreón, Coahuila, julio de 2015

PH. D. JUAN GUILLERMO MARTÍNEZ RODRÍGUEZ, PH. D. VICENTE DE
PAUL ALVAREZ REYNA – Asesores

Palabras Clave: Cambio Climático, Temperatura, Evapotranspiración,
Balance Hídrico, Rendimiento.

El cambio climático es una realidad que se está manifestando con rapidez y contundencia de lo que se ha previsto hasta ahora, cuyas consecuencias estamos empezando a sufrir en forma de sequías e inundaciones. La presente investigación tuvo por objetivo evaluar cambio climático regional sobre el comportamiento del maíz forrajero bajo tres tratamientos de aplicación de agua y cuatro fechas de siembra. Los parámetros medidos fueron: crecimiento y, rendimiento de las plantas. Así como la evapotranspiración estacional en la Comarca Lagunera.

Los resultados concurren a medida que las unidades calor (UC) se fueron acumulando en las diferentes fechas de siembra el clima hizo su función, logramos observar que una vez concluido los ciclos de cada fecha, la siembra cuatro en específico se desarrolló a mayor velocidad que la primer fecha de siembra pero algo importante sucedió, aunque las últimas fechas parecían ir más rápido la uno al final acumulo más UC y en rendimiento fue la mayor, con lo anterior se trascribe que los cultivos se ven afectados por la fecha de siembra empleada, los mayores rendimientos se presentan en fechas tempranas, mientras que el rendimiento más bajo corresponden a la fecha del mes de abril. Lo anterior sugiere que, debido al nuevo comportamiento de las temperaturas, quizá sea conveniente modificar las fechas de siembra óptimas para los cultivos regionales y específicamente para el maíz forrajero.

ABSTRACT

IMPACT OF THE CLIMATIC CHANGE ON THE AVAILABILITY OF WATER Y PRODUCTION OF CORN IN THE REGION LAGUNERA.

BY

JOSÉ MIGUEL CASTRO AGUILERA

**MASTER OF AGRICULTURAL SCIENCES
IN AGRICULTURAL PRODUCTION**

Torreón, Coahuila, July del 2015

**PH. D. JUAN GUILLERMO MARTÍNEZ RODRÍGUEZ, PH. D. VICENTE DE
PAUL ALVAREZ REYNA – Advisors**

Key words: Climate Change , Temperature , Evapotranspiration , Water Balance , Performance.

Climate change is a reality that is emerging with speed and force of what is planned so far, whose consequences are beginning to suffer in the form of droughts and floods. Objective of this research was to assess regional climate change over the behavior of the forage maize under three treatments of implementation of water and four planting dates. Parameters measured were: growth and performance of the plants. As well as seasonal evapotranspiration in the Comarca Lagunera

Results gathered as units (UC) heat were accumulating in different sowing dates weather made its function, we were able to observe that once completed cycles of every date, planting four specific developed faster than the first sowing date but important happened, although recent days seemed to go faster at the end one can accumulate more UC and in yield was the largest with the foregoing is transcribe that crops are affected by the employed sowing date, the highest yields occur at early dates, while the lower yield correspond to the date in the month of April. This suggests that, due to the new behavior of temperatures, may be convenient to modify the optimal planting dates for regional crops and specifically for the forage maize.

ÍNDICE

	Página
COMPENDIO	I
ABSTRACT	III
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.....	6
2.2 Bases teóricas del cambio climático.....	10
2.3 Causas del cambio climático global (Efecto invernadero).....	13
2.3.1 Los efectos antropogénicos.....	22
2.4 El cambio climático actual.....	25
2.4.1 Combustibles fósiles y calentamiento global.....	28
2.5 Cambio climático en la producción de los cultivos en México.....	30
3. MATERIALES Y MÉTODOS	39
3.1 Descripción del área de estudio.....	39
3.2 Datos requeridos.....	40
3.2.1 Escenarios del cambio climático y evapotranspiración.....	43
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	48
5. CONCLUSIONES	73
6. LITERATURA CITADA	75

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Predicciones a nivel mundial.....	17
Cuadro 2. Gases responsables del efecto invernadero natural.....	20
Cuadro 3. Gases que producen el efecto invernadero.....	21
Cuadro 4. Ejemplo de enfermedades infecciosas y parasitarias cuya epidemiología puede verse afectado en España por el cambio climático.....	28
Cuadro 5. Caracterización de los productos analizados, 2006.....	37
Cuadro 6. Unidades calor acumuladas para diferentes etapas fenológicas del maíz en cuatro fechas de siembra	54
Cuadro 7. Altura de planta (cm) para los diferentes tratamientos de riego del maíz en cuatro fechas de siembra.....	55
Cuadro 8. Peso verde (Kg/m ²) para los diferentes tratamientos de riego del maíz en cuatro fechas de siembra.....	56
Cuadro 9. Peso en seco (Kg/m ²) para los diferentes tratamientos de riego del maíz en cuatro fechas de siembra	58
Cuadro 10. Evapotranspiración observada y calculada de acuerdo al escenario RCP 8.5 para las diferentes fechas de siembra de maíz forrajero en la Comarca Lagunera	66
Cuadro 11. Balance de Agua de la Comarca Lagunera bajo dos escenarios climáticos.....	72

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
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....	14
Figura 2. Evolución de la temperatura media mundial desde 1860.....	15
Figura 3. Representación del balance energético mundial expresado en (W.m-2).....	19
Figura 4. Evolución del hombre en relación al descubrimiento de combustibles fósiles.....	23
Figura 5. Espacio de amenaza climática.....	33
Figura 6. Mapa de la Comarca Lagunera	39
Figura 7. Temperatura promedio anual de la Comarca Lagunera de Coahuila.....	40
Figura 8. Precipitación total anual promedio de la Comarca Lagunera de Coahuila.....	41
Figura 9. Distribución espacial de los municipios que comprenden la Comarca Lagunera.....	45
Figura 10. Modelo de elevación digital (DEM) de la comarca lagunera.....	46
Figura 11. Ejemplo del uso del model builder para calcular ET de acuerdo al métodode Hargraves.....	47
Figura 12. Dinámica de la precipitación total anual de la Comarca Lagunera.....	48
Figura 13. Dinámica temporal de la temperatura media anual en la Comarca Lagunera.....	49
Figura 14. Área sembrada en el distrito de riego 17 en función del agua captada en el sistema de presas (Mm3).....	50
Figura 15. Superficie sembrada con forrajes (ha) en función del agua captada en presas regionales.....	51
Figura 16. Dinámica temporal de la superficie sembrada con cultivos forrajeros.....	52
Figura 17. Distribución estacional de la evapotranspiración en el ciclo primavera de maíz forrajero en la Comarca Lagunera.....	54
Figura 18. Tendencia de la acumulación de UC para las fechas de siembra en la comarca lagunera.....	56
Figura 19. Altura final (cm) de la planta en las diferentes fechas de siembra del cultivo de maíz.....	58

Figura 20. Rendimiento en verde (Kg/m ²) para los diferentes tratamientos de riego del maíz en cuatro fechas de siembra.....	59
Figura 21. Rendimiento en seco (kg/m ²) para los diferentes tratamientos de riego del maíz en cuatro fechas de siembra.....	61
Figura 22. Distribución espacial de la temperatura máxima promedio del mes de mayo.....	62
Figura 23. Distribución espacial de la temperatura máxima del mes de mayo de acuerdo al escenario climático RCP 8.5.....	63
Figura 24. Distribución espacial de la temperatura mínima promedio del mes de mayo.....	64
Figura 25. Distribución espacial de la temperatura mínima del mes de mayo de acuerdo al escenario climático RCP 8.5.....	65
Figura 26. Distribución espacial de la evapotranspiración del mes de mayo.....	66
Figura 27. Distribución espacial de la evapotranspiración del mes de mayo de acuerdo al escenario climático RCP 8.5.....	67
Figura 28. Valores de la evapotranspiración en función de la fecha de siembra para los escenarios promedio y RCP 8.5.....	68
Figura 29. Evapotranspiración observada en el ciclo vegetativo del cultivo de maíz y su relación con la ET calculada bajo el escenario RCP 8.5.....	69

1. INTRODUCCIÓN

El clima siempre ha variado, el inconveniente del cambio climático es que en el último siglo el ritmo de esta variación se ha acelerado de manera especial, a tal grado que afecta 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 actividades antropogénicas.

Por lo tanto esto provoca que exista variación en el clima principalmente en la temperatura y la precipitación, parámetros fundamentales en la producción agrícola.

La distribución espacial de la precipitación es muy variada, existen extensas áreas como los desiertos, donde las precipitaciones son extremadamente escasas, del orden 0 a 200 mm de precipitación por año.

Las captaciones de la cuenca del río Nazas y Aguanaval han tenido hasta el 86% variaciones con un promedio 1600 Mm³, reflejado en las superficies sembradas con variaciones de hasta 60 mil Ha. La evapotranspiración (ET) depende de la insolación, viento, temperatura y el grado de humedad de la atmósfera.

El incremento en la temperatura aumenta la ET de los cultivos y necesidades de riego en algunos casos. En el norte y noroeste de México la

demanda de agua se incrementa, al ser más frecuente el estrés hídrico. La distribución de plagas, enfermedades y fenología de los cultivos de importancia económica puede variar, la capacidad de control natural y el rendimiento podría disminuir.

México es el séptimo país en producción de maíz con veintiún millones de toneladas métricas, la comarca lagunera es una de las principales regiones con una producción de maíz forrajero de 1, 480,000 ton/año, este cultivo ocupa el segundo después de la alfalfa, con alrededor del 25% de producción en la región.

Es importante estimar la ET y balance hídrico, en base a rendimiento en el cultivo de maíz en la región lagunera para tener un concepto más claro y analizar de qué manera influyen las variaciones del clima y comparar con un escenario de referencia.

Objetivo principal

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

Objetivo específico

Determinar el efecto del cambio de clima sobre el crecimiento y rendimiento del cultivo del maíz.

Determinar el efecto del cambio de clima sobre la tasa de evaporación estacional del maíz y compararla con escenarios al año 2100.

Establecer el balance hídrico regional actual con respecto al del escenario más extremo (RPC 8.5).

Hipótesis

El cambio climático no afecta la distribución de la evapotranspiración regional, balance hídrico y rendimiento del maíz en la Comarca Lagunera.

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 es la cumbre de la tierra del Rio de Janeiro, 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 N₂ y O₂, 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/m^2) (Lashof, 1997).

Otro gas de invernadero, CH_4 , 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 CO_2 , 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 $0,6 \pm 0,2^\circ C$. 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).

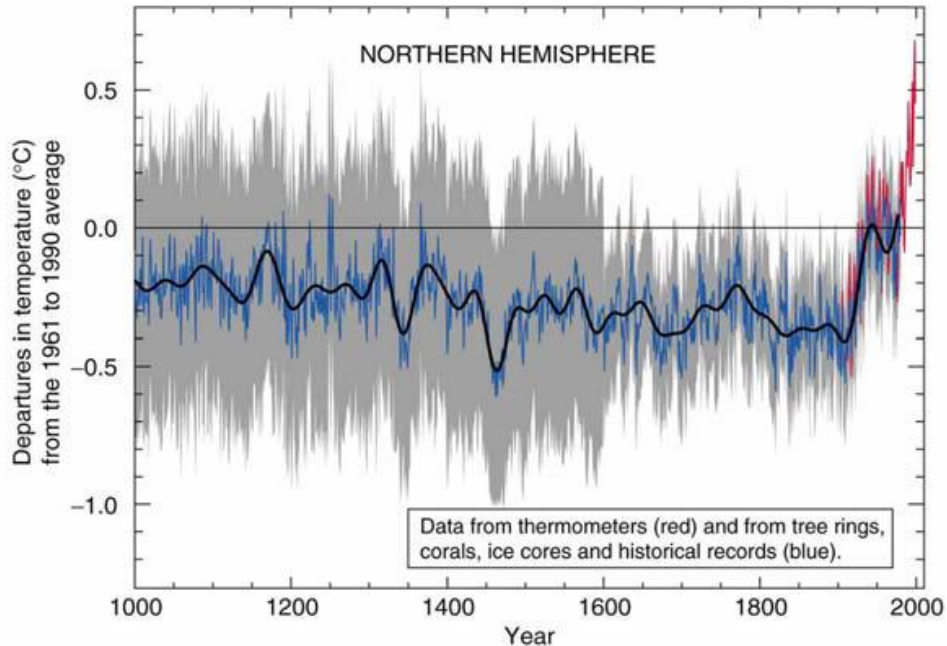


Figura 1. Evolución de la temperatura del hemisferio durante el último milenio. El área envolvente gris corresponde al intervalo de confianza del 95% de los datos. Fuente: IPCC CLIMATE CHANGE, 2001.

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).

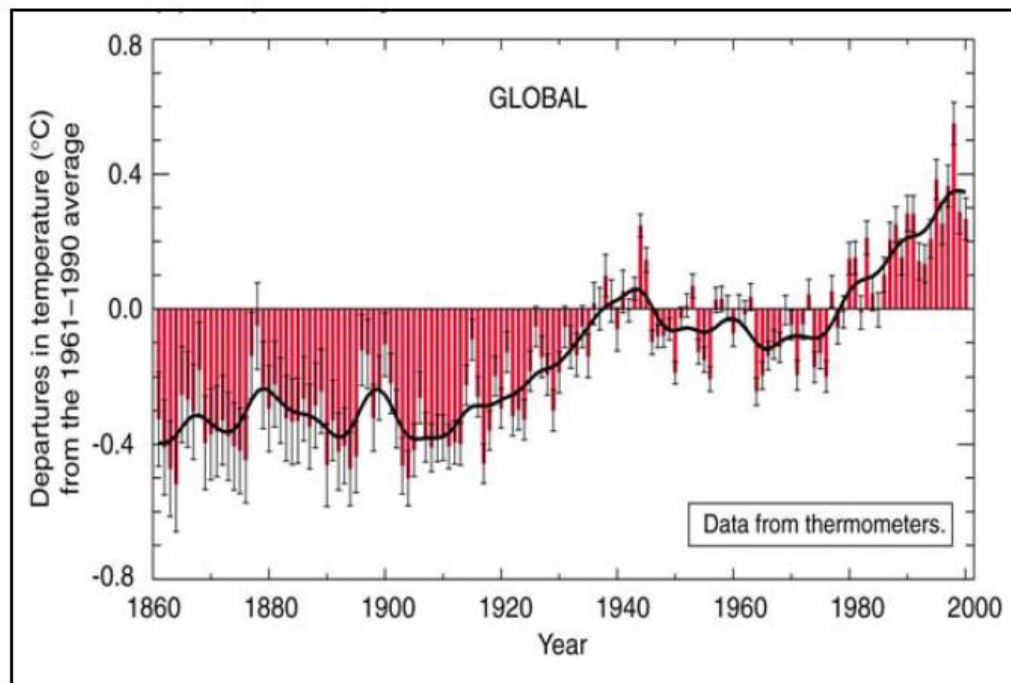


Figura 2. Evolución de la temperatura media mundial desde 1860.

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°C , si no existiera atmósfera, no habría efecto invernadero y la temperatura media sería de unos -18°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).

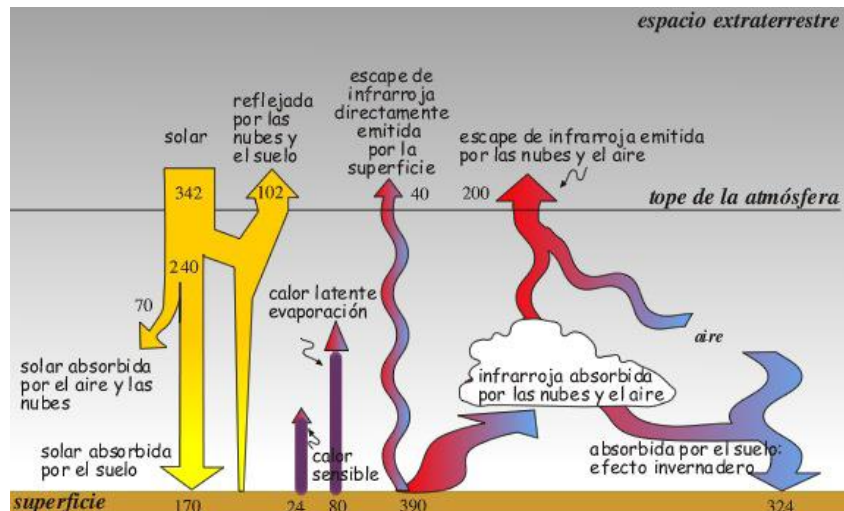


Figura 3. Representación del balance energético mundial expresado en ($W \cdot m^{-2}$). Fuente: Vila Of et al., 1998.

La energía que llega a la Tierra es absorbida principalmente por el suelo y el mar ($170 W \cdot m^{-2}$), aunque también hay una parte absorbida por las nubes y el aire ($70 W \cdot m^{-2}$). 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 (H₂O), dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxidos de nitrógeno (NO_x), ozono (O₃). 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 unos 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 (CO₂) y el incremento de la ganadería (CH₄). 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 contaminación 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 CO₂ 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).

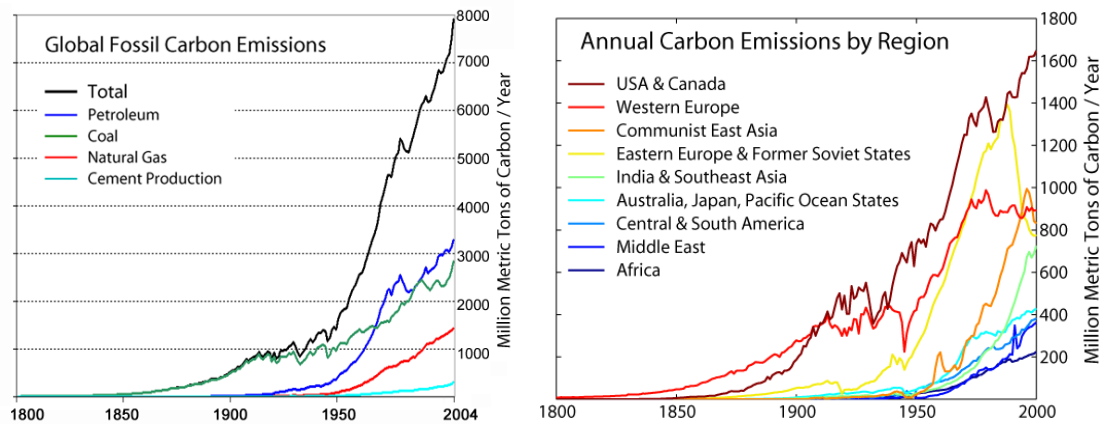


Figura 4. Evolución del hombre en relación al descubrimiento de combustibles fósiles. Fuente: Marland et al., 2007.

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.

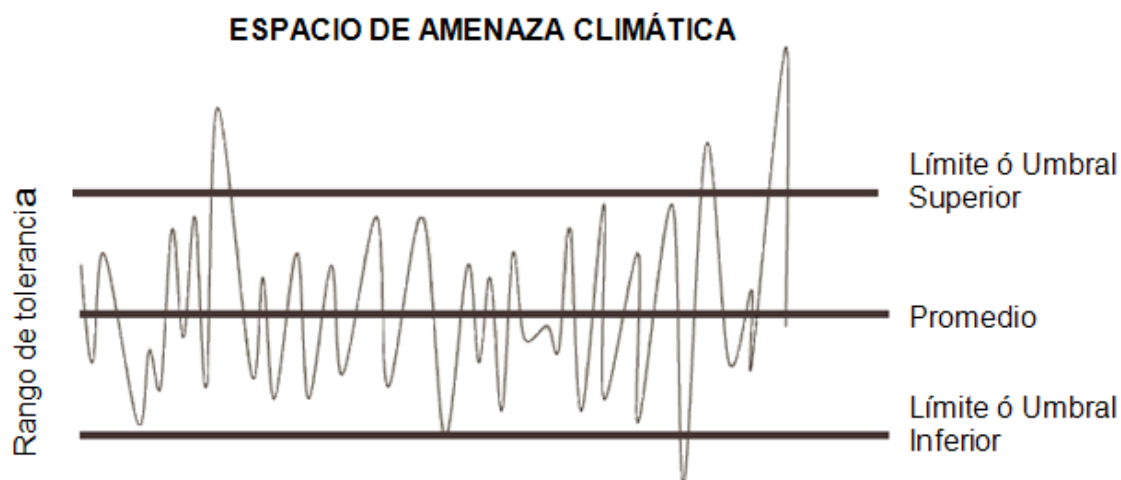


Figura 5. Espacio de amenaza climática.

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, 1997).

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 1997; 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 sobre 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.
- f) 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.

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 6. Mapa de la Comarca Lagunera.

3.2 Datos requeridos

El clima de la región se clasifica como muy seco semicálido (BWh), la temperatura media anual es de 22.6 °C, 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 7).

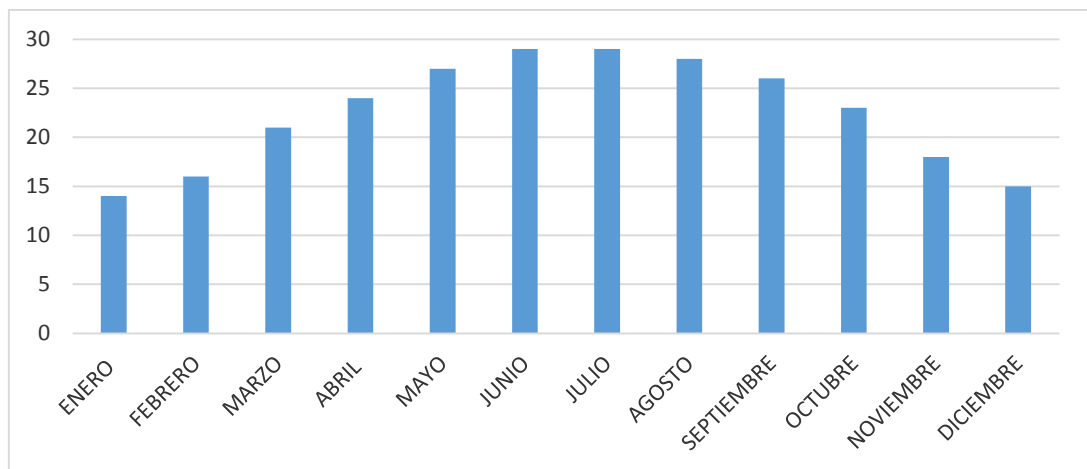


Figura 7. Temperatura promedio anual de la Comarca Lagunera de Coahuila

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 8).

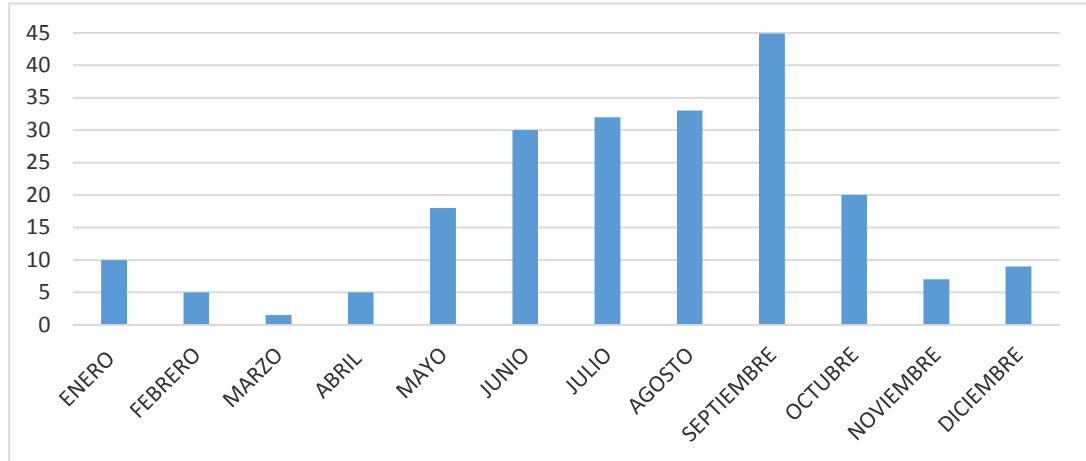


Figura 8. Precipitación total anual promedio de la Comarca Lagunera de Coahuila

El experimento se estableció en el campo experimental de las instalaciones de Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro “Unidad Laguna”.

Para lograr los objetivos del presente trabajo se estableció un experimento con cuatro fechas de siembra los días 21 de febrero, 7 de marzo, 21 de marzo y el 12 de abril, se evaluaron diferentes aplicaciones de riego en base a la demanda evaporativa al 60, 80 y 100% (T1, T2 y T3) con la finalidad de observar su efecto sobre la producción de maíz en la Comarca Lagunera.

El material vegetativo para ciclo largo se utilizó el AN-447, la fertilización se realizó de la siguiente manera, se le aplicó a la siembra una dosis de fertilización de 120-80-00 de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) respectivamente, las fuentes de fertilizante fueron de Urea y Ácido fosfórico.

El diseño experimental fue en bloques al azar, cada tratamiento con seis repeticiones, la unidad experimental fue de 15 m² por repetición, la parcela útil fueron los dos surcos centrales de cada tratamiento. Los tratamientos se diseñaron de la siguiente manera: T1 aplicar los riegos al 60 % de la demanda evaporativa regional, T2 al 80% y T3 al 100%. La densidad de siembra de 133 mil plantas por hectárea (10 semillas por metro lineal).

La cosecha se realizó cuando el cultivo en cada tratamiento alcanzo la etapa de desarrollo conocida como un tercio de la línea de leche, al momento de corte de cada tratamiento se evaluó altura, producción de forraje verde y se tomaron muestras para determinar el porcentaje de materia seca, calculando la producción de forraje seco. Para determinar materia seca se tomó una planta como muestra se trituro los tallos, hojas y mazorca se metieron las muestras a deshidratar en una estufa de secado a 75°C por 24 horas hasta alcanzar peso constante.

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 2014. 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.

3.2.1 Escenarios del Cambio Climático y Evapotranspiración.

Para el cálculo de los valores de evapotranspiración potencial se utilizó la cartografía digital de la Comarca Lagunera a escala 1:50,000 proveniente del INEGI, así como el modelo de elevación digital del terreno y la distribución espacial de las Temperaturas Máxima, Mínima y Promedio de la Comarca Lagunera. Lo anterior, forma parte de la cartografía climática interpolada de muy alta resolución (Hijmans, *et al.*, 2005) generada por el Global Climate Data - World Clim en la Universidad de California en Berkeley y que está disponible en la página www.worldclim.org.

Los datos disponibles son proyecciones climáticas provenientes de los modelos climáticos globales (GCM) para cuatro vías o rutas de concentración representativas (RCP). Estas son las proyecciones del clima más recientes a partir de los GCM y que son utilizados en el Quinto Reporte de Evaluación del IPCC. La salida del GCM fue ajustada y puesta a una mayor escala (downscaled), calibrado y corregido de sesgos utilizando WorldClim 1.4 como clima 'actual' de referencia.

Los datos están disponibles en diferentes resoluciones espaciales (expresadas en minutos o segundos de un grado de longitud y latitud): 10 minutos, 5 minutos, 2,5 minutos, 30 segundos. Las variables incluidas son temperatura máxima y mínima mensual, precipitación y variables 'bioclimáticas'.

Las Vías de Concentración Representativas (RCPs) son cuatro trayectorias de concentración (no de emisiones) de gases efecto invernadero adoptados por el IPCC para su quinto informe de evaluación (AR5) en 2014. Este reemplaza las proyecciones del informe especial sobre escenarios de emisiones (SRES) publicadas en el año 2000. Las vías se utilizan para la investigación y modelación del clima. Describen cuatro escenarios futuros posibles del clima, todos los cuales se consideran posibles dependiendo de cuánto gas de efecto invernadero sea emitido en los años venideros. Los cuatro RCPs son: RCP2.6, RCP4.5, RCP6 y RCP8.5, los cuales reciben su nombre a partir de un posible rango de valores de forzamientos radiactivos en el año 2100 con respecto a los valores preindustriales (+2.6, +4.5, +6.0 y +8.5 W/m², respectivamente).

Este nuevo grupo de rutas de concentración representativa fue desarrollado por la comunidad mundial de modelaje del clima como base para la modelación experimental a largo y corto plazo. Los escenarios cubren el rango de valores de forzamiento radiactivo hasta el año 2100 encontrados en la literatura mundial, esto es de 2.6 hasta 8.5 Watts/m². Los RCP's son el resultado del esfuerzo innovador y colaborativo entre modeladores del clima, modeladores de ecosistemas terrestres, así como de expertos en el inventario de emisiones. Los productos resultantes, forman un grupo de datos comprensivo alta resolución espacial y sectorial para el periodo que se extiende hasta el año 2100.

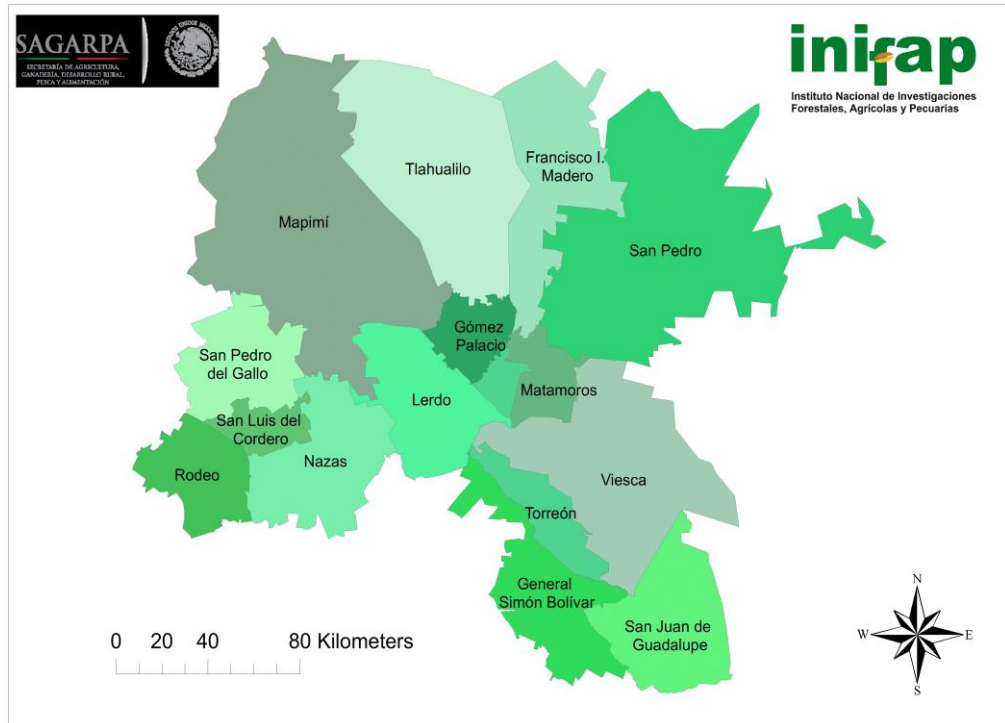


Figura 9. Distribución espacial de los Municipios que comprenden la Comarca Lagunera.

La información cartográfica fue procesada utilizando el Sistema de Información Geográfica (GIS, por sus siglas en inglés) ARCMAP 10.2.2[®]. Dentro de la Caja de Herramientas (Toolbox) se utilizó la Calculadora de Mapas (Map Calculator) para determinar la Evapotranspiración Potencial de acuerdo al Método de Hargraves (1975) el cual requiere como datos de entrada: Temperaturas Máxima, Mínima y Promedio, así como la Radiación Solar para el sitio bajo estudio. La Radiación Solar fue calculada a través del uso de Herramienta “Areal Solar Radiaton” misma que se encuentra dentro de las herramientas del Analista Espacial (Spatial Analyst Tools). El cálculo de la Radiación Solar requiere la posición geográfica en grados decimales,

así como la orientación y pendiente de la superficie del terreno, mismos que se generan a partir del Modelo de Elevación Digital del Terreno.

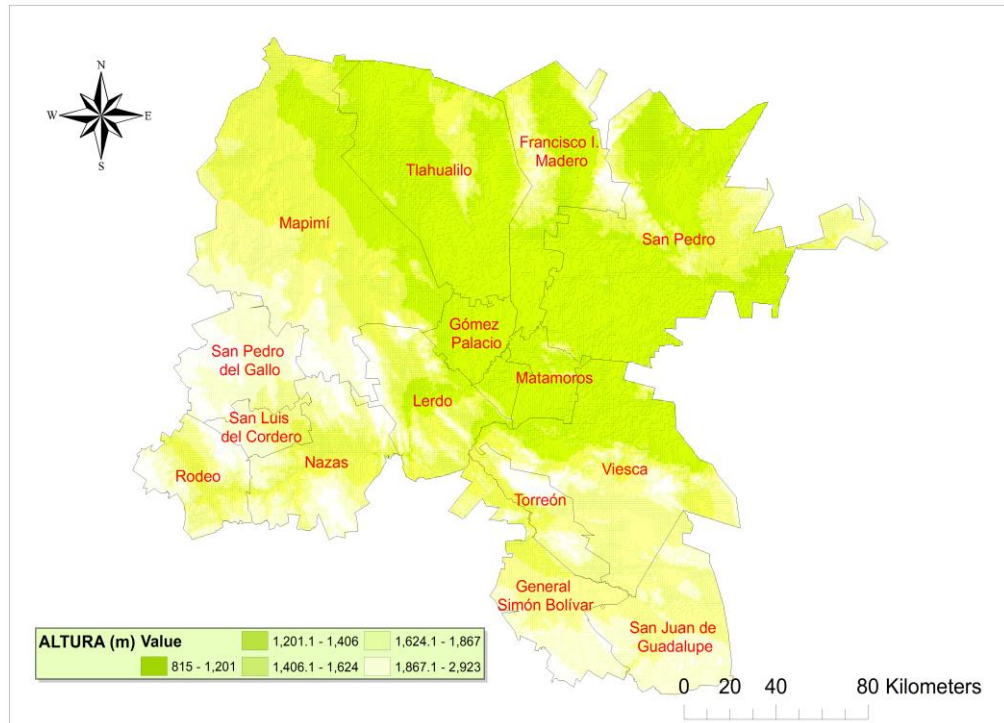


Figura 10. Modelo de Elevación Digital (DEM) de la Comarca Lagunera.

Con la finalidad de hacer más rápido el procesamiento de la información se utilizó el Software Model Builder®, el cual forma parte del la Suite de programas de ARCGIS®10. Como su nombre lo indica, este software sirve para generar pequeños programas que se pueden utilizar de manera repetitiva y que tiene como datos de entrada mapas cartográficos los cuales pueden ser manipulados matemáticamente utilizando la Calculadora de Mapas y otras herramientas. Lo siguiente (Figura 11) muestra un ejemplo de la simplicidad del Model Builder para el calcula de la ET de acuerdo al Modelo de Hargraves.

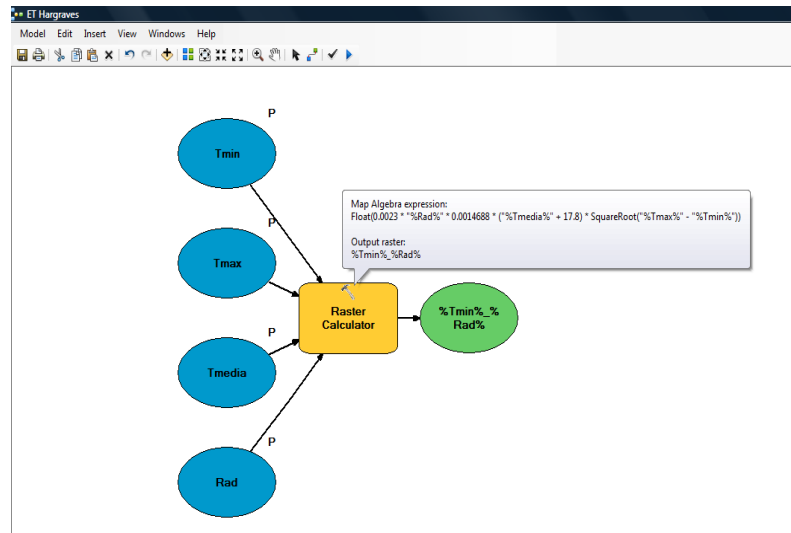


Figura 11. Ejemplo del uso del Model Builder para calcular ET de acuerdo al Método de Hargraves.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El comportamiento temporal de la precipitación total anual tiende 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 12).

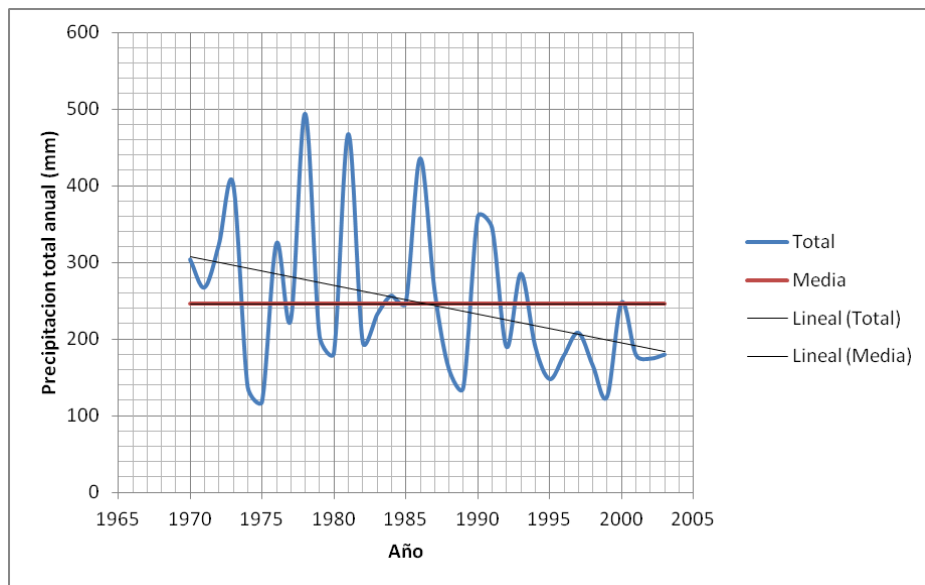


Figura 12. Dinámica de la precipitación total anual en la Comarca Lagunera.

La temperatura media anual presenta una tendencia a incrementarse y la tasa promedio de incremento es de $0.072\text{ }^{\circ}\text{C}$ por año. Se observó 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 13).

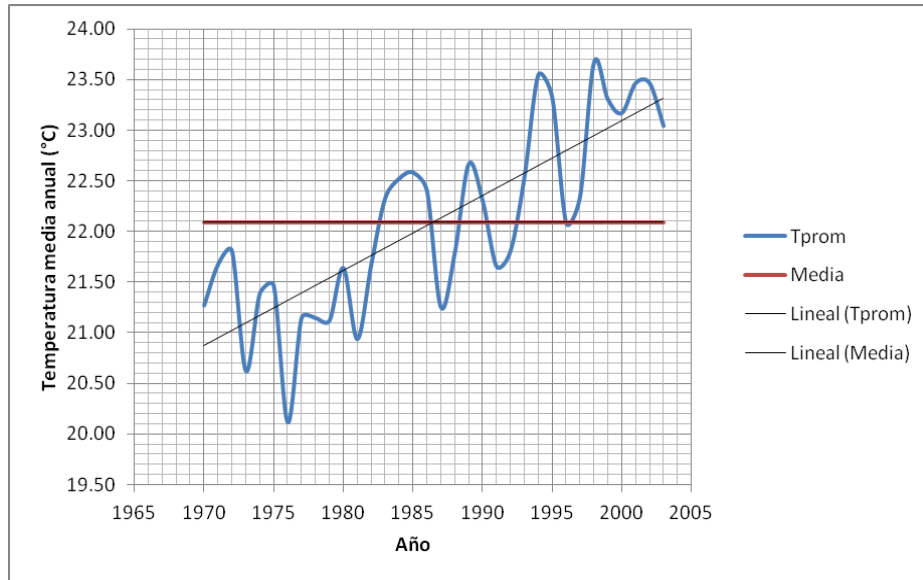


Figura 13. Dinámica temporal de la temperatura media anual en la Comarca Lagunera.

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.

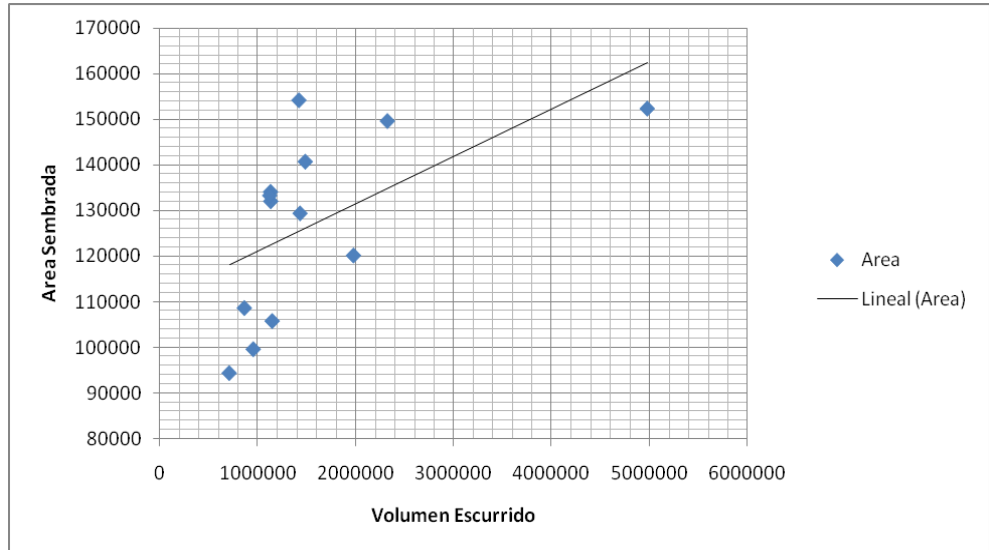


Figura 14. Área sembrada en el Distrito de Riego 17 en función del agua captada en el sistema de presas regionales (Mm³)

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.

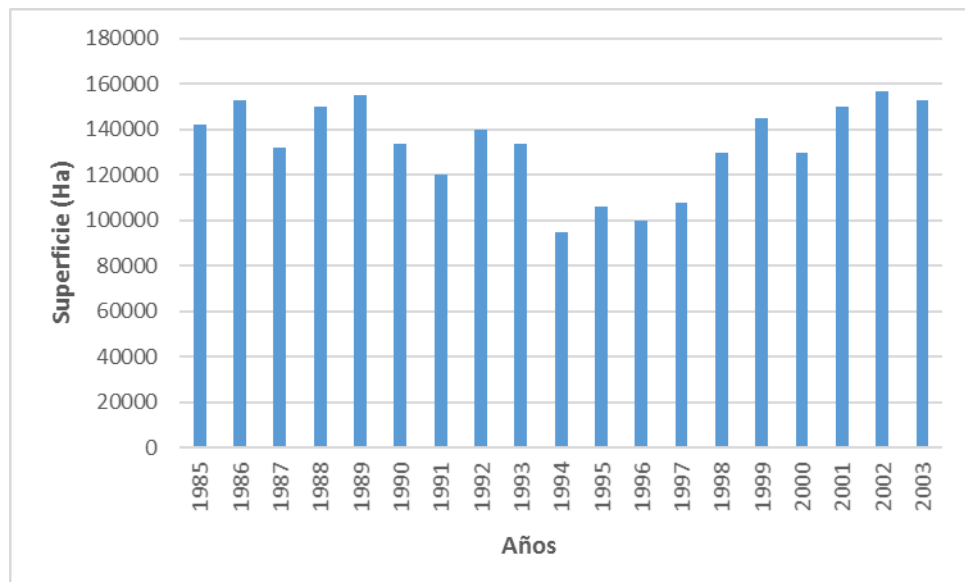


Figura 15. Superficie sembrada con forrajes (ha) en función del agua captada en presas regionales.

Con respecto a la dinámica de cultivos a través del tiempo y 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 algodónero, 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. 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 16, 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.

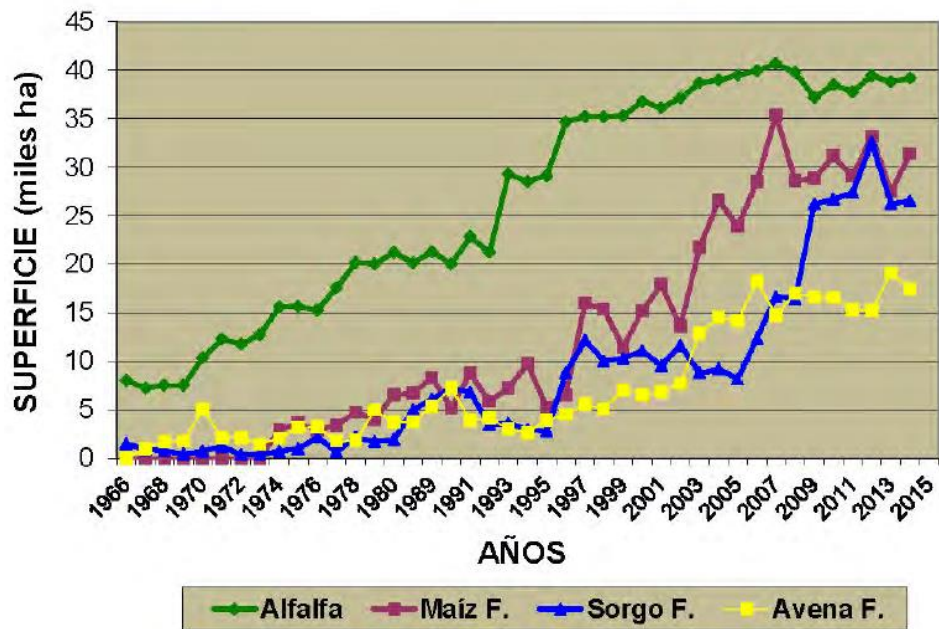


Figura 16. Dinámica temporal de la superficie sembrada con cultivos forrajeros

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 17 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 dia^{-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.

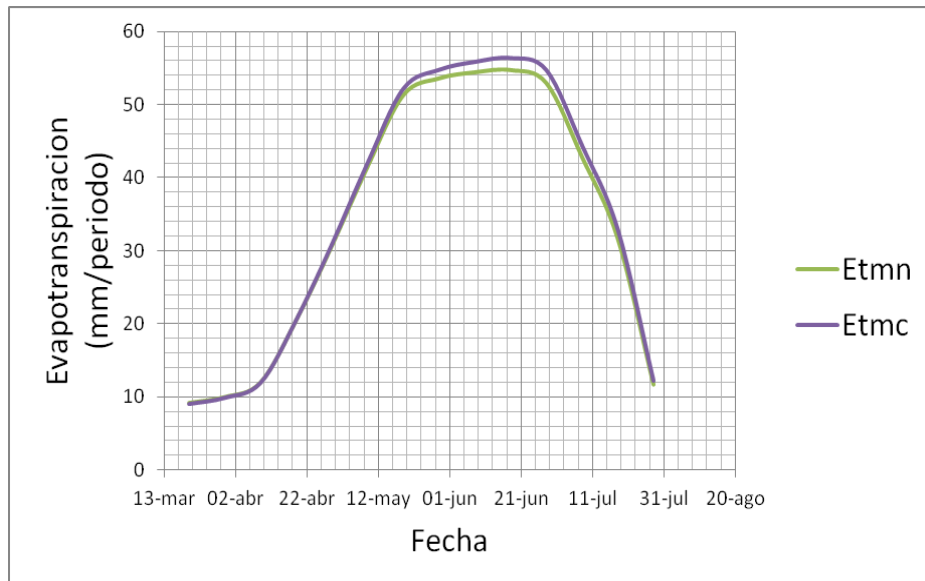


Figura 17. Distribución estacional de la evapotranspiración en el ciclo primavera de maíz forrajero en la Comarca Lagunera.

Unidades Calor

Los valores de temperatura máxima y mínima fueron utilizados para calcular las unidades calor acumuladas (UC) por el cultivo bajo las diferentes fechas de siembra y de esta manera establecer el efecto de clima sobre el crecimiento y desarrollo del cultivo de maíz. El Cuadro 6 presenta los valores de unidades calor acumuladas en cuatro etapas fenológicas del maíz siendo estas: encañe, inicio de crecimiento de mazorca, polinización y llenado de

grano. Como puede observarse, el número de UC varió desde 1548 hasta 1858 ° día, el valor mayor se obtuvo en la primera siembra y este fue disminuyendo hasta llegar al valor más bajo de UC que fue obtenido en la cuarta fecha de siembra.

Cuadro 6.- Unidades calor acumuladas para la diferentes etapas fenológica del maíz en cuatro fechas de siembra.

DDS	FECHA 1	FECHA 2	FECHA 3	FECHA 4
35	361	407	502	541
52	601	675	769	858
69	852	932	1061	1176
85	1109	1224	1384	1467
TOTAL	1858	1735	1737	1548
ECUACION	$y = 15.12x - 630492$	$y = 15.909x - 663579$	$y = 16.757x - 699142$	$y = 17.617x - 735373$
R ²	0.989	0.993	0.996	0.998

A medida que se siembra más temprano, el cultivo crece más lento y tarda en acumular UC; lo anterior se nota claramente en la Figura 18, en la que puede observarse que la pendiente de la línea de acumulación es menor para fechas tempranas a las optimas establecidas para la región y que la pendiente se va incrementado a medida que se va retrasando la fecha de siembra. Los coeficientes de determinación (R²) en todos los casos están muy cercanos a la unidad, lo cual denota muy buen ajuste a un modelo lineal.

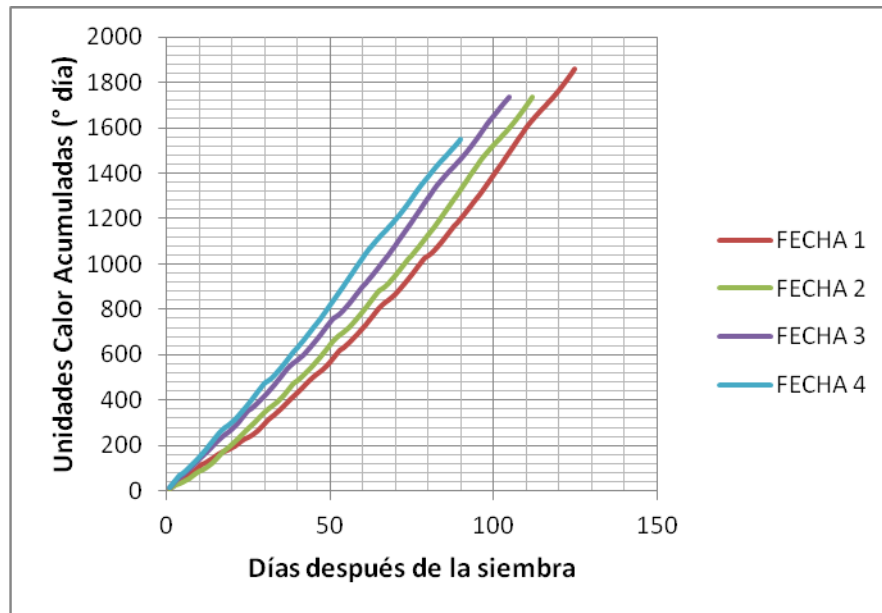


Figura 18. Tendencia de la acumulación de UC para las fechas de siembra en la Comarca Lagunera.

Altura de Planta

La altura final de la planta se presenta en el Cuadro 7, en el que se observa que existió diferencia mínima significativa entre tratamientos de riego para todas las fechas de siembra en el estudio.

Cuadro 7.- Altura de planta (cm) para los diferentes tratamientos de riego del maíz en cuatro fechas de siembra.

Tratamiento	Fecha 1	Fecha 2	Fecha 3	Fecha 4
T1	121.1 c	149.1 c	199.8 c	188.3 c
T2	196.5 b	189.2 b	228.4 b	206.9 b
T3	232.1 a	244.0 a	269.6 a	271.6 a
DMS	17.5	26.5	24.8	16.3
Significancia	0.05	0.05	0.05	0.05

Como era de esperar, las mayores alturas se presentaron en el tratamiento de riego 3 (Figura 19), el cual consistió en aplicar el total de volumen de agua evaporado durante el período anterior al día de la aplicación del riego. Las menores alturas se presentaron en el tratamiento uno, el cual consistió en aplicar solamente el 60 por ciento del volumen de agua evaporada en el periodo previo a la aplicación del riego. Las mayores alturas se presentaron en las fechas de siembra tres y cuatro con 269 y 271 cm, respectivamente. La primera fecha fue la que obtuvo el menor valor con 232 cm.

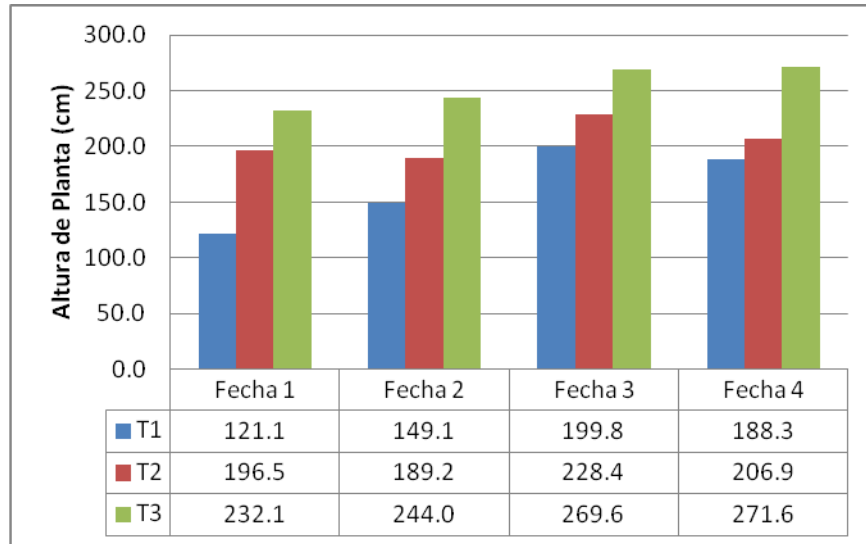


Figura 19. Altura final (cm) de la planta en las diferentes fechas de siembra del cultivo de maíz

Peso en Verde

El Cuadro 8 presenta los valores obtenidos para el peso cosechado en verde en kg/m^2 para cada tratamiento de riego en las diferentes fechas de siembra empleadas. Como puede observarse se presentó diferencia mínima significativa en todas las fechas de siembra, la tendencia fue que el mayor peso en verde lo obtuvo, en todos los casos, el tratamiento uno que recibió la mayor cantidad de agua aplicada. Siendo estadísticamente diferente al tratamiento dos y tres, el cual obtuvo los valores más bajo y fue el que recibió la menor cantidad de lámina de agua de riego.

Cuadro 8.- Peso en Verde (Kg/m²) para los diferentes tratamientos de riego del maíz en cuatro fechas de siembra.

Tratamiento	Fecha 1	Fecha 2	Fecha 3	Fecha 4
T1	1.837 c	1.530 c	3.737 b	3.440 c
T2	3.390 b	4.903 b	5.083 a	4.457 b
T3	6.182 a	6.330 a	6.243 a	6.393 a
Significancia	0.05	0.05	0.05	0.05
DMS	0.718	1.53	1.315	0.66

Como puede observarse en la Figura 20, Las fechas de siembra uno y dos son las que presentan en promedio los mayores valores de rendimiento de forraje en verde siendo los valores obtenidos 4.94 y 4.92 kg/m². Mientras que la fecha de siembra cuatro fue la que en promedio obtuvo el valor más bajo con 4.43 Kg/m².

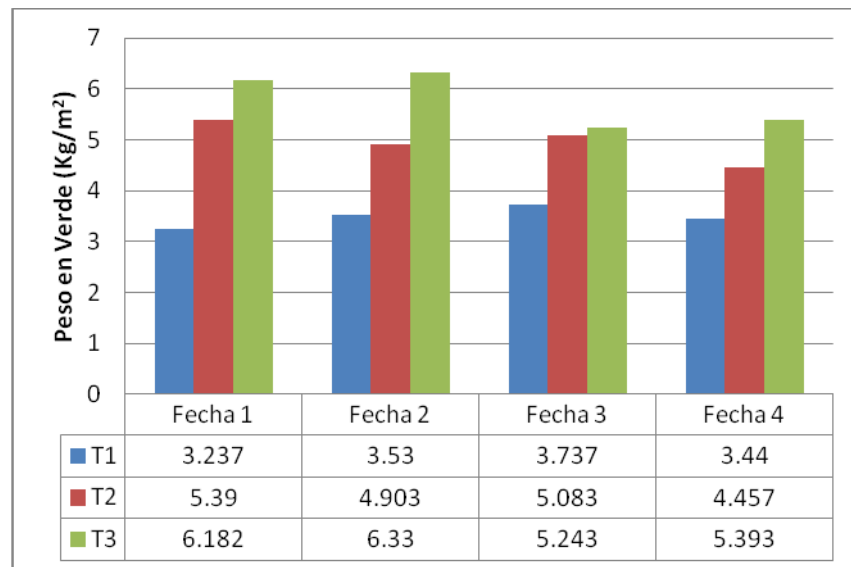


Figura 20. Rendimiento en verde (kg/m²) para los diferentes tratamientos de riego del maíz en cuatro fechas de siembra.

Peso en Seco

El Cuadro 9 presenta los valores obtenidos para el peso seco de una planta en kilogramos para cada tratamiento de riego en las diferentes fechas de siembra empleadas. Como puede observarse se presentó diferencia mínima significativa en todas las fechas de siembra, la tendencia fue que el mayor peso en seco lo obtuvo, en todos los casos, el tratamiento uno que recibió la mayor cantidad de agua aplicada. Siendo estadísticamente diferente al tratamiento tres, el cual obtuvo los valores más bajo y fue el que recibió la menor cantidad de lámina de agua de riego.

Cuadro 9.- Peso en Seco (Kg) para los diferentes tratamientos de riego del maíz en cuatro fechas de siembra.

Tratamiento	Fecha 1	Fecha 2	Fecha 3	Fecha 4
T1	1.917 c	2.428 b	2.007 b	1.853 b
T2	4.097 b	3.873 ab	4.063 a	3.58 a
T3	5.060 a	5.088 a	4.390 a	3.267 a
Sig=	0.05	0.05	0.05	0.05
DMS	1.072	1.825	1.192	0.785

Como puede observarse en la Figura 21, Las fechas de siembra uno y dos son las que presentan en promedio los mayores valores de rendimiento de forraje en seco siendo los valores obtenidos 3.69 y 3.80 kg. Mientras que la fecha de siembra cuatro fue la que en promedio obtuvo el valor más bajo con tal solo 2.90 Kg por planta.

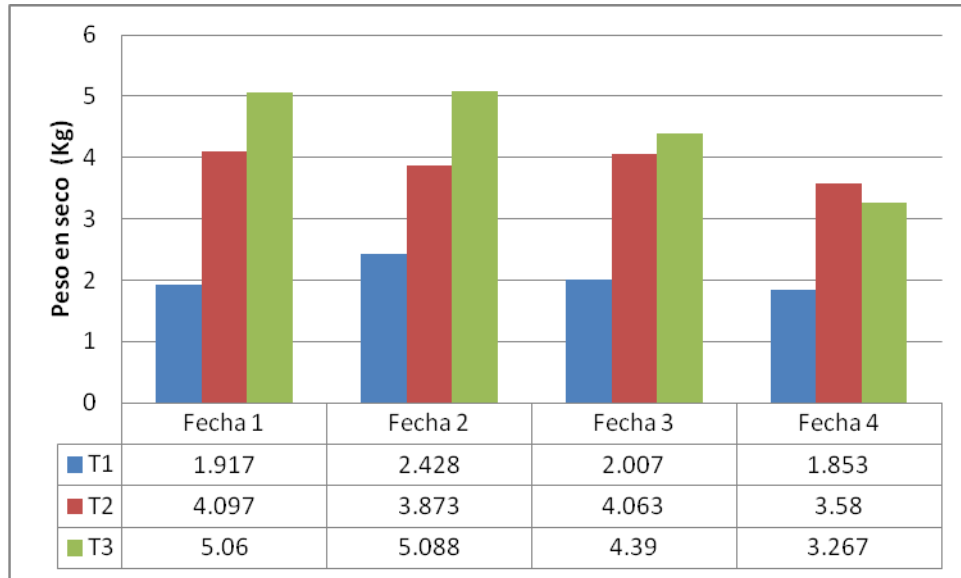


Figura 21. Rendimiento en seco (kg) para los diferentes tratamientos de riego del maíz en cuatro fechas de siembra.

Lámina Aplicada y Rendimiento en Seco.

La Figura 22 presenta la relación existente entre la lámina aplicada y el rendimiento de una planta en seco. Como puede observarse el modelo se ajusto a una línea recta con un coeficiente de determinación de 0.676.

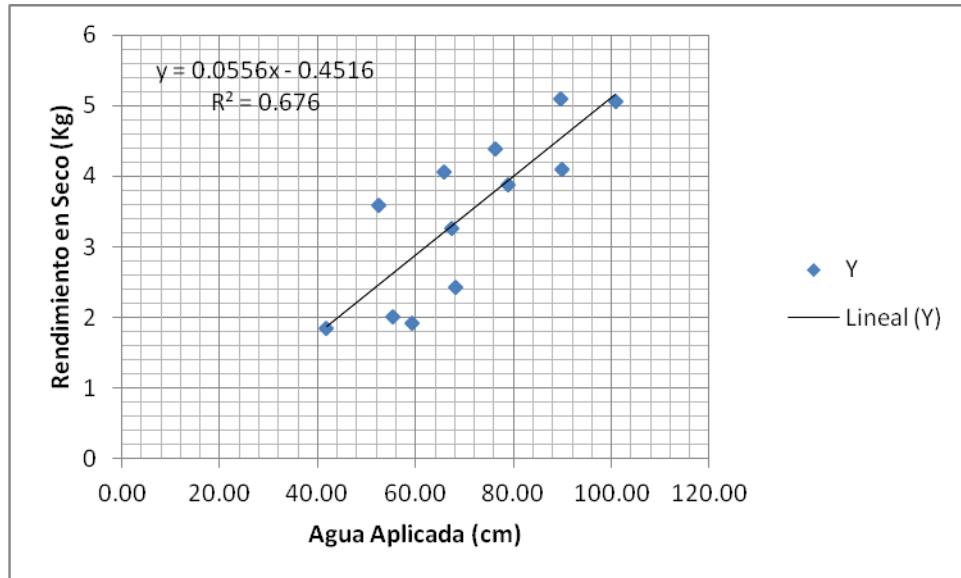


Figura 22. Relación existente entre lamina aplicada a los tratamientos y el rendimiento en seco obtenido.

Efectos del Cambio Climático sobre la Evapotranspiración Regional.

La información proveniente del World Clim permitió determinar la variación espacial de las temperaturas máxima, mínima y promedio sobre los quince municipios que comprenden la Comarca Lagunera (CL). En las siguientes Figuras solo se discuten las diferencias encontradas entre los valores promedio (1950 – 2000) con respecto a los valores predichos en el escenario RCP 8.5 (concentración de GEI), lo anterior se debe a que fue este escenario el que presentó mayores diferencias en términos de ET y distribución de temperaturas.

La Figura 23 presenta la distribución espacial de la temperatura máxima promedio para el mes de mayo y en ella se observa que el rango de temperaturas para la CL va desde los 25°C hasta los 36°C presentándose en la mayoría de los municipios entre 33 y 36°C aproximadamente, solamente

una pequeña proporción (parte norte y sureste) de la región presenta valores de por debajo de los mencionados anteriormente. Las temperaturas más bajas (25°C) se presentan en las partes altas de las sierras regionales.

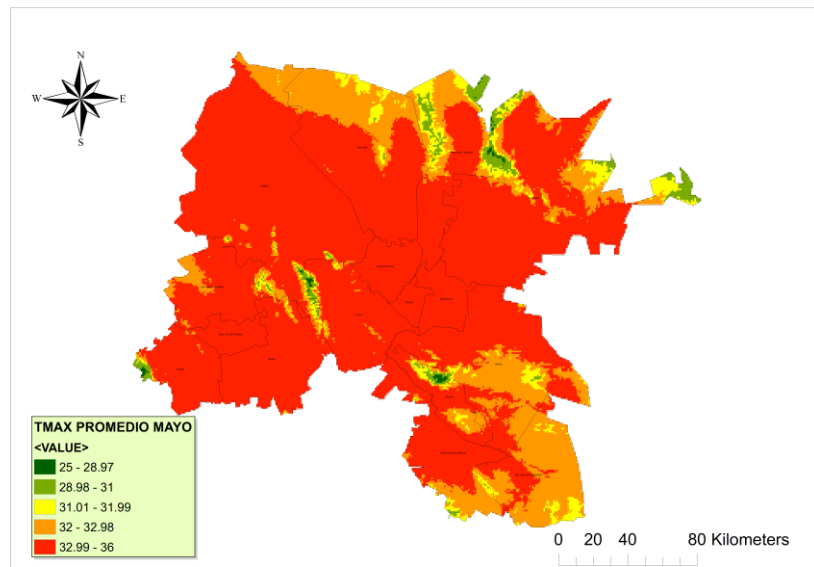


Figura 23. Distribución espacial de la temperatura máxima promedio del mes de mayo.

Por otra parte la Figura 24 presenta la distribución espacial de la temperatura máxima en el escenario RCP 8.5, en ella se observa que los valores se incrementan sustancialmente con respecto al promedio de cincuenta años mencionado en el párrafo anterior. El rango de temperatura máxima va de 30°C hasta 40°C para el mes de mayo, esto representa un incremento aproximado de 5°C en promedio para los municipios de la CL. Ahora, el mayor rango (38 a 40°C) se sitúa en la parte central de la CL, siendo los municipios de Torreón, Matamoros, Gómez Palacio y Lerdo los

que se encuentran en esta zona que corresponde, en su mayoría, con el Distrito de Riego 17.

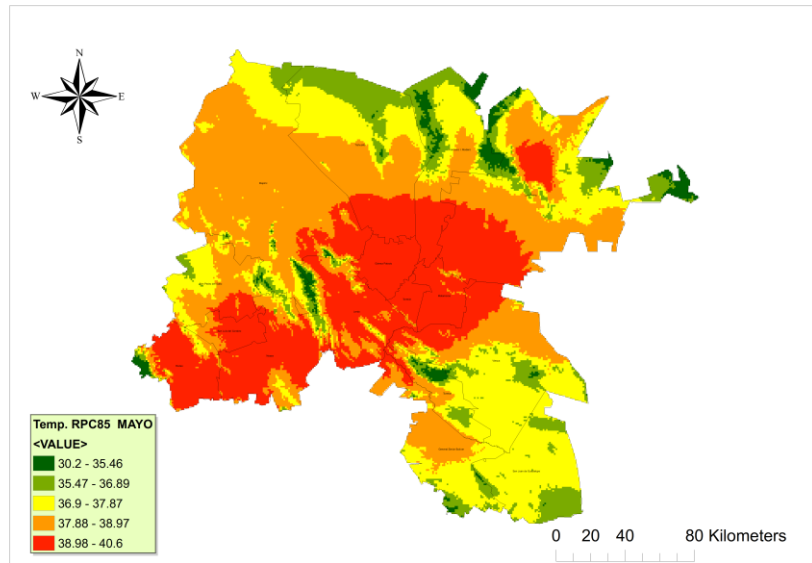


Figura 24. Distribución espacial de la temperatura máxima del mes de mayo de acuerdo al escenario climático RCP 8.5.

Con respecto a la distribución espacial de temperatura mínima en la Comarca Lagunera, en la Figura 25 se observa que el rango de temperaturas va desde los 7°C hasta los 18°C presentándose en la mayoría de los municipios valores entre 14 y 18°C aproximadamente. La parte oriente de la CL es la que presenta el mayor rango de temperatura. Las temperaturas más bajas (7°C) se presentan en las partes altas de las sierras regionales.

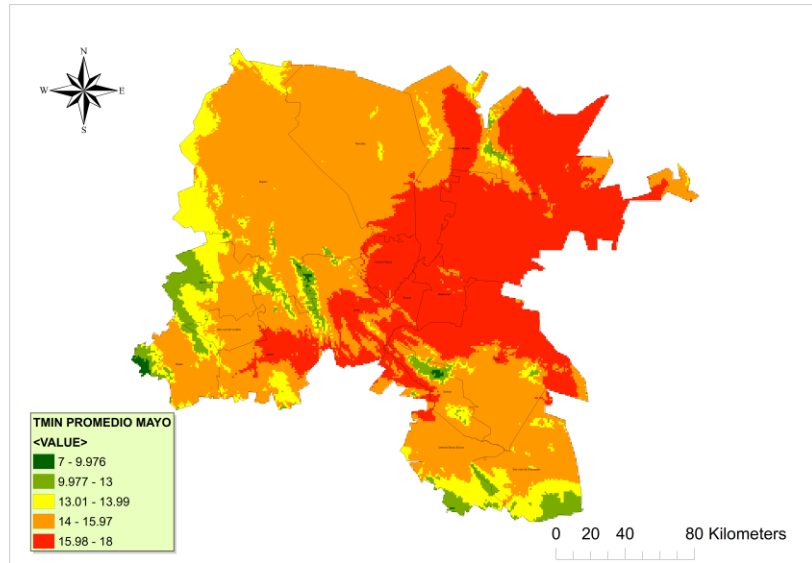


Figura 25. Distribución espacial de la temperatura mínima promedio del mes de mayo.

Por su parte la Figura 26 presenta la distribución espacial de la temperatura mínima en el escenario RCP 8.5, en ella se observa que los valores se incrementan sustancialmente con respecto al promedio de cincuenta años mencionado en el párrafo anterior. El rango de temperatura mínima va de 11°C hasta cerca de 25°C para el mes de mayo. El rango de valores entre el máximo y el mínimo para esta temperatura se incremento en dos grados Celsius. También, se puede observar que existe un gradiente de temperaturas mínimas Este – Oeste. Los valores máximos se encuentran localizados en los municipios de San Pedro, Viesca y Matamoros, mientras que los mínimos se sitúan en los municipios de San Pedro del Gallo, San Luis del Cordero y Rodeo.

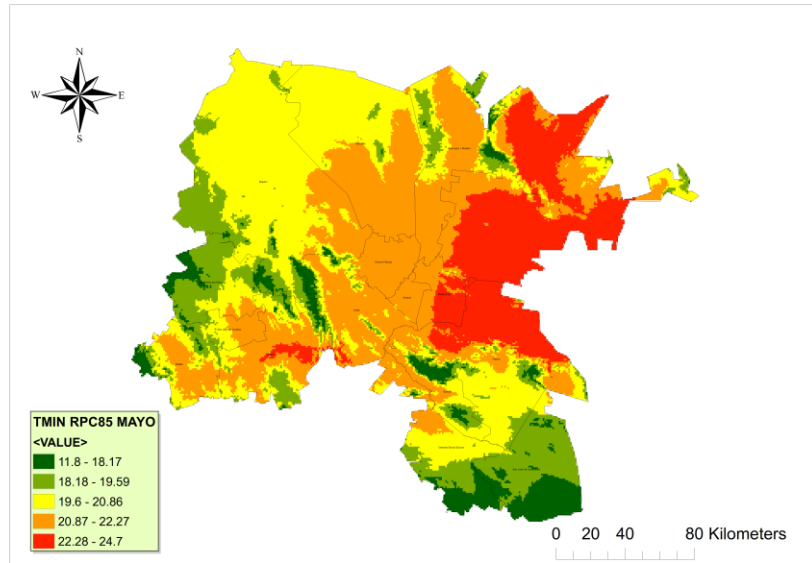


Figura 26. Distribución espacial de la temperatura mínima del mes de mayo de acuerdo al escenario climático RCP 8.5.

La evapotranspiración calculada por el método de Hargraves para el mes de mayo considerando los valores de temperatura máximo, mínimo y promedio del registro climático de cincuenta años se presenta en la Figura 27, en ella se observa que el rango de ET para el mes de Mayo va desde un mínimo de 99 mm hasta un máximo de 135 mm. Los municipios, en general, con los valores más bajos son: Viesca, San Pedro, Francisco I. Madero y una parte de Tlahualilo, Dgo. Mientras que los valores más altos se sitúan en los Municipios de la parte Oeste, siendo éstos: Rodeo, San Pedro del Gallo y San Luis del Cordero, en el Estado de Durango.

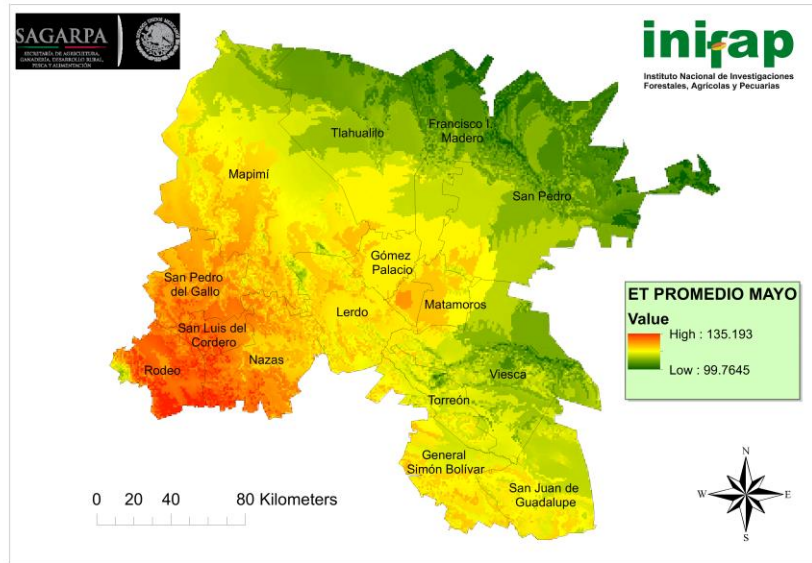


Figura 27. Distribución espacial de la evapotranspiración del mes de mayo.

La distribución espacial de ET en el escenario RCP 8.5 es básicamente la misma que la observada y presentada en el párrafo anterior. La diferencia la establece el rango de temperaturas el cual se incremento en un promedio de 16 mm para el mes de mayo. El rango de valores va desde un mínimo de 117 mm evapotranspirados hasta un máximo de 150 mm, aproximadamente.

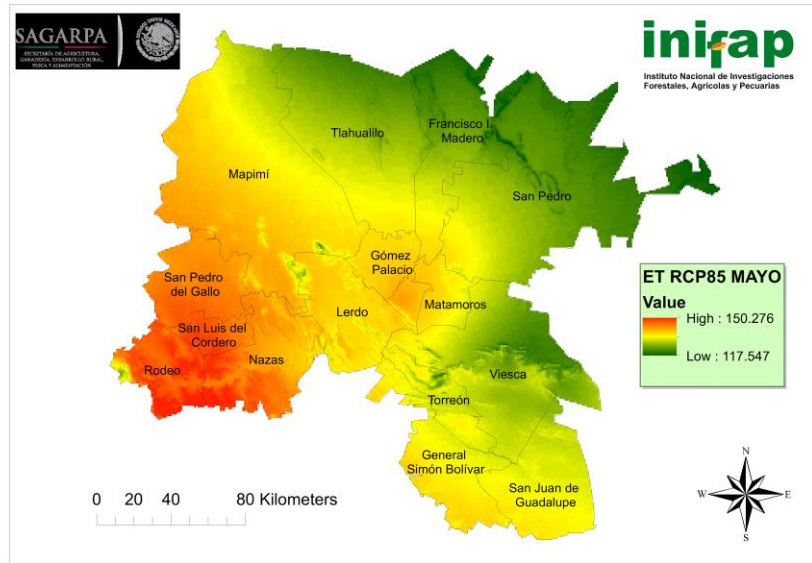


Figura 28. Distribución espacial de la evapotranspiración del mes de mayo de acuerdo al escenario climático RCP 8.5.

La información presentada aquí corresponde únicamente al mes de mayo promedio del registro de cincuenta años y al escenario RCP 8.5. Sin embargo, la evapotranspiración por el Método de Hargraves, se calculo para las cuatro fechas de siembra establecidas y para tres de los cuatro escenarios RCP, siendo éstos: 2.5, 4.6 y 8.5. Como ya se menciona solo se presenta el escenario 8.5 ya que este arroja la mayor diferencia con respecto a los valores obtenidos al correr el modelo con los valores promedio observados.

La Figura 30 presenta los valores de ET totales para la duración del ciclo del cultivo en las diferentes fechas de siembra. Se puede observar la diferencia existente entre los valores obtenidos en ET utilizando los valores promedio observados con respecto a aquellos valores de ET obtenidos por el modelo al utilizar la información proveniente del escenario RCP 8.5. La

tendencia, en ambos casos, es a disminuir los valores de ET a medida que la fecha de siembra se retrasa con respecto a la fecha ideal para esta región (15 de Marzo). Los valores más altos se presentan en la primer fecha de siembra (Febrero 21), mientras que los más bajos en la última fecha de siembre (Agosto 16).

El Cuadro 10 presenta los valores de ET para cada escenario, así como la diferencia entre ellos para cada fecha de siembra considerada. También se puede apreciar que el incremento total en los valores de ET estacional va desde un 16 hasta un 25 por ciento, lo cual significa, en la mayoría de los casos, un riego de auxilio adicional a los ya establecidos en el distrito de riego para siembras de maíz de primavera.

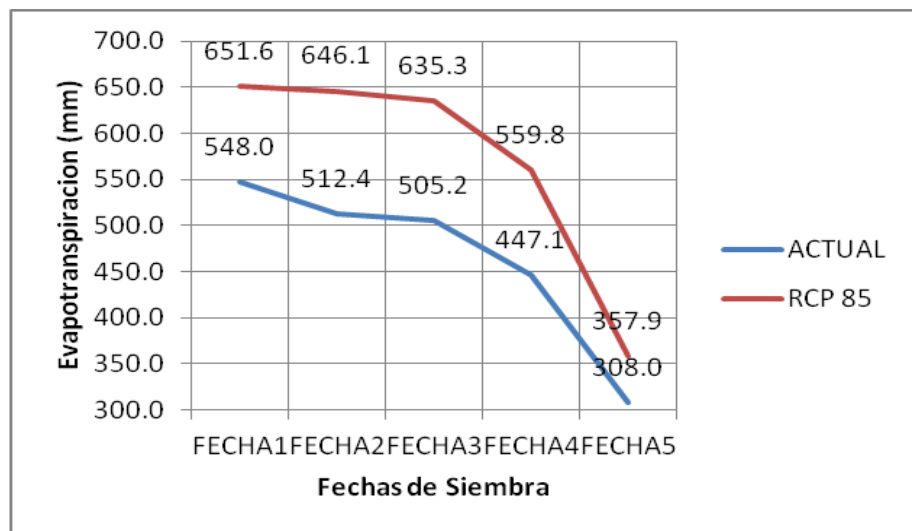


Figura 29. Valores de Evapotranspiración en función de la fecha de siembra para los escenarios promedio y RCP 8.5.

Cuadro 10.- Evapotranspiración observada y calculada de acuerdo al escenario RCP 8.5 para las diferentes fechas de siembra de maíz forrajero en la Comarca Lagunera.

ESCENARIO	FECHA1	FECHA2	FECHA3	FECHA4
ACTUAL	548.0	512.4	505.2	447.1
RCP 85	651.6	646.1	635.3	559.8
DIFERENCIA	103.6	133.7	130.1	112.7
INCREMENTO	1.19	1.26	1.26	1.25

La Figura 30 presenta la relación existente encontrada entre los valores de ET Observados (X) con respecto a los valores de ET calculados con el modelo utilizando la información proveniente del escenario RCP8.5, en ella se observa la estrecha relación lineal existente la cual tiene un coeficiente de determinación de aproximadamente un 74%, lo cual se considera muy bueno para este tipo de trabajos.

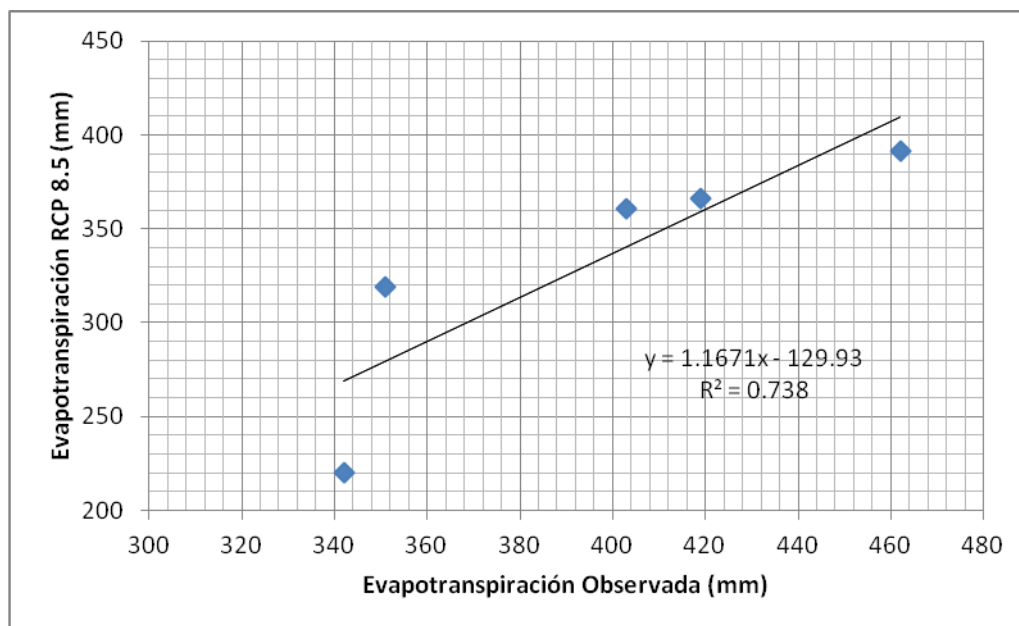


Figura 30. Evapotranspiración observada en el ciclo vegetativo del cultivo de maíz y su relación con la ET calculada bajo el escenario RCP 8.5.

Balance de Agua Regional

En el Cuadro 11 se encuentra el balance de agua regional bajo dos escenarios. El primero es el escenario actual y corresponde al promedio de temperaturas de 30 años registrado en las estaciones de clima locales; el segundo escenario es el RCP8.5 es cual considera un incremento en la concentraciones gases efecto invernadero de 8.5 con respecto a aquellos registrados antes de la revolución industrial. En este cuadro se observa un incremento de aproximadamente un 13 por ciento del escenario RCP8.5 con respecto al balance promedio actual, esto se traduce en que en vez de tener solamente dos meses con superávit (Agosto y Septiembre) ahora se tendrían tres meses (Julio, Agosto y Septiembre) lo cual quizá vendría a compensar un poco el incremento de las necesidades hídricas del maíz forrajero. Como

ya se estableció anteriormente, bajo las condiciones locales de clima se requiere la aplicación de riegos complementarios provenientes del agua del sistema de presas regionales o bien del agua del subsuelo con el fin de satisfacer plenamente las necesidades hídricas de los cultivos regionales y obtener forraje de buena calidad.

Cuadro 11.- Balance de Agua de la Comarca Lagunera bajo dos escenarios climáticos.

MES	ET PROM	PP PROM	ET RCP85	PP RCP85	BAL PROM	BAL RCP85
Enero	36.52	4.55	41.92	19.98	0.125	0.477
Febrero	47.34	0.39	55.52	9.50	0.008	0.171
Marzo	76.57	0.00	91.11	6.30	0.000	0.069
Abril	97.52	0.55	113.31	14.72	0.006	0.130
Mayo	117.40	28.73	134.33	35.52	0.245	0.264
Junio	113.81	73.64	132.89	76.60	0.647	0.576
Julio	111.07	103.69	124.91	128.85	0.934	1.032
Agosto	103.46	139.74	118.26	142.77	1.351	1.207
Septiembre	81.36	130.79	92.25	137.48	1.608	1.490
Octubre	64.13	44.37	71.66	51.39	0.692	0.717
Noviembre	42.75	2.75	47.68	20.26	0.064	0.425
Diciembre	30.44	19.82	34.18	21.52	0.651	0.630
SUMA	922.37	549.02	1058.02	664.90	6.329	7.189

CONCLUSIONES

1. 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.
2. El rendimiento del maíz se ve afectado por la fecha de siembra empleada, los mayores rendimientos se presentan en fechas tempranas, mientras que los rendimientos más bajo corresponden a la fecha del mes de abril. Lo anterior sugiere que, debido al nuevo comportamiento de las temperaturas, quizá sea conveniente modificar las fechas de siembra óptimas para los cultivos regionales y específicamente para el maíz forrajero.
3. El escenario climático RCP8.5 muestra modificaciones en los valores de las temperaturas máximas y mínimas de 4.5°C y 5.5°C, en promedio con respecto a la distribución espacial de éstas en la Comarca Lagunera, respectivamente. Lo anterior trae como consecuencia que los valores de la evapotranspiración se modifiquen entre un 15 y un 25% con respecto al valor actual observado.

4. Con respecto a los requerimientos de riego, las necesidades hídricas del cultivo (en RCP8.5) se incrementan a lo largo del ciclo del mismo, especialmente para las fechas de siembra tempranas. Esto ocasiona que exista una sobre demanda de aproximadamente entre 100 y 130 mm de lámina de agua de riego a lo largo del ciclo del cultivo, esto ocasionaría modificaciones al calendario del riego actual que se sigue en la Región Lagunera, con la finalidad de no afectar el rendimiento y desarrollo del maíz forrajero.

5. El balance de agua regional muestra un incremento de aproximadamente un 13 por ciento del escenario RCP8.5 con respecto al balance promedio actual, esto se traduce en que en vez de tener solamente dos meses con superávit (Agosto y Septiembre) ahora se tendrían tres meses (Julio, Agosto y Septiembre) lo cual quizá vendría a compensar un poco el incremento de las necesidades hídricas del maíz forrajero.

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>.

Bryson R. & Murray, T. 1977. Climates of hunger: mankind and the world's changing weather. Madison, WI: University of Wisconsin Press.

CALMET. 1998. Balance de radiación solar y terrestre. AL Working group of schoti.

Ciesla WM. 1996. Cambio Climático, bosques y ordenación forestal. Una visión de conjunto. Roma, IT, FAO. Pp. 147.

Conde 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. 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. 2002. 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>
- Edwards, P. S. Schneider, 1997. Climate change: broad consensus or "scientific cleansing"? *Ecofable/ ecoscience*, vol 1. Pp. 3-9.
- 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.
- 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.
- 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, 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 Condron, J.C., Diego Liaño, Fernández de Arróyabe Hernáez, 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.
- 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.
- 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. Noguera, 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.

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.

INE-SEMARNAP (Instituto Nacional de Ecología, Secretaría de Medio Ambiente Re- cursos 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/
- 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.
- 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, R. 2000. The rail gun: A popular demonstration of the Lorentz force. Am. J. Phys. 68 (8) August.
- 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 Nino 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.
- 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.
- 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.
- 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>
- 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>
- 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.
- 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
- 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.
- 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.

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/>

Svensmark, Henrik. 2007. *Astronomy & Geophysics*, "Cosmoclimate: 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.

Vila Of M., IZ Álvarez, CC Morató. 1998. "Cambio climático", *Tecnología del medio ambiente*.

En línea: <http://www.jisanta.com/Biologia/EI%20Cambio.pdf>

Vila Ruiz Lourdes e I. Trejo V. 1998. El Cambio Climático y la Vegetación en México. Instituto de Geografía, UNAM. Ap. Postal 20-850, 04510 México, D.F. E-mail: villers@servidor.unam.mx

En línea:
http://www.atmosfera.unam.mx/editorial/libros/cambio_climatico.pdf

Watson R.T. and the Core Writing Team (Eds.) "Climate Change 2001: Synthesis Report". Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, UK. 2001.

Waple A., Mann, M.E., Bradley, R.S. 2000. Long-term Patterns of Solar Irradiance Forcing in Model Experiments and Proxy-based Surface Temperature Reconstructions, Climate Dynamics, accepted.

WCED. 1990. Our Common Future. Oxford University Press, USA. Pp. 400.

WMO. 1986. A report of the International Conference on the Assessment of Carbon Dioxide and Other Greenhouse Gases in Climate Variations and Associated Impacts. WMO N° 661. In: Our Common Future WCED, 1990. Pp. 400.

Working Grup I. "Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Summary for policymakers".
En línea: <http://www.ipcc.ch/SPM2feb07.pdf>