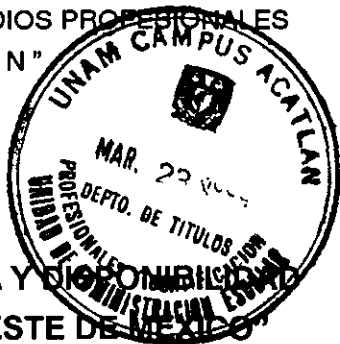


1
2ej

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO



ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
"ACATLAN"



"VARIABILIDAD CLIMATICA Y DISPONIBILIDAD DE AGUA EN EL NOROESTE DE MEXICO"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
LICENCIADO EN MATEMATICAS
APLICADAS Y COMPUTACION
P R E S E N T A N :
JUAN MANUEL ALMAZAN RODRIGUEZ
DAVID SANCHEZ ALVAREZ

DIRECTOR DE LA TESIS: DR. VICTOR ORLANDO MAGAÑA RUEDA.

SANTA CRUZ ACATLAN, EDO. DE MEX.,

ABRIL DE 1999.



TESIS CON
FAULA DE ORIGEN

273274



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

A DIOS

"Por darme fuerza en todo momento en que la adversidad se presenta e iluminarme para salir adelante."

A MIS PADRES, LOLITA Y FERNANDO

"Gracias por darme el ser, por enseñarme y guiarme por el buen sendero de esta vida." **¡LOS AMO MUCHO!**

A MIS HERMANOS, FERNANDO, EDITH Y LILIANA

"Por su apoyo constante y sus consejos que muy valiosos son para mí." **¡LOS AMO!**

A MIS SOBRINOS, BRYAN Y CARLITA

"Por la alegría que han traído a nuestro hogar." **¡LOS AMO!**

A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO, ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "CAMPUS ACATLAN"

"Por darme la oportunidad de pertenecer a está gran institución cuyo objetivo es formar excelentes profesionales. Profundamente agradecido."
¡GRACIAS!

ESPECIAL AGRADECIMIENTO AL DR. VICTOR MAGAÑA DIRECTOR DE TESIS

"Por sus sabios consejos que de mucho han ayudado para mi formación profesional. Por compartir sus enseñanzas, su valioso tiempo e iniciarme en está rama del conocimiento." **¡MUCHAS GRACIAS!**

FAMILIA SANCHEZ Y FAMILIA MAGAÑA

"Por sus consejos que me impulsan a ser mejor día a día." ¡GRACIAS!

AL CENTRO DE CIENCIAS DE LA ATMOSFERA

"Dr. Fernando García, Jolin, Misha, Rodolfo, Cecilia, Socorro, Raquel, Edith, Oscar, Many, Norman: Por haberme permitido formar parte de su equipo y brindarme su apoyo incondicional." ¡GRACIAS!

A LOS DISTINGUIDOS MIEMBROS DEL JURADO

"Por su valioso tiempo invertido en la revisión de este trabajo y por avalar este importante paso en mi vida."

A UNA PERSONITA MUY ESPECIAL, FABIOLA LUNA

"Eres parte importante en mi vida, por todo tu apoyo y comprensión." ¡GRACIAS!

A MIS AMIGOS

"Luis O. Moreno tu amistad mi mejor recuerdo, feliz de haberte conocido."
¡MUCHAS GRACIAS DONDE QUIERA QUE ESTES!, Juan J. Quintero por tu amistad sincera y por tu apoyo constante, Cristina Ríos, familia Moreno, familia Monroy, familia Rangel: Lulu, Yeye, Ramón por su amistad, a Marco Galicia, Oscar Frías, Alberto López, Fernando Castillo, Miguel Pedroza, Juan Manuel Almazan, Carmen Mejía, Hugo Rivera por la amistad que me brindaron en mi etapa como universitario, a Noemi Díaz, Enrique Muñoz, Cándido Ramírez por apoyarme en este viaje y brindarme la facilidad de concluir este trabajo."
¡GRACIAS!

"A toda la gente que de alguna manera tiene que ver en mi vida." ¡MUCHAS GRACIAS!

**A LA UNAM
ENEP ACATLAN**

Por darme la oportunidad de realizar los estudios de licenciatura.

**AL CENTRO DE CIENCIAS DE LA ATMOSFERA EN ESPECIAL
AL DR. VICTOR ORLANDO MAGAÑA RUEDA**

Por sus consejos y enseñanzas para poder realizar lo que muchos estudiantes
tenemos el deseo de culminar.

A MIS PAPAS

En la vida se nos dan pocas oportunidades para salir adelante y contar con ustedes que me inducen y enseñan que no debo darme por vencido para lograr mis metas e ideales.

Dios me ha dado la dicha de tenerlos y la oportunidad de contar con ustedes y compartir mis fracasos, triunfos, tristezas y alegrías.

Infinitamente les agradezco todo el apoyo que me han brindado, así como sus preocupaciones haciendo de mí un hombre de provecho para subir en este escalón que será el inicio de mi profesión.

A ti Papá y Mamá que son: Las personas más importantes de mi vida, les doy las gracias por esta herencia.

Los quiere:

Juan Manuel Almazán Rodríguez

**ALDO
Y EDEN**

Por darme siempre su apoyo en todo momento difícil y por dejarme compartir sentimientos.

METODOLOGIA

Para la realización de este trabajo se han considerado los siguientes aspectos:

1.- Relevancia o Importancia. Actualmente el agua y particularmente en el norte es sin duda un tema de interés científico, económico y social esto debido a que en los últimos años se han registrado los índices más bajos de precipitación en la región, por lo que hoy en día resulta primordial desarrollar estudios en los cuales se desarrollen planes y políticas de un uso racional de los recursos naturales y muy particularmente del agua.

2.- Originalidad Relevante. Aunque se han realizado muchos estudios sobre agua en el norte de México, pocos han atacado el problema fundamental: Las variaciones en la disponibilidad de agua dependientes del clima. El avance en el estudio de los factores que controlan el clima en el mundo, nos permite analizar con más detalle las causas de la sequía o las inundaciones, al punto de poder realizar pronósticos o generar escenarios a futuro sobre la disponibilidad de agua.

3.- Profesional. La realización de este trabajo constituye un compromiso con la sociedad en general y con la Escuela Nacional de Estudios Profesionales campus

Acatlán de la UNAM, por mostrar que los conocimientos adquiridos durante nuestros estudios pueden resultar en propuestas de solución a problemas en México. Deseamos con esto mostrar que estamos preparados para desenvolvemos como profesionales en el campo de la investigación.

- AREA DE ESTUDIO

Nuestra investigación se ubica dentro del campo de las ciencias naturales y económicas. Por su naturaleza interdisciplinaria, el trabajo en este tema nos ha permitido ampliar nuestros horizontes en el conocimiento.

- MOTIVACION

Uno de los principales problemas que presentan las regiones áridas y semiáridas “noroeste” esta relacionada con la disponibilidad de agua. Climatológicamente, fenómenos como “El Niño” pueden provocar lluvias intensas y sequías extremas haciendo a la región altamente vulnerable a cambios en el clima. Más que un simple estudio teórico, el trabajo propone medidas de acción para reducir esta vulnerabilidad.

OBJETIVO GENERAL

Detectar las relaciones entre la variabilidad climática interanual, caudales de ríos y niveles de presas en los estados de Sonora y Sinaloa. Analizar el impacto de las variaciones climáticas en la disponibilidad de agua para riego, consumo humano, etc., estimando su impacto económico y social (agricultura). Realizar una comparación de los impactos en los estados de Sonora y Sinaloa. Proponer estrategias y medidas de mitigación.

OBJETIVOS PARTICULARES

1. Identificar las formas de variabilidad climática en el noroeste de México, particularmente Sonora y Sinaloa en lluvia, caudales de ríos y niveles de presas.
2. Presentar algunos índices que pudieran relacionar la variabilidad climática y crecimiento económico, así como aspectos sociales en torno a la disponibilidad de agua en el noroeste de México.
3. Proponer estrategias de adaptación y mitigación que mejoren la administración de agua y resulten en desarrollo sostenido de la áreas bajo estudio.

- **PLANTEAMIENTO DE LA HIPOTESIS**

De acuerdo a los registros históricos en las últimas dos décadas se han presentado dos de los Niños más intensos trayendo como consecuencia pérdidas socioeconómicas cuantiosas . Existen patrones climáticos como las lluvias y la sequía que se relacionan con la presencia de "El Niño". De acuerdo a esto se formula la siguiente hipótesis: "Durante la presencia del fenómeno se espera que los valores en caudales y niveles de presas sean mayores en invierno y menores en verano".

- **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Los aumentos de población representan un crecimiento en la demanda de satisfactores básicos, muchos de los cuales dependen de las variaciones climáticas, que repercuten particularmente en variaciones de abastecimiento de agua. También en esta situación se encuentran sectores como la agricultura, industria, minería, energía etc., por lo que "la competencia" por el agua con la población, puede convertirse en un grave problema a futuro. Si a esto se añade un clima más variable, el problema se torna aun más complejo.

- **ESTRUCTURA DE LA TESIS**

Este trabajo se divide en cuatro capítulos:

Capítulo I. Presentación de los factores que intervienen en el clima. Descripción del fenómeno climático El Niño/Oscilación del Sur (ENSO), así como los impactos que este fenómeno tiene en México.

Capítulo II. Descripción hidrográfica de la región de estudio, así como de las técnicas aplicadas para el análisis de las series de tiempo de precipitación, caudales de ríos y niveles de presas. Se presentan resultados para Sonora y Sinaloa en términos del ciclo anual, variabilidad interanual y variabilidad interdecadal.

Capítulo III. Análisis de impacto socioeconómico de las variaciones en la disponibilidad de agua

Capítulo IV. Propuesta de estrategias y medidas de mitigación de tipo económico y social para mejorar el uso de recursos hidrológicos en el noroeste de México. Conclusiones del trabajo y propuestas a futuro.

INDICE

Introducción	1
CAPITULO I. Clima y disponibilidad de agua en el noroeste de México.	
Importancia del agua.	
1.1 Clima y Agua	5
1.1.1 Clima y tiempo	5
1.1.2 Hidrología	9
1.1.3 Clima y Socioeconomía	12
1.2 Clima en el noroeste de México	14
1.2.1 Características	14
1.2.2 Procesos	16
1.3 Variabilidad Climática Interanual	18
1.3.1 El Niño y La Niña	18
1.3.2 Impactos del Niño en México	24
1.4 Cambio Climático	30
1.4.1 Efecto Invernadero	30
1.4.2 Modelos de Circulación General de la Atmósfera y el Océano	33
1.4.3 Cambios Climáticos durante el último siglo	35
1.4.4 Cambio Climático Regional	36

CAPITULO II. Agua en el noroeste de México.	
2.1 Situación hidrográfica del noroeste de México	38
2.2 Datos y Técnicas	43
2.3 Variabilidad Climática: Sonora y Sinaloa casos de estudio	48
2.3.1 Ciclo Anual en la precipitación	48
2.3.2 Variabilidad Interanual en la disponibilidad de agua	49
2.3.3 Variabilidad Interdecadal en la disponibilidad de agua	57
CAPITULO III. Agua y agricultura.	
3.1 Disponibilidad y usos del agua en el noroeste de México	60
3.1.1 En agricultura	62
3.1.2 Generación de Energía eléctrica	63
3.1.3 Otros usos: Industrial y Urbano	64
3.1.4 Crecimiento económico vs. Demanda de agua	65
3.2 Impactos del Clima	69
3.2.1 Agricultura	69
3.2.2 Población	71
3.2.2.1 Escenario actual	73
3.2.3 Otros	73
3.3 Escenarios a futuro	80
3.3.1 Indices de disponibilidad de Agua vs. situación socioeconómica	84

CAPITULO IV. Mitigación.

4.1 Económicas	85
4.1.1 Agua	85
4.1.2 Otros Sectores	86
4.2 Sociales	91
4.3 Conclusiones	93
Referencias	99

INTRODUCCION

Uno de los principales problemas que se presentan en las regiones áridas y semiáridas está relacionada con la disponibilidad de agua. Geográficamente, el noroeste está ubicado alrededor del cinturón desértico del planeta (30°N), donde la precipitación rara vez excede los 400 mm/año.

La variabilidad interanual en precipitación no solo está relacionada con el fenómeno El Niño/Oscilación del Sur (ENSO) y el cuál se describe más adelante en el capítulo I, sino también con factores como la temperatura de la superficie del mar (TSM) en el Atlántico, la humedad del suelo, actividad de huracanes, etc., lo cual hace que el problema del pronóstico del clima para esta región sea complicado.

Desde el punto de vista meteorológico el Monzón mexicano constituye uno de los más importantes sistemas climáticos con respecto al ciclo anual. Este determina en gran medida la precipitación en el noroeste.

El rápido crecimiento de la población, asociado con el desarrollo agrícola e industrial a lo largo del noroeste, ha incrementado la demanda de agua. Por ejemplo, en Sonora existen maquiladoras que compiten con agricultores y

población por el agua disponible. Este problema se torna particularmente serio cuando se administran y dirigen los recursos hidráulicos sin considerar la variabilidad climática. La escasez de agua tiene repercusiones sociales, económicos, que involucran diferencias culturales entre las entidades. En años recientes el problema de sequía y disponibilidad de agua en el norte de México ha llevado incluso a problemas entre estados. Tal es el caso de Coahuila y Nuevo León, al tratar de definir los derechos de uso del agua en la presa El Cuchillo.

En la actualidad, existen modelos que simulan a gran escala (ver capítulo I) la circulación atmosférica y variabilidad climática, que son usados en simulaciones y pronósticos para predecir clima regional y hasta local. Las actuales predicciones de ENSO pueden ayudar a definir planes de acción para mitigar condiciones climáticas extremas en el mundo. Iniciativas como las del Instituto de Investigaciones Internacionales (IRI) y el Instituto Interamericano (IAI) conllevan proyectos científicos donde el principal objetivo es hacer uso de pronósticos de ENSO para planear actividades regionales, económicas y sociales, tales como la agricultura, salud, etc..

Otro de los temas de importancia es el futuro de los recursos hídricos bajo condiciones de cambios en el clima. La mayoría de los modelos de circulación general (GCM) que simulan cambios en el clima por cambios de volumen de bióxido de carbono (CO_2) indican un variación en la temperatura del planeta. A lo

largo de la región noroeste de México indican un incremento en la temperatura superficial sobre el orden de 2°C aproximadamente 75 años (Magaña y Quintanar,1997).

Sin embargo no hay certidumbre sobre el cambio en el ciclo hidrológico, especialmente a nivel regional. Mientras algunos modelos predicen una reducción en precipitación, otros pronostican lo contrario (J. L . Pérez 1997).

Debido a que la tendencia en la demanda de agua ha ido incrementándose es necesario definir estrategias que consideren la variabilidad climática, los cambios en el clima dentro de los planes de distribución del agua. Los cambios en la precipitación debe llevarnos a adoptar medidas de adaptación con base en la vulnerabilidad de la región.

Este estudio presenta un escenario de la variabilidad climática y cambios de clima y sus impactos en los recursos hidrológicos, tomando en cuenta el actual uso, las tendencias en disponibilidad de agua y el crecimiento de la demanda en la región.

El caso de Sonora y Sinaloa, es usado como un ejemplo por ser dos estados donde el agua es crucial no solo para el bienestar de la población, sino para mantener su crecimiento económico. En ambos casos el principal uso del agua es para agricultura. Sonora y Sinaloa son estados de mucha importancia en México

en términos de productividad en este sector. Se espera que el crecimiento económico y poblacional continúen, por lo que la demanda de agua podría incrementarse substancialmente, haciendo necesaria el establecimiento de nuevas políticas para el uso del agua. Por tanto, es necesario analizar con profundidad estrategias para uso racional de este vital líquido.

CAPITULO I

CLIMA Y DISPONIBILIDAD DE AGUA EN EL NOROESTE DE MEXICO IMPORTANCIA DEL AGUA

1.1 CLIMA Y AGUA

1.1.1 Clima y Tiempo

Mucha gente se pregunta si los veranos son ahora más calientes que antes y si llueve menos o más. El cambio en el clima, el fenómeno de El Niño, parecen ser ya parte de el vocabulario de muchos. Opiniones y preocupaciones sobre variaciones en el clima se expresan día a día pero, ¿qué hay detrás de lo que intuitivamente sentimos está pasando con nuestra atmósfera?, ¿la estamos calentando? o ¿posee "los mecanismos" necesarios para adaptarse a las modificaciones asociadas a factores antropogénicos?. Estas preguntas son las mismas que están en la mente de muchos científicos en el mundo y son motivo de grandes discusiones y proyectos.

Es diferente hablar de clima y tiempo. Lo que nosotros experimentamos día a día, los cambios de la circulación atmosférica, en corto plazo, es lo que se conoce como **tiempo**. Se entiende por **clima** al promedio de todos los tiempos que

experimentamos durante cierto periodo. El promedio deberíamos tomarlo durante muchos años para poder hablar verdaderamente de clima.

Cuando se habla de **variabilidad climática**, se habla implícitamente de la circulación de la atmósfera en diferentes escalas de tiempo y espacio. Para tener una idea de como se pueden interpretar dichas relaciones espacio tiempo hagamos referencia a la figura 1. En esta gráfica se observa que cuanto más grande sea la escala en el espacio, es mayor el tiempo que se requiere para su desarrollo.

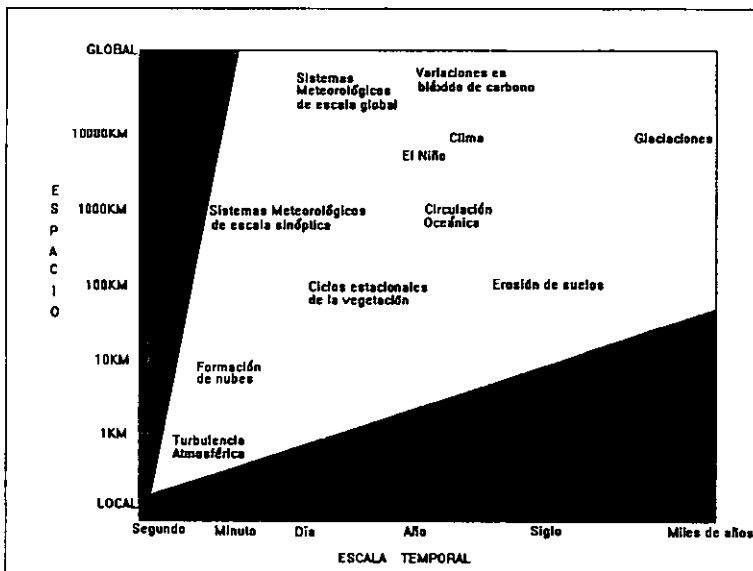


Figura 1. Relación espacio-tiempo para algunos procesos que ocurren en el sistema atmósfera-oceano-continente.

A muchos nos gustaría pronosticar en forma precisa el clima de la Ciudad de México en diez años, bajo los efectos, por ejemplo, del aumento de gases de

invernadero, pero esto aun no es posible. Cuando más, podemos especular acerca de como variará la temperatura en los trópicos, ya que para la descripción adecuada de cualquier fenómeno atmosférico se deben considerar escalas de tiempo y espacio.

En Meteorología, las subdivisiones de espacio y tiempo no deben hacernos pensar que las variaciones en el clima son independientes de las variaciones en el tiempo en escala sinóptica. Después de todo, el clima no es sino el tiempo promedio de muchos días. Supongamos que iniciamos nuestro estudio de variaciones climáticas analizando alguna escala de tiempo, la mas pequeña que se nos ocurra, digamos un día, y pensemos en una de las variables con las que estamos mas familiarizados, la temperatura. Durante la mañana esta comienza a subir, llega a un máximo y por la noche y madrugada desciende hasta alcanzar un mínimo antes de volver a subir. Nos podemos referir a tales variaciones como una oscilación con periodo de un día.

Los valores máximos y mínimos de tales oscilaciones dependen de la estación del año. En general, serán mayores durante el verano y menores durante el invierno, es decir son modulados por las estaciones. Tales máximos y mínimos de la temperatura durante las estaciones son a su vez modulados por oscilaciones interanuales que, aunque no siempre tienen un periodo regular, están presentes. Ejemplos de tales fluctuaciones en el clima son el popular fenómeno de El Niño y

su menos conocida contraparte, La Niña. Podemos continuar hablando de oscilaciones en escalas mayores de tiempo, modulando escalas menores, hasta llegar a las fluctuaciones de miles de años, como las glaciaciones.

Basados en tales procesos de modulación, ¿ qué decir por ejemplo, de procesos de calentamiento global de la atmósfera ? Pudiera ser que tal calentamiento sea solo parte de la variabilidad natural de la atmósfera y que actualmente nos encontremos en la parte ascendente de alguna de las oscilaciones con periodo de decenas o cientos de años. ¿ No hay motivo, entonces, para preocuparse si se duplica el bióxido de carbono o el metano "gracias" a las industrias contaminantes en el mundo ? Las respuestas son motivo de discusiones acaloradas en los grandes foros científicos y políticos.

El problema de la variabilidad en la circulación atmosférica se estudia basándose en consideraciones físicas, pues sólo en este marco de referencias pueden abordar problemas como el de los cambios en el tiempo y en el clima, que son el resultado de complejas interacciones entre atmósfera, océano y continentes (Magaña, 1995).

Las variables climáticas con las que se trabaja más a menudo se relacionan con la atmósfera . Sin embargo, un estudio sobre el clima no puede considerar a ésta como independiente, ya que los procesos atmosféricos se encuentran

intimamente relacionados con la superficie terrestre, los océanos y las zonas terrestres cubiertas por hielo (conocidas como criosfera). Así mismo, existe una fuerte relación de dichos procesos de la atmósfera con la biosfera (vegetación y otros sistemas vivos tanto de la tierra y el océano). Estos cinco componentes (atmósfera, tierra, océano, hielo y biosfera) integran el **Sistema Climático**.

1.1.2 Hidrología

El agua es uno de los recursos naturales renovables mas importantes con que se cuenta pues sin ella sería imposible la vida. El agua es para el hombre un elemento indispensable, no solo biológicamente, sino también para su confort y el buen estado del medio ambiente.

La humanidad desde sus albores se ha preocupado por el abastecimiento del agua. En un principio, únicamente para calmar su sed y refrescar su cuerpo, pero después, a medida que fue evolucionando y fueron aumentando sus necesidades, vio en ella un medio para solucionar sus problemas. Así, empezó el uso de mayores cantidades de agua en agricultura, producción de energía eléctrica, industria, etc. se ha vuelto común.

Al mismo tiempo que se multiplica la población, los usos del agua han crecido, lo cual implicó una mayor demanda de recurso. Si estos fenómenos continúan, es

probable que en algunos lugares las fuentes de abastecimiento sean mas escasas o insuficientes.

Ante este panorama se hace necesario el estudio de los factores que intervienen en el ciclo natural del agua, para tener una mejor idea de la cantidad disponible del recurso.

Ha habido varios trabajos al respecto. Algunos autores sugieren que el agua será insuficiente para satisfacer las necesidades; otros consideran que las reservas existentes bastarán para la satisfacción de las necesidades de la población. Aun suponiendo que no fuera así, piensan que el hombre se enfrentará al problema y lo resolverá de una u otra forma ya que se trata de una etapa mas en el progreso de la humanidad.

Según estimaciones recientes, el volumen total de agua, almacenada en el mundo, es aproximadamente 1,400 millones de kilómetros cúbicos, de los cuales más de 97 por ciento se encuentra en los mares. Del volumen restante, es decir, del total del agua dulce, un 77.2 por ciento se ha congelado en los polos y masas glaciares; un 22.4 por ciento constituye agua subterránea y humedad del suelo; un 0.35 por ciento se halla en lagos y pantanos, solo un 0.4 por ciento corre por los ríos del mundo. Este mínimo porcentaje, sin embargo, es suficiente para alimentar y sostener a la población y mantener el desarrollo del planeta.

El volumen de agua corriente no está distribuido por igual entre los continentes del mundo. Por el contrario, dos continentes abarcan más de la mitad del total de escorrentía mundial: Sudamérica y Asia, en gran parte gracias a sus cubiertas vegetales de bosques húmedos tropicales. Otros continentes, en cambio, soportan altos índices de sequía o acceso temporal y/o esporádico a este recurso. Para efectos de utilización humana, las aguas subterráneas son también importantes. Estas se encuentran a menudo almacenadas en grandes cantidades como el petróleo, en reservas que a veces no pueden ser recuperadas naturalmente. En este caso, la extracción "mina" dichos recursos; mientras que en otros casos los depósitos de agua subterránea se hallan tan profundos (750 metros o más) que la extracción es costosa y difícil.

Actualmente uno de los estudios de mayor interés y del cual se cree que puede tener impactos significativos en la hidrología es el Cambio Climático a consecuencia del Calentamiento Global. El cambio climático afecta las variaciones naturales, estacionales y anuales del recurso agua. Las actuales fluctuaciones en la disponibilidad de este recurso muestran que ya es necesario prepararse para las posibles consecuencias de un calentamiento global. La pregunta fundamental parece ser ¿tendrán las ciudades en el futuro próximo un abastecimiento de agua suficiente y confiable?. Un calentamiento global evidentemente disminuirá el gasto

promedio de los ríos y por lo tanto los niveles de almacenamiento de agua, que son fundamentales para el abastecimiento de áreas urbanas.

En ciertas regiones las preocupaciones empiezan cuando el uso y el consumo de agua tiende a ser mayor que la disponibilidad real de esta. Tal afirmación sugiere establecer un balance a nivel regional de consumo, almacenamiento, variabilidad del recurso, uso de agua subterránea y generación de energía eléctrica.

Por otro lado, la consideración de fenómenos y procesos naturales en el ciclo hidrológico, como el monzón y El Niño, que afectan a nuestro planeta operando en escalas de tiempo que van desde la mensual hasta la interanual, hacen que este problema se convierta en un reto científico, social y económico.

1.1.3 Clima y Socioeconomía

Definitivamente la actividad en la que se emplea una mayor cantidad de agua es la agricultura. Gran parte del agua utilizada corresponde al riego, sobre todo en la regiones áridas del país.

El empleo de agua para esta actividad tiene mucha importancia ya que gran parte de la actividad económica se centra en ella. Le sigue la industria y después los usos domésticos, servicios y recreativos, pudiendo variar de región a región.

Es evidente que todas las actividades económicas dependen del recurso agua, por lo que no se pueden considerar independientes las variables naturales de las variables económicas. De ahí que el estudio de cambios en disponibilidad de agua implique el análisis de sus impactos en el sector socioeconómico.

1.2 EL CLIMA EN EL NOROESTE DE MEXICO

1.2.1 Características

Las características generales del clima para el estado de Sonora, vienen dadas por su ubicación geográfica en el cinturón de zonas áridas (30°N) distribuido alrededor del mundo. Los sistemas de alta presión que prevalecen y que tienen como origen la subsidencia de masas de aire provoca cielos despejados y amplia exposición solar, efecto que conlleva a un incremento de temperatura. Esta condición en principio mantiene un clima cálido y seco. Sin embargo, el panorama climático tiene sus matices, debido a las interacciones entre mares, continentes y atmósfera, que propician variaciones en la precipitación, temperatura y evaporación, que dan como resultado una gran diversidad de climas.

El clima mexicano está determinado en gran medida por la influencia de los vientos alisios provenientes del este, mismos que atraviesan el continente, razón por la cual van perdiendo su humedad al ir chocando contra los elementos orográficos existentes en su trayecto, siendo el último de ellos la Sierra Madre Occidental. Al llegar a las llanuras sonorenses, carente de humedad. Por otro lado, el mar no proporciona humedad suficiente debido a las bajas temperaturas del agua (Corriente de California) durante buena parte del año, por lo que no hay gran evaporación. Como consecuencia de lo anterior, los climas predominantes en el estado son de carácter seco y semiseco. Ello se manifiesta en buena parte del

territorio sonoreense, en tanto que los subhúmedos y templados, están restringidos a las partes altas de las sierras. Con esta descripción general es posible delinear claramente el sello característico del estado; la escasez de agua.

Por otra parte, el estado de Sinaloa , presenta gran diversidad de climas. El templado subhúmedo y cálido subhúmedo con lluvias en verano en las partes mas altas de la sierra, en los límites con Chihuahua y Durango. El cálido subhúmedo con lluvias en verano, se localiza al pie de la sierra y se extiende a lo largo del estado. Finalmente, el semiseco muy cálido que ocupa el resto de la planicie costera.

Una gran extensión de la región sur de México se localiza en la Zona Intertropical de Convergencia donde existe gran humedad que trae como consecuencia precipitación intensa para esta región.

En esta región intertropical, algunas zonas oceánicas presentan temperaturas mayores a los 28° C lo cual convierte a la región en propicia para la generación de huracanes, pero también en fuente de humedad para el Monzón mexicano que propicia las lluvias de verano.

1.2.2 Procesos

Desde el punto de vista meteorológico los frentes y el Monzón mexicano constituyen los más importantes sistemas de circulación que producen precipitación en el noroeste de México.

Durante el periodo invernal los frentes fríos o nortes que no son sino masas de aire frío asociado a un sistema de latitudes medias. Este tipo de sistemas que llevan dirección de norte a sur van dejando durante su paso humedad y por consecuencia precipitaciones que hacen que este fenómeno se convierta en fuente invernal de agua. Esta perturbación es de corta duración (de pocas horas a tres días) y se desplaza con rapidez por la región oriental de los Estados Unidos, noroeste de México y partes centrales del Golfo de México.

En el noroeste de México se producen cambios en los vientos relacionado con las estaciones del año. Los vientos soplan del noroeste durante el invierno y del suroeste en el verano. Con ello se producen cambios en el ciclo de la lluvia, con las mayores precipitaciones ocurriendo durante los meses de verano (julio a septiembre).

A pesar de que el cambio en la dirección de los vientos no es grande como en el monzón de Asia, es suficiente para que se le considere como un "monzón": el **monzón mexicano**. Durante la época de lluvias, "la humedad" viene del sur en una capa poco profunda sobre el Golfo de California. Este sopla del mar hacia las laderas de las montañas de la Sierra Madre Occidental. Las fuertes circulaciones diurnas, junto con la gran cantidad de humedad disponible, producen lluvia casi diariamente en las laderas de las montañas de Sonora y Sinaloa. También hay perturbaciones ciclónicas que ocasionalmente, aumentan la lluvia y llegan a modular las circulaciones convectivas de mesoescala que se forman sobre esta región. Grandes cambios en el campo de viento a niveles bajos se conocen como Surgencias del Golfo y ocurren durante el verano (Douglas, Maddox, Howard y Reyes,1993) (Fig. 2).

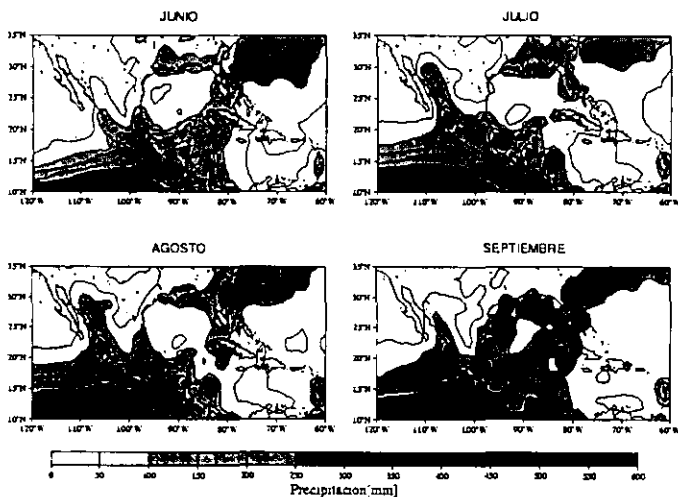


Fig 2. Representación gráfica del Monzón de México. Precipitaciones acumuladas por mes.

1.3 VARIABILIDAD CLIMÁTICA INTERANUAL

1.3.1 El Niño y La Niña

Durante el mes de diciembre sobre las costas de Perú y Ecuador se registra una corriente caliente que dura varios meses. Los pescadores de la región notaron que en algunos años esta corriente se acentuaba tanto que a veces no podían comenzar a pescar hasta mayo o junio. Como el fenómeno siempre se observaba en el último mes del año los pescadores lo llamaron "El Niño" (refiriéndose a la tradición de la llegada del niño Jesús).

En los años 20's mientras que los científicos sudamericanos trataban de explicar este fenómeno, Gilbert Walker, un científico británico, encontró una relación entre las medidas barométricas de las estaciones del este con las del oeste del Océano Pacífico ecuatorial. Cuando la presión aumentaba en el este, usualmente disminuía en el oeste y viceversa. A este fenómeno lo llaman Oscilación del Sur. Después el trabajo Jacob Bjernes llevo a reconocer que El Niño y La Oscilación del Sur son parte de un mismo fenómeno (ENSO). A continuación se presenta la descripción del fenómeno:

En el Océano Pacífico tropical, los vientos dominantes cerca de la superficie son del este y se denominan alisios. Tales vientos tienden a acumular el agua más caliente hacia el lado oeste, alrededor de la región de Indonesia, etc.(Fig. 3a). Por

ser la temperatura de superficie del mar elevada ($>28^{\circ}\text{C}$), el aire es más ligero formando una atmósfera inestable en la que hay gran cantidad de nubes profundas y lluvias intensas. El Pacífico tropical del este es en general más frío ($<27^{\circ}\text{C}$), por presentarse surgencias de agua del fondo del océano. Estas aguas son ricas en nutrientes, razón por la cual algunas de las pesquerías más ricas en el mundo se presentan frente a las costas de Perú. La presencia de aguas relativamente frías inhibe sin embargo, la formación de nubes por lo que en las costas de Perú y Chile se tiene muy poca lluvia.

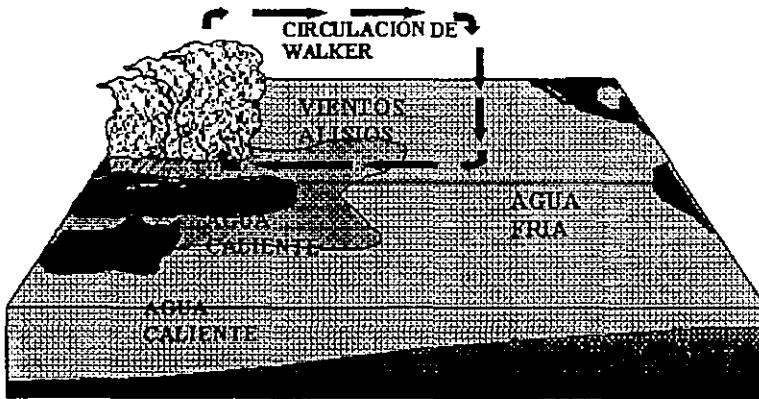


Fig. 3a. Diagrama que representa la circulación atmosférica zonal tropical y las condiciones medias del Océano Pacífico.

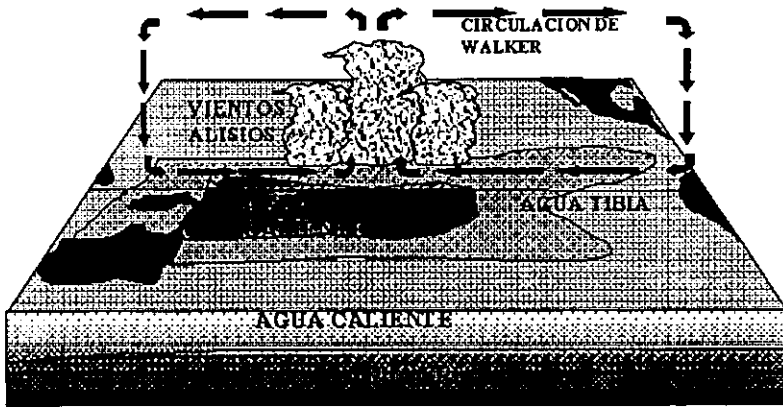


Fig. 3b. Como en la Figura 3a, pero durante condiciones de El Niño.

Durante años de Niño, los vientos alisios en el Pacífico se debilitan por lo que las aguas más calientes del Pacífico tropical se esparcen a lo largo del ecuador (Fig. 3b). Aunque no parece, el aumento en la temperatura del océano es de solo ($\sim 2^{\circ}\text{C}$) la cantidad de energía (calor) involucrada es muy grande.

Con la aparición de una zona de agua caliente en el Pacífico central y del este, la región de mayor formación de nubes cumulonimbos profundas y precipitaciones intensas, se desplaza hacia esta parte de los trópicos. Tal corrimiento no se debe a mayor evaporación *in situ*, sino a que la convergencia de humedad se da ahora en esta región. Con tales cambios, donde antes llovía poco (por ejemplo, en las islas del Pacífico del este o Perú) ahora se producirán lluvias intensas e incluso

inundaciones, mientras que donde antes llovía mucho lloverá menos, como en el Pacífico del oeste (Indonesia, norte de Australia, Filipinas, etc.).

Incluso aquellos huracanes que afectan normalmente a las Filipinas, Taiwan, etc. comienzan a formarse cerca de Tahití, Fijí, etc. causando grandes daños a la población.

En Perú , las aguas costeras mas calientes provocan que especies de peces como la anchoveta, emigren hacia regiones donde la temperatura es más baja o en busca de alimento, ya que el debilitamiento de los vientos produce una reducción en la surgencia de aguas frías del fondo, impactando las pescas peruanas. Pero no sólo los pescadores se ven afectados, las aves marinas de las galápagos pierden su fuente de alimento y sus poblaciones decrecen. Es tan importante el efecto del Niño en las pesquerías que las acciones de la harina de pescado en la bolsa de valores de Nueva York cambian inmediatamente de precio al recibirse las primeras informaciones de la aparición de El Niño.

En los últimos años, se ha encontrado que el Niño puede alterar el clima de regiones tan distantes como los Estados Unidos o Sudáfrica. Por ejemplo, la influencia del Niño se siente en el noreste del Brasil, donde se producen sequías intensas con un consecuente impacto en la agricultura. En Australia, la agricultura y ganadería también resultan afectadas por la sequía, mientras que en California

se establecen planes de prevención de desastres ante las fuertes lluvias de invierno e inundaciones. Los costos de tales impactos se calculan en cientos de millones de dólares.

Los cambios en el clima se reflejan incluso en la salud. Ciertos tipos de enfermedades como el dengue, o el paludismo pueden aparecer más frecuentemente en periodos húmedos y calientes, como los que ocurren en ciertas regiones de Latinoamérica (e.g., Colombia y Centroamérica) durante el Niño.

No se piense sin embargo que el fenómeno de El Niño es una amenaza apocalíptica que va a terminar con la humanidad. En realidad, tal tipo de variabilidad en el clima ha existido desde siempre. Los seres humanos y los ecosistemas en general, se han adaptado a tales extremos en el clima. Quizá hoy en día estos fenómenos causen más preocupación por afectar a más personas. Es natural, el aumento de la población ha obligado a establecer asentamientos en zonas que pueden ser muy afectadas por fenómenos naturales. Por ejemplo, la posibilidad de que un huracán cause daños a un núcleo de población es mayor hoy en día, al haber más gente viviendo en laderas de los cerros o en lechos de ríos.

Además del fenómeno de El Niño, se habla de su contraparte, La Niña, que corresponde a anomalías negativas (temperaturas $>-1^\circ$) en la temperatura

superficial del Pacífico tropical del este. Al parecer, La Niña provoca eventos climáticos contrarios a lo experimentado durante El Niño.

Por ejemplo, en Australia o Indonesia, en vez de la sequía durante El Niño, lloverá más de lo normal. No es completamente claro sin embargo, que los efectos en el clima en otras regiones del planeta sean “simétricos” entre periodos de El Niño y La Niña. Incluso, hoy se sabe que aunque el clima durante años de Niño tiende a ser anómalo en cierta dirección (más lluvias, huracanes, etc.), hay grandes variantes en las respuestas climáticas de un año de Niño a otro, por lo que se habla de la no-linearidad del sistema océano-atmósfera. Por otra parte, a un evento de El Niño, no siempre sigue uno de La Niña, mostrando la no-periodicidad de este fenómeno (Magaña, Pérez, Conde y Medina, 1997) (Fig. 4).

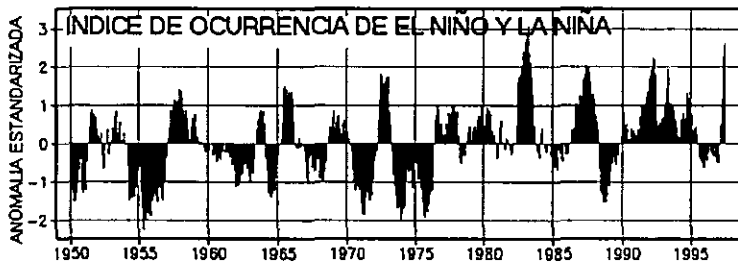


Fig. 4) Anomalías estandarizadas de temperatura superficial del océano Pacífico del este (áreas >1⇒El Niño, áreas<-1⇒La Niña)

1.3.2 Impactos del Niño en México

En nuestro país el fenómeno de El Niño tiene grandes repercusiones en el clima y en nuestras actividades socioeconómicas. Estudios recientes muestran que los

regímenes de lluvias de invierno y verano se ven afectados. De manera general podemos decir que las lluvias de invierno se intensifican durante años de El Niño.

Existen por supuesto variaciones regionales a este patrón de respuesta de las lluvias en México. Regiones como el sur de Veracruz, Tabasco y Yucatán parecen no responder directamente a la ocurrencia del ENSO.

En inviernos de El Niño, la corriente en chorro de latitudes medias, en la que los ciclones de latitudes medias se encuentran inmersos, se desplaza hacia el sur (aproximadamente 500 km) provocando una mayor incidencia de frentes fríos y lluvia en la zona norte y centro de México, como ocurrió en los meses de invierno de 1991-1992. Durante veranos de El Niño, las lluvias en la mayor parte de México disminuyen, por lo que la sequía comienza a aparecer. En este periodo, la zona intertropical de convergencia del Pacífico este, donde existe gran cantidad de nubes profundas y lluvia, tiende a permanecer más cercana del ecuador, por lo que la fuente de humedad para las lluvias en la costa oeste de México, durante

los meses de junio, julio y agosto, permanece alejada. Por ello las lluvias de verano son bajas en la costa del Pacífico mexicano. Por el contrario, en años de Niña, las lluvias parecen estar por encima de lo normal en la mayor parte de México, pero especialmente en las costas del Pacífico.

Durante el verano, el país se ve afectado por huracanes, tanto en el Pacífico como en el Atlántico. Relaciones estadísticas sugieren que durante años de El Niño aumenta el número de huracanes en el Pacífico, mientras que disminuyen en el Atlántico, Mar Caribe y Golfo de México. Tal relación tiende a revertirse durante años de Niña. No es claro sin embargo, en que parte del Pacífico se formarán más huracanes y si tenderán a seguir trayectorias más cercanas o alejadas de las costas mexicanas. Al parecer durante veranos en que la anomalía de agua caliente aparece en el Pacífico este, la dispersión en la génesis y trayectorias de huracanes aumenta, pudiendo incluso extenderse hacia regiones del Pacífico central. La anomalía de agua caliente, puede llegar hasta las costas mexicanas, por lo que se piensa que la intensidad del huracán Paulina pudo verse aumentada por la ocurrencia del Niño. Sin embargo, no se puede afirmar que la trayectoria seguida por este huracán a lo largo de Oaxaca y Guerrero se debió al ENSO o que sea algo anómalo. Durante cada verano existe la posibilidad de huracanes entrando a las costas de nuestro país.

Por otra parte, la disminución de huracanes en el Golfo de México, afecta las lluvias del norte de Veracruz, Tamaulipas y Coahuila, por lo que la sequía durante veranos del ENSO puede ser severa en esta región. Así sucedió durante el verano de 1977, debido a la ocurrencia de un intenso fenómeno de El Niño (Magaña, Pérez, Conde y Medina, 1997).

En los años de 1982-1983 se produjo un evento ENSO muy severo, que provocó sequías, incendios y pérdidas estimadas en cerca de US\$600,000,000 en las economías de México y Centro América. Durante el periodo 1991-1995 se estableció un periodo de Niño, que si bien no fue tan intenso como el antes mencionado, coincidió con una de las sequías más prolongadas en el norte de México, resultando grandes pérdidas en agricultura especialmente en estados del norte: Chihuahua con 1.5 millones de hectáreas afectadas, Coahuila con 4,000,000 de hectáreas, Nuevo León con 500,000 hectáreas, Sinaloa con 100,000 de hectáreas, Tamaulipas con 900000 hectáreas y Durango con 700000 hectáreas. Alrededor de 12,000 a 30,000 cabezas de ganado murieron en 4 días. Los depósitos de agua disminuyeron dramáticamente en la mayoría de los estados del norte con respecto a su capacidad. A menos del 13% en Chihuahua, menos del 10% en Nuevo León.

Tal sequía produjo problemas internos y externos por el uso de aguas en las presas. Las noticias de los reclamos de agua en la presa de El Cuchillo, o los conflictos por aguas en el Río Bravo con los Estados Unidos estuvieron en primera plana durante varios días.

El 21 de noviembre de 1997 el gobierno mexicano anunció un plan para mitigar los efectos negativos del ENSO durante el invierno. Los estados considerados más vulnerables son Baja California Norte (especialmente Tijuana), Baja California Sur (especialmente La Paz y Los Cabos), Sonora, Sinaloa (especialmente Hermosillo), Nayarit y Chihuahua.

Alrededor de 500 mil personas estuvieron en riesgo por inundaciones y derrumbes. Los cálculos indican de 2.5 a 3 veces más precipitación que la normal. La temperatura de invierno particularmente en Chihuahua y en el centro del país disminuyó ocasionando pérdidas de vidas (Magaña y Conde, 1997).

Las pesquerías en México se ven también afectadas. Las anomalías de agua caliente asociadas a El Niño pueden extenderse hasta costas mexicanas produciendo disminución de nutrientes, de algunas pesquerías características de aguas frías y una menor productividad general. Si bien los efectos estarán sumamente matizados por las condiciones locales de cada región de la costa mexicana, muchos ecosistemas tropicales (el ejemplo más claro son los arrecifes

de coral) son especialmente sensibles a los cambios de temperatura. el cambio en las poblaciones planctónicas parece ser hasta el momento el factor más influyente en la disminución de importantes pesquerías o en el aumento de algunas especies tóxicas resistentes a los cambios térmicos. De cualquier forma, eventos locales como vientos que lleven nutrientes a la superficie, la topografía particular, etc. pueden hacer que los efectos varíen de una región a otra. Tal como sucede en las islas Galápagos, los santuarios de aves en el Pacífico mexicano parecen sentir la disminución de peces (e.g., Isla Isabela).

Los impactos de El Niño en salud en México, apenas comienzan a ser analizados, pero la experiencia de otros países en la región (e.g., Costa Rica) parece indicar que los efectos negativos en salud pueden ser notorios.

Quizá el mayor impacto económico ocurrió durante el verano. Estas zonas se vieron afectadas por fuertes sequías en el primer semestre de 1998 debido a la persistencia del ENSO.

NIÑO	NIÑA	NIÑO	NIÑA
1900-1901		1963-1964	1964-1965
1902-1903	1903-1904	1965-1966	
1905-1906	1908-1909	1969-1970	1970-1971
1911-1912		1972-1973	1973-1974
1914-1915	1916-1917		1975-1976
1918-1919	1920-1921	1976-1977	
1923-1924	1924-1925	1977-1978	
1925-1926	1928-1929	1982-1983	
1930-1931	1931-1932	1986-1987	1988-1989
1932-1933		1991-1992	
1939-1940		1993-1994	
1940-1941		1997-1998	1998-1999
1941-1942	1942-1943		
1946-1947	1949-1950		
1951-1952			
1953-1954	1954-1955		
1957-1958			

Tabla I. Serie histórica de años de Niño y Niña.

1.4 CAMBIO CLIMATICO

1.4.1 Efecto Invernadero

El 99% de la radiación solar es de onda corta. Ciertas radiaciones de onda corta remitidas por la superficie terrestre son atrapadas principalmente por tres gases en la atmósfera: bióxido de carbono (CO_2), vapor de agua y ozono (O_3), pero además, existen otros que atrapan dichas radiaciones y que también están presentes en la atmósfera como: oxido nitroso (NO_2), metano (CH_4), y clorofluorocarburos.

Este fenómeno de atrapamiento en lugar de su escape al espacio hace que la superficie de la Tierra conserve una temperatura promedio de 15°C ; éste es el efecto benéfico natural del fenómeno de invernadero. De no existir, la temperatura seria de -18°C , lo que significa que estos gases mantienen (Bruce, 1990) a la tierra 33°C mas caliente, lo que hace posible la vida en el planeta.

A partir de la revolución industrial, el hombre empezó a influir en el medio ambiente y, en particular en la atmósfera, de manera más notoria. Debido a esto se han incrementado la emisión de gases que producen el efecto de invernadero, principalmente a consecuencia del uso y transformación de combustibles fósiles en energía (tabla 2). Se estima que ha ocurrido un incremento en la temperatura media global de la Tierra (Fig. 5), dada la correlación entre una mayor presencia

de gases de invernadero y el incremento de la temperatura media global. A mayor cantidad de gases de invernadero, mayor atrapamiento de energía, lo que a su vez origina mayor calentamiento.

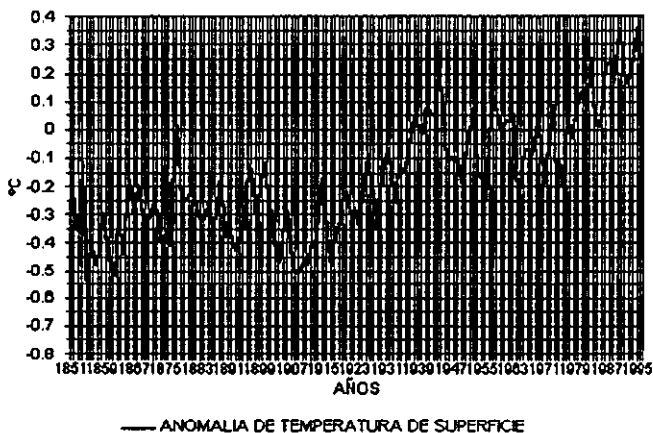


Fig. 5. Anomalías de temperatura de superficie sobre la Tierra, referidas al periodo 1951-1995. Los valores anuales se han tomado de P.D. Jones.

El **cambio climático** parece estar asociado con la actividad humana. Un cambio climático global como el predicho por los modelos tendría un impacto trascendente en todas las actividades del hombre y de los animales, ya que serían afectados los ecosistemas naturales, la silvicultura, la ganadería, la industria, y los recursos hidrológicos, por solo mencionar algunos renglones.

Aun así, con lo predicho por los modelos existe un debate importante entre ambientalistas, políticos e industriales. Mientras los primeros exigen actuar de inmediato en bien de la naturaleza, los grandes industriales y algunos políticos consideran importante esperar, para no crear mayores problemas económicos.

Disminuir la emisión de gases de invernadero y cambiar el uso actual de la energía representa un alto costo, incompatible con los intereses económicos de muchas industrias y naciones. Se arguye que no existen pruebas contundentes sobre el cambio del clima, lo que crea confusión en la opinión pública, a través de informaciones contradictorias en los medios de comunicación.

Sin embargo, existe consenso entre la comunidad científica, que la estabilidad del clima es frágil y en la actualidad existe un clima mucho más variable que en el pasado reciente.

La mayoría de los investigadores confunde la hipótesis del cambio climático por calentamiento global. Cambio climático no se limita a un calentamiento de la superficie, sino involucra cambios en el ciclo hidrológico.

Es necesario actuar y empezar a adoptar medidas para disminuir en lo posible la emisión de gases de invernadero a la atmósfera, y usar más eficientemente los recursos energéticos y los recursos naturales.

ENERGIA Y ENERGETICOS	OBJETIVO	TIPO DE CONTAMINACION	USO
Petróleo	Producción de energía por combustión	Generación de bióxido de azufre, óxido nítrico y CO ₂	Aviones, autos, industria
Carbón	Producción de energía por combustión	Al aire, minas a cielo abierto, lluvia ácida, CO ₂	Industria
Hidroeléctrica	Generación de electricidad mediante agua	Modificación del ambiente, cambio de microclimas, modificación en el uso del suelo.	Doméstico, transportes, ciudades
Termoeléctrica	Generación de electricidad mediante vapor	Bióxido de azufre, partículas sólidas, óxido nítrico, bióxido de carbono, cenizas	Industria, doméstico y ciudades
Termoeléctrica de gas	Generación de electricidad mediante vapor	Oxido de nitrógeno, bióxido de carbono	industria, doméstico y ciudades

Tabla 2. Tipos de contaminación que genera el uso de energía y energéticos.

1.4.2 Modelos de Circulación General de la Atmósfera y el Océano

El cambio climático global se estudia utilizando diferentes procedimientos, el más común hace uso de modelos numéricos basados en leyes que gobiernan la física de la atmósfera y el océano. Estos modelos han sido utilizados desde los años setentas para obtener pronósticos con cierto éxito.

Existen también los modelos de circulación general (GCM, por sus siglas en inglés), que sacrifican la relativa "simplicidad" de los anteriores con el fin de incluir la mayoría de los efectos que determinan la dinámica atmosférica en gran escala

y sus interacciones con los océanos. Por su complejidad, dichos modelos solo describen procesos de gran escala espacial. Los efectos de menor escala, nubes, orografía, características de terreno, algunas ondas atmosféricas, etc. quedan parametrizados en términos de variables de gran escala. Los GCM son capaces de simular la variación estacional y latitudinal de la temperatura en superficie, la localización de los centros de baja presión donde se generan tormentas, las zonas intertropicales de actividad convectiva, etc. por lo que se ha convertido en la herramienta más popular en los estudios de clima.

La manera como se emplean los GCM se basa en el pronóstico de la circulación atmosférica a partir de las condiciones observadas en el presente (experimento de control) y de condiciones iniciales anómalas, que corresponden a escenarios climáticos tales como EL Niño, las glaciaciones, etc. Los pronósticos que se obtienen a partir de estas condiciones anómalas son comparados con los obtenidos a partir del experimento de control y de esta forma se logra tener una idea aproximada del impacto en el clima de una situación anómala. Así, se puede construir escenarios en los que exista el doble de bióxido en la atmósfera y su correspondiente clima, incluyendo los cambios de la temperatura promedio del planeta.

1.4.3 Cambios climáticos durante el último siglo

Para entender los cambios climáticos recientes, se han compilado los datos colectados durante los últimos cien años en estaciones meteorológicas y por barcos mercantes. Su análisis requiere consideraciones especiales que incluyen correcciones de errores sistemáticos en las medidas, así como los efectos de urbanización, en el caso de estaciones en ciudades. Con base en esos datos se ha determinado que durante el último siglo han existido periodos de calentamiento global, como entre 1920 y 1939 y entre 1967 y 1986 (figura 5). También se ha observado que el aumento aproximado de la temperatura superficial del planeta durante este periodo es de 0.5°C.

Tal tendencia de la temperatura superficial valida parcialmente los pronósticos de los GCM. Los cambios de temperatura no son, sin embargo, uniformes en todo el planeta pues como predicen los modelos, los aumentos parecen ser mayores en latitudes altas.

Por eso también se tiene interés ahora en los cambios climáticos regionales, como la frecuencia de sequías, inundaciones, aumentos de temperatura a nivel local, etc., ya que tendrán un impacto directo en la actividad humana.

1.4.4 Cambio Climático Regional

Aunque en general los modelos coinciden en sus predicciones al estimar cambios climáticos en grandes áreas del planeta, existen diferencias notables cuando se comparan cambios climáticos regionales o locales.

No es sino hasta fechas recientes que se ha comenzado a estudiar el cambio climático a escala regional. Para algunos lugares se pronostica que un ciclo hidrológico más intenso corresponderá a periodos de inundaciones más frecuentes. Esto implica que podría haber un mayor número de tormentas durante los meses de lluvia, que no serían de una lluvia uniforme y moderada, sino que serían tormentas fuertes y localizadas que provocarían graves daños. Los huracanes, por ejemplo, que de manera tan directa afectan a nuestro país, podrían ser más intensos de lo que hasta ahora son.

Así mismo, los periodos de sequía podrían ser mucho más prolongados. De acuerdo con modelos numéricos tales cambios se manifestarían de manera clara en los subtropicos, por ejemplo en México, donde tales predicciones indican que los mayores incrementos en temperatura de 3 a 4.5°C, podrían registrarse en toda una franja al norte y noroeste del país.

En lo que se refiere a la variación en la precipitación la mayor parte del país sobre todo la región centro y norte disminuirían su porcentaje de precipitación.

Desde el punto de vista más práctico, debemos señalar que los cambios más notables en el clima regional están, y estarán, asociados a cambios en las características del terreno por actividades humanas, más que el cambio climático por aumento del CO₂. Los efectos de la deforestación, sobreexplotación de los pastizales por la industria ganadera, crecimiento desmedido de las manchas urbanas, etc. provocan variaciones significativas en el clima local (Magaña, 1995).

Los factores que determinan cambios climáticos regionales son muchos. Por mencionar alguno en el caso de la ciudad de México , se experimenta el llamado efecto de la "isla de calor", asociado a aumentos de temperatura superficial.

CAPITULO II

AGUA EN EL NOROESTE DE MEXICO

2.1 SITUACION HIDROGRAFICA EN EL NOROESTE

Para entender el problema de la disponibilidad de agua, es necesario estudiar las fuentes de agua fresca tanto los ríos, como las presas. En el noroeste de México existen varias cuencas, entre ellas están:

a) Cuenca Río Concepción

Se ubica en el noroeste de Sonora , tiene una superficie de 25 604 Km² sobre esta se encuentran los ríos Altar y Asunción.

El **Río Altar** tiene su origen al norte de la localidad de Sáric, la estación hidrometrica Principal Altar se encuentra ubicada sobre éste cause, con coordenadas (111°31' W,30°54' N).

La obra hidráulica de mayor importancia en la región es la presa: Cuauhtémoc (111°31' W,30°52' N), en el Río Altar. El distrito de riego 37, Altar -Pitiquito-Caborca, se halla en la parte baja de la cuenca, y su principal uso es en la

agricultura, que tiene una extensión de 40740 ha. pertenecientes a los municipios que dan nombre al distrito y en donde los principales cultivos son: Vid, trigo, espárrago, algodón, alfalfa, cártamo, olivo y hortalizas. Otros usos en menor escala son el control de avenidas, el doméstico, el pecuario y el industrial. La capacidad máxima de la presa es de 45 millones de metros cúbicos (45 Mm³).

b) Cuenca desierto de altar-río bamori

Tiene una superficie de 21 126 Km² y se sitúa al noroeste de la entidad. El **Río Sonoita** constituye el colector principal.

La estación hidrométrica Sonoita (113°21' W,31°50' N), única en la cuenca, esta en el cause del Río Sonoita y al oriente de esta localidad, los principales usos del agua superficial en esta parte del estado son el agrícola, doméstico y pecuario.

c) Cuenca Río Yaquí

Esta cuenca conforma una amplia franja de orientación norte-sur suroeste, ubicada al oriente del estado, con un área de 57 739 Km² de los 71 716 que comprende la cuenca.

El **Río Yaquí**, es el colector principal de la cuenca, nace de la unión de los ríos Bavispe y Aros llegando a la presa Plutarco Elías Calles, y a partir de esta confluencia se extiende hasta la desembocadura en el Golfo de California. En este afluente se encuentra ubicada la estación hidrométrica El Novillo II (109°38' W, 28°57' N). El **Río Bavispe** tiene su origen en la Sierra Madre Occidental, cerca del límite interestatal con Chihuahua, sobre el que se encuentra ubicada la estación hidrométrica Angostura II (109°22' W, 30°25' N).

Las principales obras hidráulicas del área las constituyen las presas Plutarco Elías Calles (longitud 109°38', latitud 29°) con una capacidad máxima de 3200 millones de metros cúbicos (3200 Mm³), sobre el Río Yaquí, y Lázaro Cárdenas (longitud 109°22', latitud 30°30') cuya capacidad es de 840 millones de metros cúbicos (840 Mm³), en el Río Bavispe.

Un poco más hacia el noroeste se sitúa el **Río San Pedro** y sobre este se encuentra instalada la estación hidrométrica San Pedro (110°53' W y 30°45' N) el objetivo de su instalación es el de medir los volúmenes de agua que se derivan hacia el canal, los cuales se utilizan en el riego de las tierras comunales.

d) Cuenca Río Sonora

Cubre una extensión de 26 010 Km² ubicados totalmente dentro de la entidad. El rasgo hidrográfico más notable es el **Río Sonora**, que se origina en la Sierra de Cananea.

Sobre el Río Sonora opera la estación hidrométrica El Orégano (110°43' W, 29°16' N), 28 Km. aguas arriba del vaso de la presa Abelardo L. Rodríguez, que constituye el aprovechamiento hidráulico más importante en el área, con una capacidad de 250 millones de metros cúbicos (250 Mm³). El uso principal del agua superficial es agrícola, seguido por el doméstico, industrial, pecuario y recreativo.

e) Cuenca Río Fuerte

El Río Fuerte nace en el estado de Durango y se extiende por las inmediaciones del poblado de San Julián, Chihuahua. Tiene una extensión de 17398 km² y el rasgo hidrográfico más notable de la región es el **Río Fuerte**, sobre el que se sitúa la estación hidrométrica El Mahone (108°49' W, 26°17' N).

El aprovechamiento hidráulico más importante de la región es la presa Miguel Hidalgo (108°33' W, 26°32' N) con una capacidad máxima 3,355 millones de

metros cúbicos (3355 Mm³). Los usos principales de sus aguas almacenadas son la generación de energía eléctrica, para el riego y el control de avenidas.

f) Cuenca Río Culiacán

El **Río Humaya y Badiraguato** son los afluentes más notables de la cuenca. Los aprovechamientos hidráulicos más importantes de la región son la presa Sanalona (107°08' W,24°48' N) con una capacidad máxima de 845 millones de metros cubico (845 Mm³) y la presa Adolfo López Mateos (107°26' W,25°10' N) con una capacidad máxima de 3,200 millones de metros cúbicos (3200 Mm³), que son captadoras de los afluentes del río Humaya y Badiraguato respectivamente y están destinadas para el control de avenidas, la generación de energía eléctrica e irrigación de la región. Sobre estos dos ríos se encuentran las estaciones hidrométricas Huites (107°09' W,24°51' N) y Badiraguato (107°28' W,25°21' N).

2.2 DATOS Y TECNICAS

Los datos utilizados en el análisis incluyen: niveles de presas , gasto máximo en caudales de ríos, precipitación y temperatura de la superficie del mar (TSM).

Para el caso de las TSM, existen cuatro regiones que resultan clave para entender la variabilidad climática en México: Niño1+2, Niño3, Niño4 y Niño oeste (regiones geográficas a lo largo del pacifico ecuatorial) (Fig. 6) respectivamente.

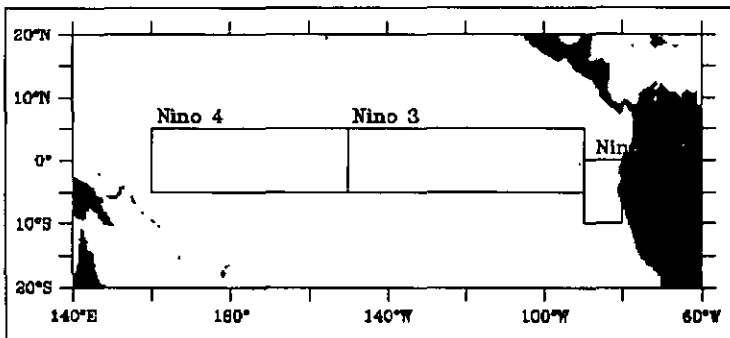


Fig. 6 Regiones de Pacífico tropical donde la temperatura de superficie del mar (TSM) varía conforme al fenómeno El Niño.

Sin embargo solo se utilizaron los datos de la región Niño3 ya que es la que ha presentado la correlación más alta con la precipitación en México (Magaña y Quintanar, 1997). Las series se extienden por un periodo de 1949 a 1994.

ESTACION	RH	RIO	UNIDAD DE MEDICION	PERIODO AÑOS
Pitiquito II	8	Río Asunción	Gasto máximo m ³ /s	60-85
Principal Altar	8	Río Altar	Gasto máximo m ³ /s	50-85
San Pedro	8	Río San Pedro	Gasto máximo m ³ /s	69-85
Sonoita	8	Río Sonoita	Gasto máximo m ³ /s	62-73
El Novillo II	9	Río Yaqui	Gasto máximo m ³ /s	64-85
El Orégano	9	Río Sonora	Gasto máximo m ³ /s	41-85
La Angostura II	9	Río Bavispe	Gasto máximo m ³ /s	43-84
Huites	10	Río Humaya	Gasto máximo m ³ /s	41-73
Badiraguato	10	Río Badiraguato	Gasto máximo m ³ /s	59-76
El Mahone	10	Río Fuerte	Gasto máximo m ³ /s	62-73

Tabla 3. Fuente: Comisión Nacional del Agua (BANDAS). Estaciones hidrométricas "caudales". Describe los lapsos de tiempo utilizados para el análisis gráfico.

Para el estudio de caudales la base de datos describe 27 regiones hidrológicas de las cuales se seleccionaron tres regiones: la región hidrológica 8 que corresponde a la parte del norte de Sonora, la región hidrológica 9 a Sonora sur y la región 10 a Sinaloa (tabla 3).

Por otro lado los datos de precipitación se obtuvieron de la base preparada por Arthur Douglas para 18 regiones de la República Mexicana.

ESTACION	UNIDAD DE MEDICION	PERIODO
El Orégano	Millímetros (mm)	41-87
Presa Plutarco Elías Calles	Millímetros (mm)	41-85
Altar	Millímetros (mm)	22-80
Presa Lázaro Cárdenas	Millímetros (mm)	38-80
Nacoarizpe	Millímetros (mm)	62-80
Puerto Peñasco	Millímetros (mm)	48-79
Badiraguato	Millímetros (mm)	21-85
Presa Cuauhtemoc	Millímetros (mm)	41-80
El Fuerte	Millímetros (mm)	46-85
Huites	Millímetros (mm)	41-85

Tabla 4. Fuente: Douglas (Boulder Colorado). Estaciones climatológicas, como en la tabla 3 en precipitación.

Los datos de precipitación han sido analizados cuidadosamente; disponiéndose de información en casi 300 estaciones para un periodo promedio de 50 años (tabla 4).

Los datos de presas cubren en promedio periodos de tiempo de 50 años. Solamente se seleccionaron las presas de mayor importancia en la región (tabla 5).

Datos de presas, y de estaciones hidrológicas y climatológicas se seleccionaron con base a su ubicación geográfica de tal manera que se pudiera tener idea más clara de los impactos de la variabilidad interanual del monzón de Norte América en la disponibilidad de agua.

PRESA	UNIDAD DE MEDICION	PERIODO
Cuauhtemoc	Mm ³	50-94
Lázaro Cárdenas	Mm ³	42-94
Abelardo Rodríguez	Mm ³	48-94
Plutarco Elías Calles	Mm ³	64-94
Miguel Hidalgo	Mm ³	56-94
Adolfo López Mateos	Mm ³	64-94
Sanalona	Mm ³	48-94

Tabla 5. Fuente: CNA, Gerencia de aguas superficiales e ingeniería de ríos "Niveles de presas". Describe los lapsos de tiempo utilizados para el análisis gráfico.

TECNICAS

a) Anomalías Estandarizadas.

Para uniformizar los análisis de caudales o niveles de presas, es conveniente estandarizar las variables o calcular su anomalía estandarizada y trabajar con magnitudes comparables (Shoichiro Nakamura, 1997). Esta estandarización consiste en restar el valor de la media de todos los datos a cada dato en específico y dividir entre la desviación estándar. Por lo que la anomalía estandarizada esta dada por :

$$X'_{s+1} = \frac{X - \bar{X}}{\sigma}$$

donde

X'_{s+1} : anomalía Estandarizada ; X : n-ésima observación ;

\bar{X} : media de las observaciones ; σ : desviación estándar

Por ejemplo para la presa Lázaro Cárdenas (Angostura) se tienen los siguientes resultados (Fig. 7):

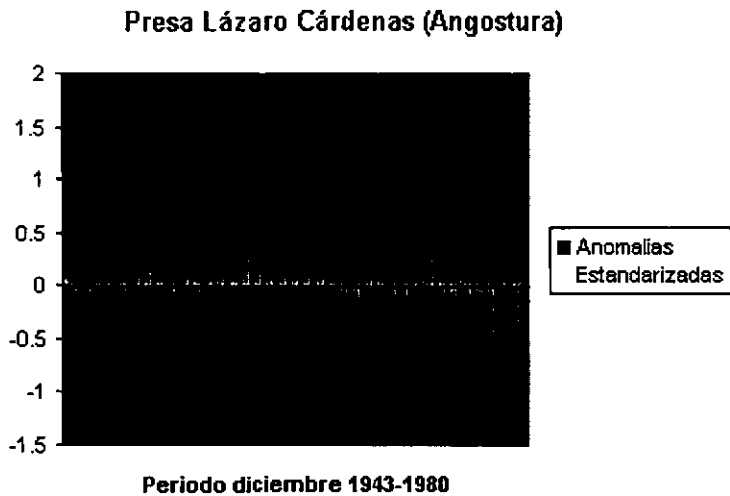


Fig. 7 Anomalías estandarizadas del nivel en la presa Lázaro Cárdenas diciembre 1943-1980.

Este tipo de procedimiento resulta útil ya que en el análisis gráfico es más fácil detectar tendencias y comportamientos de las variables en estudio.

Así, mediante gráficos es posible la representación de gran cantidad de información para visualizar la relación existente entre las variables de estudio, ya sea con histogramas o gráficas de dispersión.

2.3 VARIABILIDAD CLIMATICA: SONORA Y SINALOA, CASOS DE ESTUDIO.

2.3.1 Ciclo Anual en la Precipitación

En la mayor parte de los estados del norte la precipitación es mínima comparada con el resto del país (Fig 8). Con excepción de algunas regiones de Sinaloa, la precipitación es rara vez mayor a 1000 mm en el norte de México (tabla 6).

B.California	Sonora	Chihuahua	Coahuila	Nuevo León	Tamaulipas	Sinaloa
456,1	436,7	428,7	310,8	602,0	772,9	805.2

Tabla 6. Precipitación media anual sobre el norte de los estados mexicanos, en mm.

El estudio de país: México, mostró que climáticamente, el noroeste de México es muy vulnerable a la sequía, pues la precipitación media anual en 49% del territorio mexicano, especialmente en la frontera Noroeste, en la región de Baja California, la precipitación anual está entre 1 a 100 mm. Areas con precipitación entre 101 a 500 mm por año se localizan en el resto de Baja California, Sonora, Chihuahua, parte de Nuevo León, Durango, Zacatecas, el oeste de San Luis Potosí, Norte de Guanajuato y centro de Querétaro e Hidalgo. La precipitación en Sinaloa oscila entre 750 y 1000 mm. En todas estas zonas existe un uso intensivo de agua para irrigación, agricultura y ganadería.

Estacionalmente, la precipitación en el noroeste de México es más intensa durante el verano que durante el invierno debido al Monzón Mexicano. Esta es la región de Norte América con el mayor número de tormentas convectivas en

verano. Durante invierno la precipitación está relacionada al paso de sistemas de latitudes medias, es decir frentes o nortes.

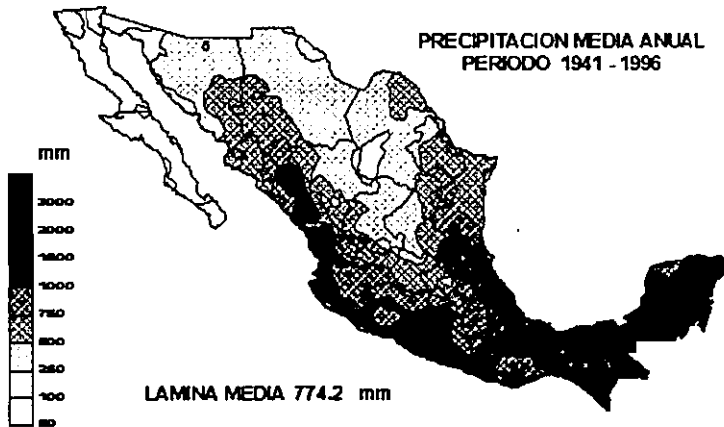


Fig. 8 Precipitación media anual (mm) sobre la República Mexicana.

2.3.2 Variabilidad Interanual en disponibilidad de agua

En esta parte del estudio, se analiza la correlación entre precipitación, caudal y nivel del agua para presas en diversas localidades del noroeste de México. Uno de los más importantes modos de variabilidad en disponibilidad de agua es el interanual. La precipitación es modulada interanualmente al aparecer anomalías de temperatura en la superficie del mar cerca del Pacífico tropical del este (Magaña y Quintanar, 1997), es decir, durante eventos de El Niño y La Niña (Fig 9). Estos fenómenos pueden explicar hasta 25% de la variabilidad en precipitación mensual para algunos estados del noroeste de México. El impacto de El Niño y La Niña en México se pueden resumir como sigue:

	VERANO	INVIERNO
El Niño (Este del Pacífico SST Anomalías >0 C)	Precipitación que pertenece a lo normal	Precipitación por encima de lo normal (en la mayoría de los casos)
La Niña (Este del Pacífico SST Anomalías <0 C)	Precipitación por encima de lo normal	Precipitación que pertenece a lo normal

Tabla 7. Anomalías de temperatura en el pacífico este.

De manera más general, las anomalías en precipitación se pueden presentar como se muestra en la figura 9.

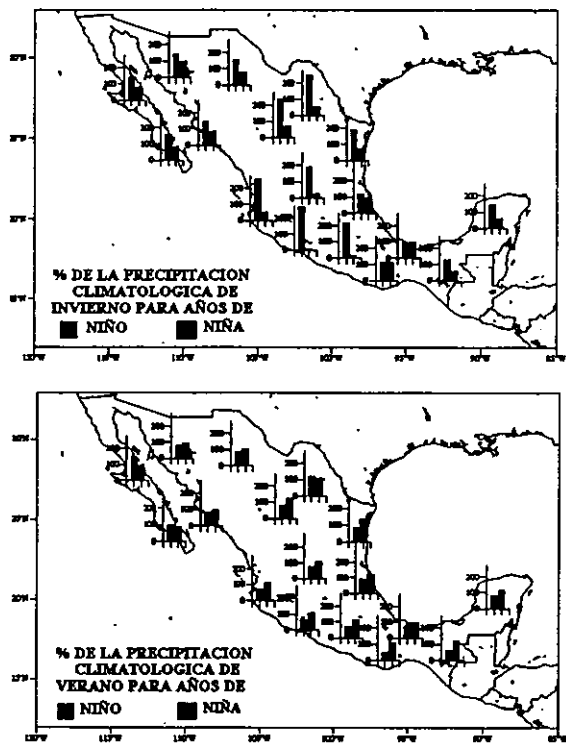


Fig. 9. Porcentaje de la precipitación normal en años de Niño y Niña en México durante invierno y verano.

A nivel regional o local, el ciclo anual en la precipitación muestra un verano definido por lluvias intensas. Por ejemplo, en el Río San Pedro en Sonora, las lluvias estacionales de verano ocurren durante junio y julio (Fig 10). Esto ocurre

también en donde el caudal sigue las variaciones estacionales en precipitación. Por otra parte, los cambios de niveles de presas muestran una señal que corresponden a mayor disponibilidad de agua a finales de invierno y mas tarde en el verano. Este es el caso de la estación meteorológica Altar, la Angostura, Huites, Badiraguato y Mahone, localizadas cerca de las presas Cuauhtemoc, Lázaro Cárdenas, Sanalona y Adolfo López Mateos respectivamente (fig 11a,11b, 11c, 11d).

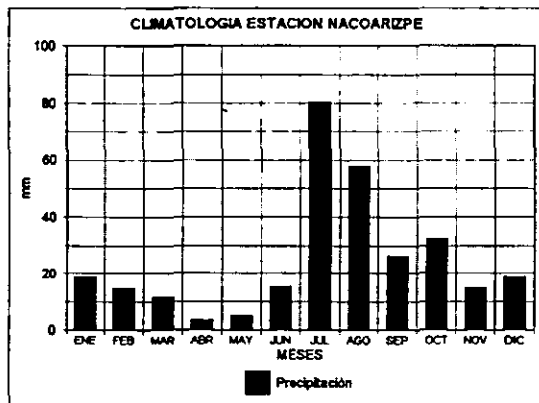


Fig. 10 Climatología construida con datos (Douglas) a lo largo del Río San Pedro. Periodo 1962-1980.

Aunque la precipitación aumenta durante el verano, los niveles de agua en las presas son algunas veces mayores durante invierno. Esto se puede deber entre otras cosas a políticas de administración de agua. En el invierno, la precipitación de verano acumulada aunado la necesidad de menos agua para la irrigación y menos evaporación, incrementa la disponibilidad de agua. Este criterio sin embargo, no es uniforme, pues la administración de agua en la frontera mexicana

también se ve afectada por usos tratados fronterizos. En ocasiones aparecen conflictos entre estados mexicanos en términos de derechos para uso de agua.

Durante El Niño, en verano los niveles de agua tienden a disminuir, sin embargo, El Niño en invierno produce fuertes lluvias que usualmente tienden a incrementar la disponibilidad de agua. Por ejemplo, en la presa Plutarco Elias Calles y Miguel Hidalgo las lluvias de invierno durante El Niño (82-83 y 72-73) incrementó los niveles (fig 13). Las condiciones de Niña en invierno resultan en poca lluvia por lo que los niveles tienden a bajar.

Aunque El Niño generalmente significa más disponibilidad de agua durante invierno en la mayoría de los estados mexicanos, algunos años de Niño pueden llevar a menos disponibilidad de agua, como por ejemplo en la presa Huites en la frontera entre Sonora y Sinaloa (fig 12). Los impactos de Niño en la precipitación depende de la intensidad de anomalías de temperatura de la superficie del mar y las características de la circulación atmosférica de invierno. Por lo tanto, la predicción estacional de la precipitación regional debe ser mejorada para incluir las posibles variaciones en los impactos de El Niño cerca de los estados del noroeste de México. En verano sin embargo, los déficits en precipitación parecen traducirse consistentemente en periodos de sequía sobre todo en años recientes. Los impactos de eventos de La Niña parecen ser más consistentes, es decir, menos precipitación en invierno. Durante verano la precipitación y disponibilidad de agua parece estar por encima de lo normal. Hay que considerar también que

un porcentaje de la precipitación en el noroeste de México depende de la actividad de huracanes en el Pacífico del este. No es claro aun si El Niño puede afectar la actividad de huracanes en esta región, por lo que los pronósticos de lluvias a largo plazo son en extremo complicados.

a)

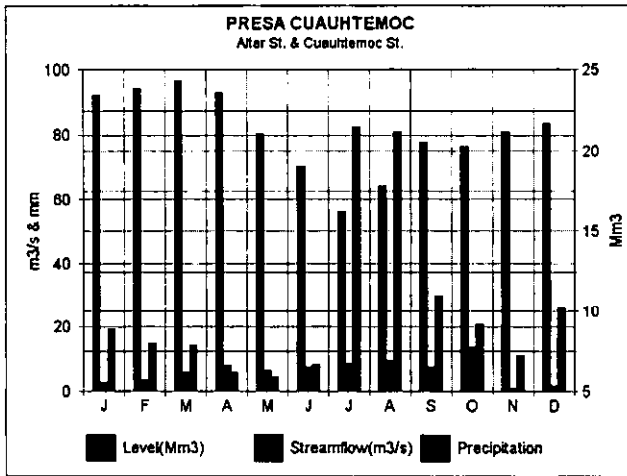


Fig. 11a Climatología de nivel (presa Cuauhtemoc), gasto (Río Angostura), y precipitación (Estación climatológica Cuauhtemoc) en Sonora . Nota: Streamflow=Gasto, Level=Nivel, Precipitation=Precipitación.

b)

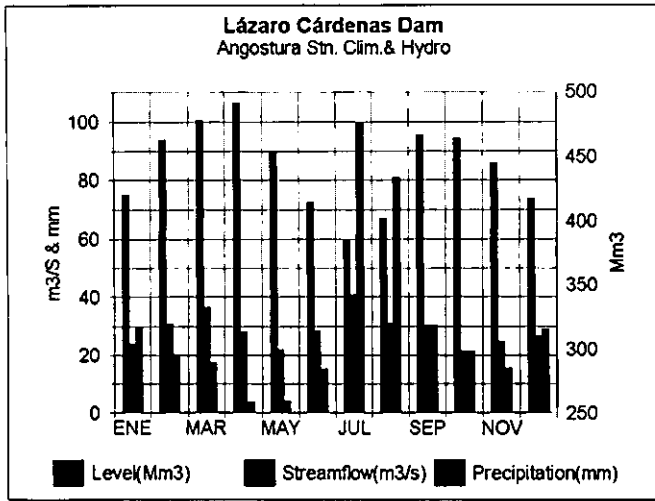


Fig. 11b Climatología de nivel (presa Lázaro Cárdenas), gasto (Río Angostura), y precipitación (Estación climatológica Angostura) en Sonora . Nota: Streamflow= Gasto, Level=Nivel, Precipitation=Precipitación.

c)

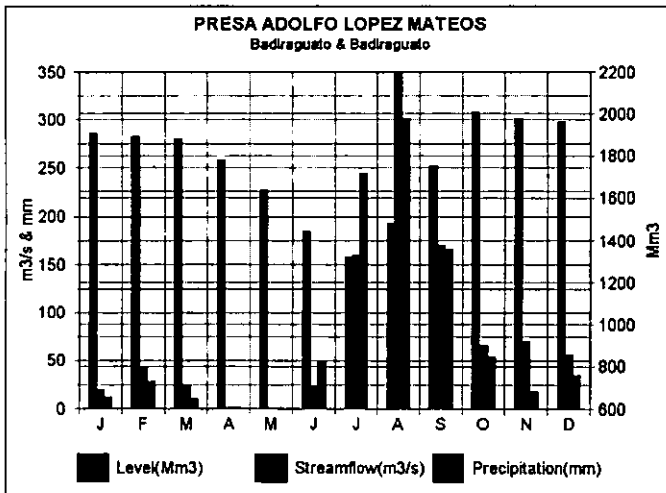


Fig. 11c Climatología de nivel (presa Adolfo López Mateos), gasto (Río Badiraguato), y precipitación (Estación climatológica Badiraguato) en Sinaloa . Nota: Streamflow= Gasto, Level=Nivel, Precipitation=Precipitación.

d)

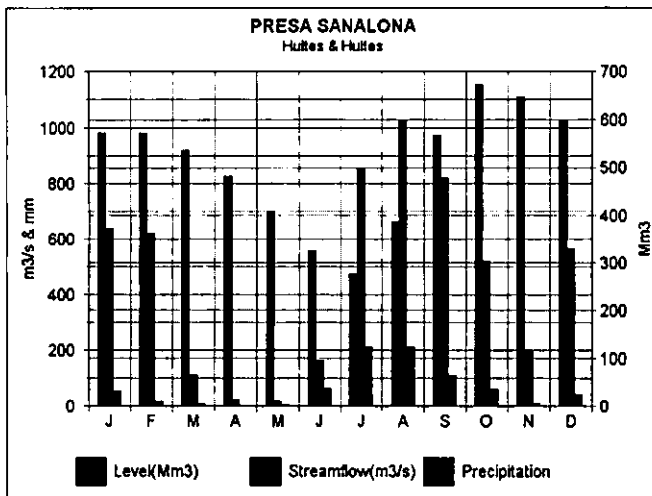


Fig. 11d Climatología de nivel (presa Sanalona), gasto (Río Huites), y precipitación (Estación climatológica Huites) en Sinaloa . Nota: Streamflow= Gasto, Level=Nivel, Precipitation=Precipitación.

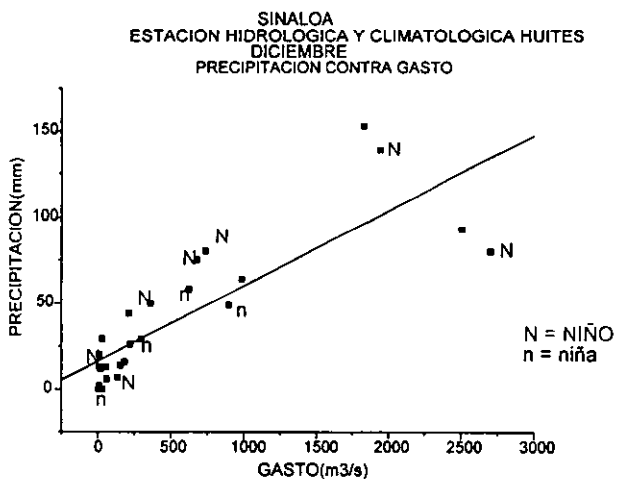


Fig. 12 Diagrama de dispersión de precipitación (mm) vs. gasto (m³/s) durante diciembre en la estación hidrológica Huites, Sinaloa.

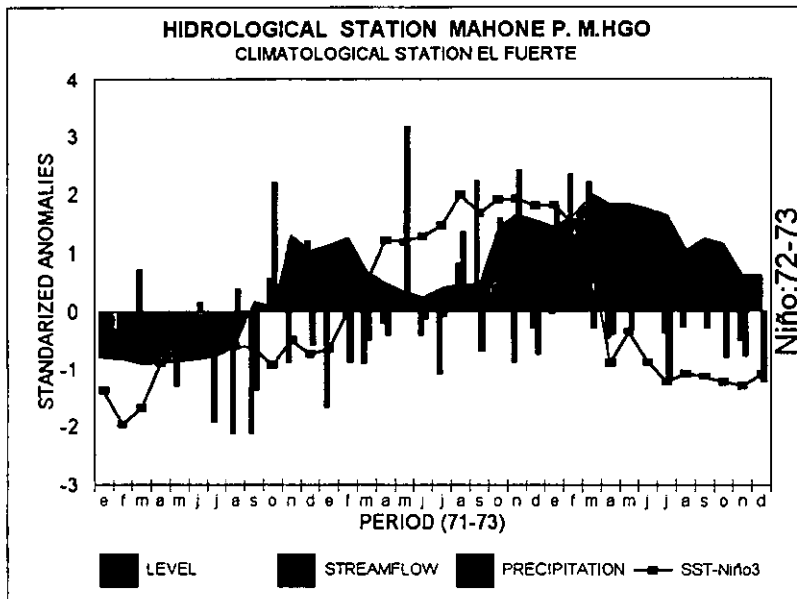
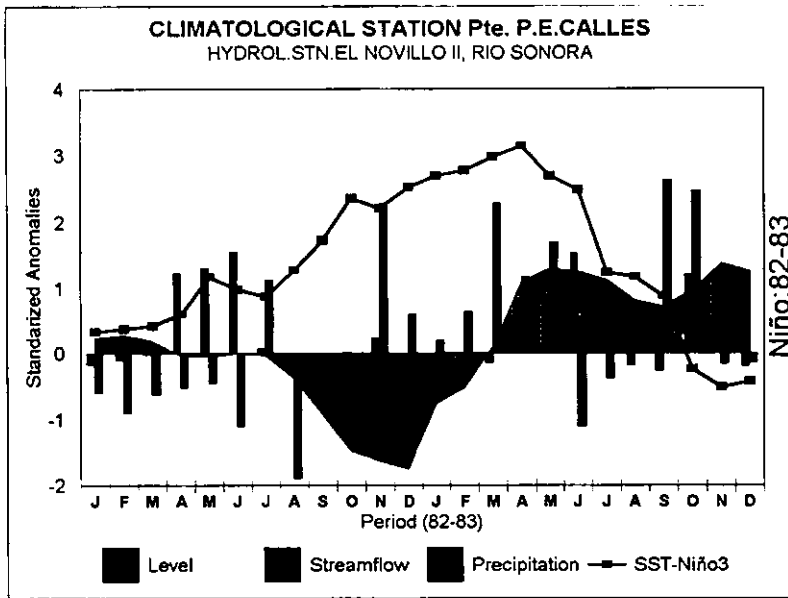


Fig. 13 Anomalías estandarizadas de nivel, gasto, precipitación e índice del Niño3. En Sonora para la presa P.E. Calles, estación climatológica P. E. Calles y Río Sonora. En Sinaloa para la presa Miguel Hidalgo, estación climatológica El Fuerte y Río Fuerte.

2.3.3 Variabilidad Interdecadal en la disponibilidad de agua

Ante los estudios que muestran cambios en el clima en escala de tiempo de varios años es interesante analizar la variabilidad en disponibilidad de agua en periodos interdecadales. Así, en algunos casos se tienen periodos cuando la temperatura global de superficie del planeta parece coincidir con niveles altos en presas a lo largo de los estados del noroeste de México. Este resultado es aproximadamente cierto en la mayoría de las presas en el Noroeste de México (fig 14a y 14b). En términos de la variabilidad interdecadal, durante finales de los cincuentas y sesentas, los cuales corresponden a calentamiento de clima en el mundo, parecen mostrar que los niveles de agua alcanzan un máximo. Durante los setentas, caracterizados por el decremento de la temperatura de la superficie, los niveles de agua bajaron, algunos a sus valores mínimos en las últimas décadas. Durante los ochentas, una vez más los niveles se incrementaron y alcanzaron máximos.

a)

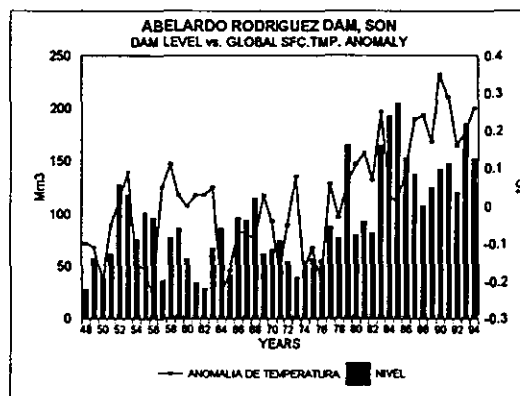


Fig. 14a Nivel (presa Abelardo Rodríguez) vs. temperatura global de superficie en el planeta.

En cada caso, la variabilidad está íntimamente ligada a la ocurrencia de el Niño, por ejemplo en 82-83.

b)

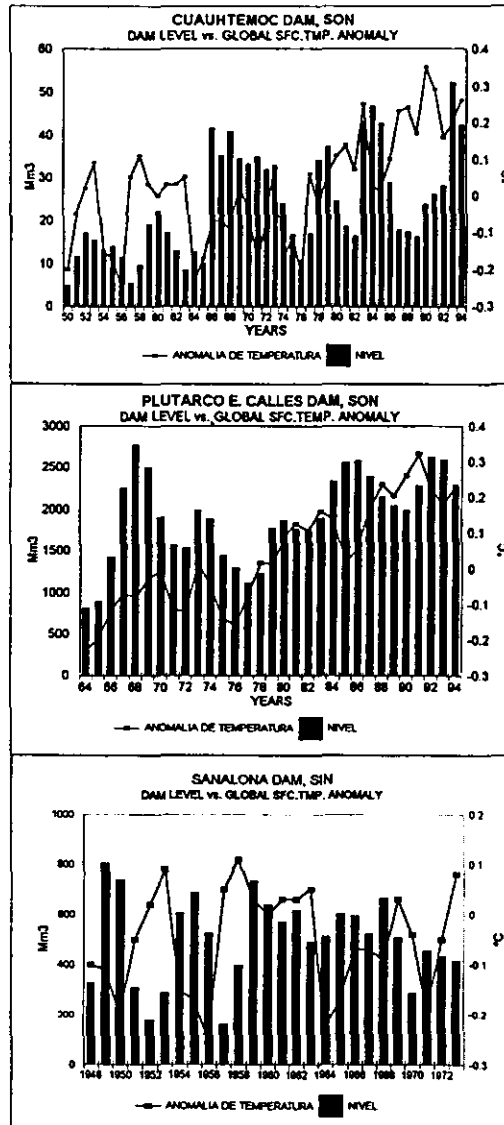


Fig. 14b Como en la figura 14a. Para las presas Cuauhtemoc, P. E. Calles y Sanalona.

Si se considera el periodo completo para el que se dispone de datos, parece existir una tendencia a mayores niveles de las presas, en varias regiones de Sonora y Sinaloa. En cada caso sin embargo, hay periodos de menor disponibilidad de agua. La tendencia al incremento en la disponibilidad de agua (gasto) aparece principalmente en las últimas décadas relacionada con la mayoría de ocurrencias del fenómeno de El Niño y consecuentemente con más precipitación en invierno.

Los resultados previos indican que en condiciones de calentamiento global podría existir mayor disponibilidad de agua, si la demanda permanece constante. En general, diferentes presas en el noroeste de México muestran una tendencia hacia mas altos niveles de agua, con substancial variabilidad interdecadal. Aun así, es necesario examinar las tendencias en la demanda de agua, ocasionado por el rápido crecimiento poblacional, en industria y agricultura. La mayoría de los eventos de El Niño han sido experimentados durante las dos décadas anteriores. Los análisis indican que hay una tendencia al incremento en los niveles de los depósitos de agua en México. Sin embargo algunos muy bajos niveles de agua también se registraron en algunos estados de la frontera, asociados con severas sequías en el principio de los noventas. Tales fluctuaciones se asocian con variabilidad climática interanual, por lo que creemos que este factor debe ser un elemento importante en la administración del agua.

CAPITULO III

AGUA Y AGRICULTURA

3.1 DISPONIBILIDAD Y USOS DEL AGUA EN EL NOROESTE DE MEXICO

La mayor parte de información sobre agua para los estados del noroeste corresponde a agua superficial. Sonora y Sinaloa muestran algunas características similares en términos de población, agua disponible, agua usada y agua en existencia.

Cabe resaltar que del total de agua disponible para todo el país aproximadamente 410200Mm³, el 68% está concentrada en el sur y regiones del Golfo, el 14% en el norte del Pacífico centro, el 16% en el centro y solo el 2% en la región del norte.

En contraste 53% del suelo conveniente para la agricultura está localizado en regiones áridas y semiáridas del norte de México.

La información sobre recursos hidrológicos que se proporciona en la tabla 8, muestra que el estado con menos disponibilidad de agua es Baja California sur donde las sequías afectan seriamente las actividades económicas.

ESTADO	DISPONIBILIDAD DE AGUA (Mm3)	% DE AGUA DISPONIBLE USADA
Baja California Sur	1,000	90
Baja California	3,000	96
Sinaloa	8,000	100
Sonora	19,000	60

Tabla 8. Disponibilidad del volumen total, agua superficial y subterránea de los estados de noroeste, UNAM 1990.

En general las actividades agrícolas y ganaderas se ven seriamente afectadas por sequías. Pero no solamente la escasez del líquido es consecuencia de fenómenos naturales, también es consecuencia de políticas de administración deficientes. Por ejemplo, la necesidad de agua para irrigación ha dejado algunas disputas entre algunos estados del norte por el agua en las presas compartidas tal es el caso de Coahuila y Nuevo León en donde los derechos por el uso de agua de la presa El Cuchillo han provocado grandes discusiones. Problemas similares han existido con EE.UU. por el uso de agua en el río Bravo.

Sequía y menos disponibilidad de agua también afectan a la población, especialmente en las principales zonas urbanas donde existen algunos programas que controlan el uso del agua, necesarios para mantener los niveles de presas. La administración de los recursos hidrológicos es un verdadero problema en México, actualmente el manejo de agua en forma eficiente es de solo el 40%, debido a la inadecuada infraestructura y la pérdida de agua por los usuarios.

ESTADO	SUMINISTRO AGUA POTABLE % DE LA POBLACION URBANA	SUMINISTRO AGUA POTABLE % DE LA POBLACION RURAL
Baja California sur	65	40
Baja California	80	81
Sinaloa	79	50
Sonora	82	35

Tabla 9. Porcentaje de agua potable destinado (población urbana y rural) para los estados del noroeste de México, UNAM 1990.

Un importante aspecto es el porcentaje de la población urbana y rural por entidad en el noroeste que recibe agua potable. Como se puede ver en la tabla 9, exceptuando Baja California, en general todos los estados mantienen una tendencia de suministro sostenido de agua a la población urbana y en mucho menor medida a la población rural.

3.1.1 En Agricultura

En esta región se ha desarrollado una agricultura altamente tecnificada. Su alta productividad les permite participar en los mercados internacionales como exportadores de productos hortifrutícolas. A nivel nacional, los estados del noroeste son de los más importantes productores y por lo tanto, la agricultura representa el principal consumidor de agua de la región.

Tan solo en Sonora hay 761,600 hectáreas, de cosechas irrigadas (dato de 1995), usando el 94% de el total de la demanda en el estado. Cabe resaltar que de el

total del agua el 33% es extraída del subsuelo. En Sinaloa el uso agrícola supera las 757,000 hectáreas de tierra irrigadas (dato 1995), aproximadamente el 99% del total del agua en la entidad.

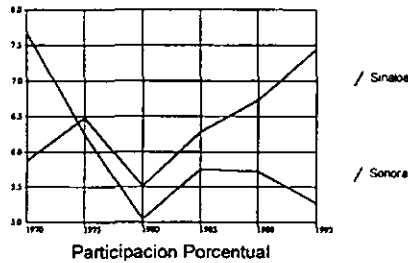


Fig. 15 Participación porcentual del sector agrícola de Sonora y Sinaloa en México 1970-1993(INEGI).

Es claro que el papel del agua es muy importante para las actividades económicas, en particular para este sector. Sinaloa se encuentra por arriba de Sonora en términos de productividad en la agricultura mexicana, aunque esta diferencia no implica que Sonora no sea un estado importante en términos de producción agrícola, ver Fig. 15.

3.1.2 Generación de Energía Eléctrica

El segundo uso más importante de agua y quizá uno de los prioritarios para la region es el de generación de energía eléctrica, es importante resaltar en esta parte que las cifras que se presentan a continuación no excluye a este sector de otros usos.

Aunque no hay conflicto con otros usuarios por el agua , la generación de energía eléctrica constituye un consumidor de agua importante. Tan solo en Sonora del volumen total de agua el 57.14% se canaliza para este sector.

Sinaloa cuenta con una industria eléctrica que genera excedentes. En promedio, la generación se ubica en 5 mil megawatts y el consumo en 2 mil 500 megawatts. Es decir, se consume el 50% de lo que se genera y utiliza el 54.84% del total de agua disponible.

Como medida preventiva y de seguridad existe además la necesidad de mantener la descarga de agua en curso o el mínimo nivel de agua en los depósitos que tienen guardada para el equilibrio ecológico del sistema.

3.1.3 Otros Usos : Industrial y Urbano

En lo que corresponde a la industria el 8.92% del 6% restante de agua disponible en Sonora es destinado para este sector, con solo una compañía minera "Cananea" esta usa el 53.3% del total disponible para este sector, el restante es entre la micro y mediana empresa principalmente agroindustria.

La planta productiva industrial en Sinaloa esta conformada en su mayoría por industria de la transformación que se concentra en el procesamiento de productos

primarios, de ahí que el 70% del total de los establecimientos sean agroindustrias. Corresponde 16.13% del 1% restante de agua disponible para la entidad.

Aun que no es lo mismo para Sonora, cabe resaltar que el potencial de industrialización en Sinaloa es amplio en virtud de sus excelentes recursos naturales, su infraestructura y por su ubicación geográfica privilegiada que le permiten una comunicación directa con los mercados del oeste y este de estados unidos y por vías marítimas a los países del pacífico.

En lo que respecta al uso urbano se destina el 26.78% del 6% restante disponible en Sonora y 16.13 del 1% restante para el estado de Sinaloa.

3.1.4 Crecimiento económico vs. Demanda de agua.

El crecimiento económico de cualquier actividad económica es medido en términos de su contribución al producto nacional bruto (PNB), por lo que consideramos que puede ser usado como una medida, junto con los cambios en la población y agricultura , para detectar los cambios en la demanda de agua en la región de estudio y su participación en la economía.

En recientes años, Sonora y Sinaloa, han experimentado un rápido crecimiento económico. Se espera que crezca la demanda de agua como la población y actividades económicas lo hacen. Además de la demanda de agua doméstica, las

actividades industriales son los principales consumidores de agua después de la agricultura. De acuerdo al INEGI las principales actividades económicas tienen un crecimiento exponencial (Fig. 16a y 16b). La agricultura permanece como la actividad más importante en Sonora y Sinaloa ver Fig. 15. Se espera que el crecimiento económico y poblacional continúen, por lo que la demanda de agua podría incrementarse substancialmente, haciendo necesario el establecimiento de nuevas políticas para el uso de agua. La tendencia del suministro de agua disponible podría ser hacia otros sectores en rápida expansión, principalmente con demandas urbanas.

a)

AGRICULTURA

Sonora

Sinaloa

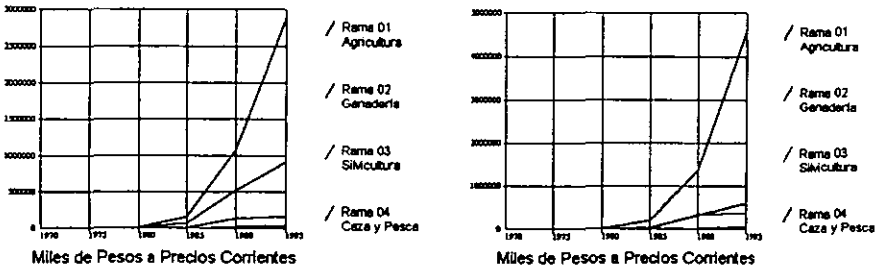


Fig. 16a Contribución del sectores agrícola al Producto Estatal Bruto de Sonora y Sinaloa. 1970-1993 (INEGI)

b)

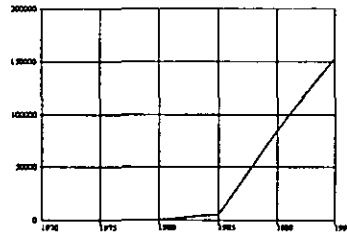
MINERIA

Sonora



Miles de Pesos a Precios Corrientes

Sinaloa



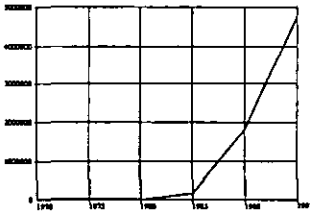
Miles de Pesos a Precios Corrientes

/ Total

/ Total

INDUSTRIA

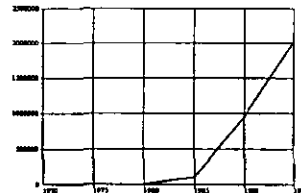
Sonora



Miles de Pesos a Precios Corrientes

/ Total

Sinaloa

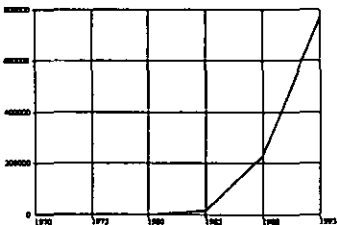


Miles de Pesos a Precios Corrientes

/ Total

ELECTRICIDAD

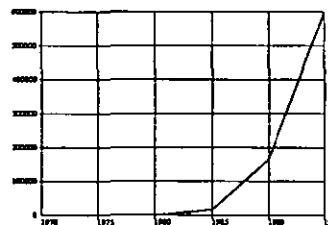
Sonora



Miles de Pesos a Precios Corrientes

/ Total

Sinaloa

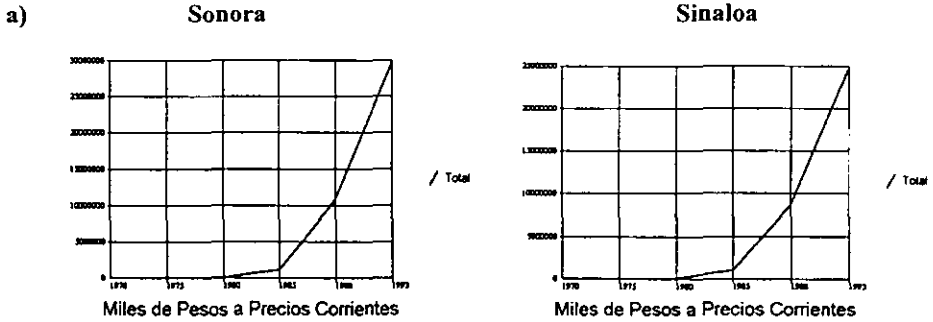


Miles de Pesos a Precios Corrientes

/ Total

Fig. 16b Como en la figura 16a. Para los sectores minero, industrial y energético.

PRODUCTO ESTATAL BRUTO



PARTICIPACION PORCENTUAL

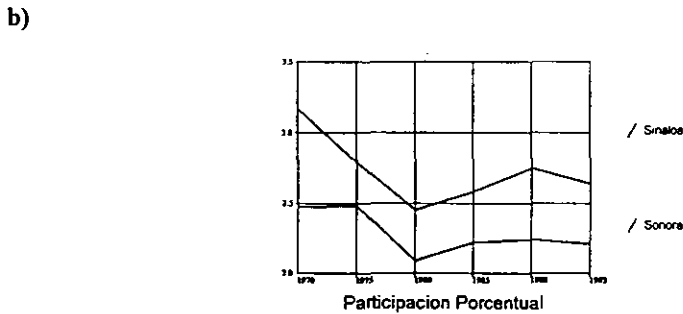


Fig. 17 a) Producto Estatal Bruto Sonora y Sinaloa. b) Porcentaje de Participación en el PNB.

El producto estatal bruto y su contribución al producto nacional bruto provee información sobre la importancia que ha adquirido el noroeste en años recientes ver Fig. 17. Basada en datos de crecimiento económico indica que el incremento de la demanda de agua puede estar definida como la razón entre las tasas de crecimiento económico y las tasas de cambio en disponibilidad de agua en los estados de Sonora y Sinaloa.

3.2 IMPACTOS DEL CLIMA

3.2.1 Agricultura

Los impactos climáticos potenciales más importantes para la agricultura sobre los que existe cierto acuerdo son cambios en los extremos climáticos y reducción en la disponibilidad de agua superficial y del subsuelo, es decir las temperaturas y las lluvias insuficientes constituyen las principales restricciones climáticas.

Dado que el clima es el principal factor limitante de la productividad potencial agrícola, los cambios en el clima tienen efectos substanciales en los límites que establece. Como ya se mencionó anteriormente un 53% del total de suelo en México apto para el desarrollo de esta actividad está en el norte de México solo que adaptado climáticamente al tipo de agricultura abastecido por lluvia, por lo que se vuelve en una región altamente vulnerable.

Estos límites climáticos para la agricultura, unidos a las limitaciones del suelo (sobre todo, poca capa del suelo, drenaje malo y salinidad alta), se traducen en una considerable restricción en la base potencial para la agricultura dependiente solo de la lluvia. Cualquier recorte adicional en el potencial atribuible a cambios en el clima podría dificultar gravemente la capacidad de producción y por ende en la alimentación de la población. Incluso desde el punto de vista económico cambios

en el clima pueden afectar de forma señalada a la cantidad y el precio de comercialización de los alimentos.

El impacto fisiológico es importante y puede traducirse de la siguiente manera por ejemplo deberán usarse semillas más resistentes dependiendo de la variación climática que se este presentando (sequías o inundaciones).

La sequía ha dejado una crisis en la producción de maíz y frijol. Los doce principales eventos de sequía dentro del periodo de 1940-1987 afectaron al país entero, los estados del norte de la (tabla 10) fueron de los mas afectados, se cree que esto puede ser consecuencia del cambio climático que se esta presentando actualmente.

	7-12	7-12 (continuación)
Baja California Norte	*Sinaloa	México
Baja California Sur	Durango	Guerrero
*Sonora	Zacatecas	Oaxaca
Chihuahua	San Luis Potosí	Yucatán
Coahuila	Guanajuato	
Nuevo León	Querétaro	
Tamaulipas	Hidalgo	

Tabla 10. Estados del país con las mas intensas sequías (En los últimos 100 años)

Los primeros cinco años de la presente década tuvieron regímenes de precipitación irregular, particularmente en 1995, la parte noroeste de México experimentó la peor sequía de los últimos 50 años con depósitos de agua con menos del 20% de su capacidad.

3.2.2 Población

La vulnerabilidad de los asentamientos humanos, particularmente durante una fase de El Niño o La Niña (variabilidad interanual) y generalmente durante una fase de Cambio Climático (variabilidad interdecadal), puede estar en función de factores climáticos y no climáticos. La combinación de estos dos factores puede incrementar o mitigar los efectos de un cambio en el clima sobre la población.

Varios de los factores no climáticos es muy posible que sean los suficientemente importantes como para dominar los efectos climáticos que se pueden desencadenar. Así pues los factores no climáticos más importantes son: crecimiento demográfico, urbanización, industrialización, pobreza, cambio tecnológico y políticas gubernamentales. De manera indirecta los efectos climáticos pueden afectar seriamente a centros de población. Por ejemplo, es posible que existan cambios en el abastecimiento de agua; o que varíe la productividad agrícola por la alteración de las variables climáticas.

La enorme variedad de asentamientos que existen en el país, y la complejidad de sus condiciones ambientales particulares , prácticamente nos señala que cualquier estimación de vulnerabilidad tendrá una aplicación muy local. Es decir, la importancia de todos los factores señalados, los no climáticos y los climáticos, será muy diferente para las circunstancias particulares de cada asentamiento.

Es posible predecir de manera bastante confiable cuales regiones dentro de México son ya extremadamente vulnerables, debido a que se encuentran cerca de los límites de su capacidad para adaptarse a eventos climáticos extremos. Por ejemplo, estas zonas pueden referirse a zonas costeras, población con agricultura de subsistencia, población en zonas semiáridas y población pobre en zonas urbanas.

Por ejemplo, condiciones más calientes y secas podrían tener un efecto más severo en regiones donde exista población pobre que dependa de la agricultura de temporal o que presente un limitado acceso al recurso agua.

De acuerdo a esto último, dos preguntas surgen como importantes: ¿cuáles son los grupos o sectores sociales mas vulnerables? y ¿cuáles son las regiones y/o concentraciones urbanas mas vulnerables?.

Una primera condición, es que, la vulnerabilidad es baja cuando las densidades de población son bajas: una alta densidad incrementa la vulnerabilidad al aumentar el número de víctimas por unidad; al aumentar el número de víctimas, se incrementa el costo social provocado por variabilidad climática.

3.2.2.1 Escenario actual

El análisis de las tendencias en el crecimiento demográfico y el proceso de urbanización dan un panorama bastante preciso de la localización de las zonas o regiones con mayor vulnerabilidad a la variabilidad climática actual. En este apartado se presentan las principales tendencias en el crecimiento y distribución de la población, para el periodo (1970-1990). Se establecen las diferencias entre la población total, población rural y la población urbana.

En el periodo de 1970-1990, la población total del Noroeste paso de 3,363,688 de personas a 6,006,279 de habitantes, este crecimiento se dio a una tasa promedio anual de 2.9% y significo un crecimiento potencial de cerca de 79%.

A pesar de que en las últimas décadas se hizo notorio un descenso en el ritmo de crecimiento de la población, se espera que ésta seguirá creciendo aunque a un ritmo mas moderado. Este aumento en la población es muy importante porque aumenta la demanda de agua.

En población rural los datos muestran que en las últimas décadas la población rural ha mantenido una tendencia hacia su disminución. Mientras que en 1970 esta representaba el 49% del total en la región, para 1990 su porcentaje bajó al

35.3%. En dicho periodo su crecimiento fue muy lento, a una tasa del 1.3%. esto quiere decir que la región adquiere cada vez un perfil urbano.

La población urbana registro los más altos incrementos en el periodo 1970-1990. En estas décadas, la población urbana se duplicó e incremento su porcentaje pasando del 51% en 1970 al 64.7% veinte años después, creciendo a una tasa del 4.2%.

En términos generales la población urbana crece más rápido que la población total y rural.

Aunque hay que resaltar que en la ultima década las ciudades de dimensiones medias crecieron más rápido que las grandes zonas metropolitanas, como se puede ver en la tabla 11.

Así los crecimientos más altos no se ubican en las ciudades más grandes como Hermosillo, Mazatlán etc., sino en aquellas de 500 mil a menos de un millón de habitantes y en la ciudades pequeñas (menos de 100 mil habitantes).

Es bien sabido, que las ciudades de mayor tamaño se asocian a un mayor número de servicios, lo cual incrementa la necesidad de hacer llegar agua potable a más habitantes.

Considerando que la mayoría de la población total de la región es mayor a 20 años, la demanda en los servicios probablemente pueda experimentar un crecimiento considerable, lo cual traería como consecuencia un incremento en la demanda de agua.

REGION	1970		1990		Δ %	TASA CRECIMIENTO
	POBLACION TOTAL	%	POBLACION TOTAL	%		
Noroeste	3363688	100	6006279	100		2.9
Población Urbana	1715048	51	3888935	64.7	13.8	4.2
Población Rural	1648640	49	2117344	35.3	-13.8	1.3
Población Metropolitana	120944	3.6	175109	2.9	-0.7	1.9
Población no Metropolitana	1594104	47.4	3713826	61.8	14.4	4.3

Tabla 11. Crecimiento de la población total, urbana y rural para la región del noroeste, 1970-1990. Nota: Δ=Diferencia porcentual.

Actualmente, un gran porcentaje de la población urbana en la región tiene en existencia agua potable, ver Fig 18. Si la tendencia continúa como en la actualidad, un incremento en la existencia de agua potable mayor de 2% en Sonora y 8% en Sinaloa podría ser alcanzado un crecimiento sostenido para la región. De 1970 a 1990, el noroeste aumento los servicios urbanos en más del

20%. Los servicios de agua potable aumentaron de 22.4% al 24% y los servicios eléctricos en un 25.7%. Las necesidades humanas compiten con la agricultura en cuanto al uso del agua y las tendencias indican que esto podría ser el principal problema en el próximo siglo, cuando menos un 6% del total de la población podría vivir en áreas rurales.

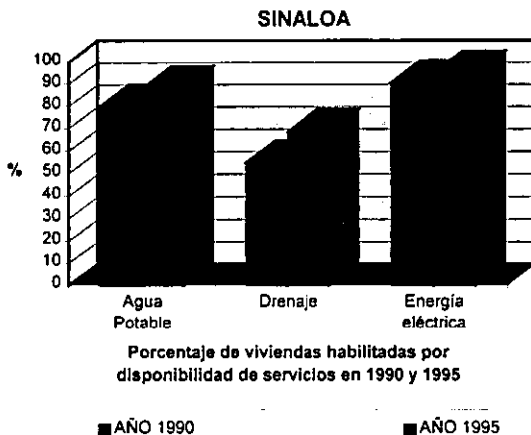
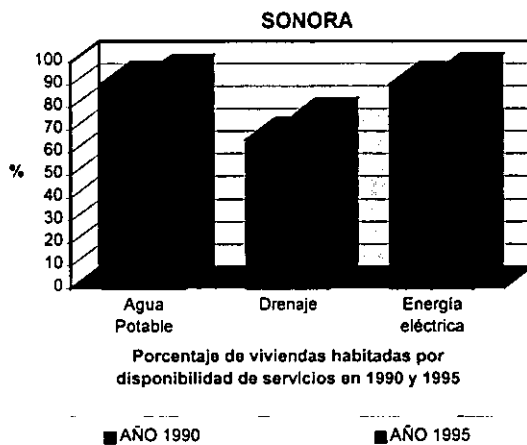


Fig. 18

Actualmente estrategias de gobierno hacen frente al incremento de la demanda nacional de agua para el año 2000 contemplando un incremento en el servicio de 3% mas que en 1997, dejando 12.4 millones de gente sin servicio de agua potable aún.

Los incrementos de población futura representan una demanda potencial de una serie de satisfactores básicos, varios de los cuales indirectamente dependen de las posibles variaciones climáticas; en este caso estarían los abastecimientos de agua o energía.

Si atendemos la tabla 12. En una proyección a futuro se presentan los incrementos absolutos de población total y urbana al 2025 para la región en estudio, se observa que Sinaloa se destaca con los mayores incrementos.

ESTADO	POBLACION TOTAL 1990	POBLACION TOTAL 2025	DIF. ABSOLUTAS 1990-2025	POBLACION URBANA 1990	POBLACION URBANA 2025	DIF. ABSOLUTAS 1990-2025
Sinaloa	2204054	3346282	1142228	1052975	3049234	1996259
Sonora	1823606	2808557	984951	1277706	2646868	1369162

Tabla 12. Sonora y Sinaloa. Diferencias absolutas de población total y urbana, 1990-2025.

3.2.3 otros

El interés en la relación clima-salud se ha incrementado notablemente en la última década, particularmente porque, varios impactos negativos se prevén, debido al cambio climático.

Un cambio en el clima puede tener diversos efectos en varias enfermedades, los mayores impactos se manifestarán en dos aspectos: Primero un aumento en la mortalidad y en los niveles de desconfort debido a altas temperaturas; y segundo, un cambio en la distribución de los vectores de varias enfermedades infecciosas que se desplazarían a latitudes norte.

Algunos estudios señalan, que el clima si tiene un impacto regional en la mortalidad particularmente en verano; el impacto de calor es más devastador en la mortalidad donde altas temperaturas ocurren irregularmente, o cuando se presentan muy al inicio de la temporada más caliente.

De esta manera, el nivel de confort de la población puede alterarse totalmente, y las posibilidades de aclimatación son muy reducidas.

En el caso de México, hay estudios que reportan índices de desconfort durante los meses de verano y primavera que se extienden en las llanuras costeras y en la altiplanicie del norte intensificándose ante la presencia de sucesos de El Niño, y se pueden agravar con un cambio climático (variabilidad interdecadal).

En cuanto al segundo aspecto, el interés se centra en la dispersión potencial de ciertos vectores muy característicos de zonas tropicales (mosquitos y otros

parásitos) que transmiten enfermedades infecciosas., ejemplos de estas enfermedades pueden ser la malaria, mal sueño, dengue, etc. Es decir al alterarse las condiciones de temperatura y humedad ciertas enfermedades pueden desaparecer en regiones tropicales del sur y desplazarse hacia regiones de latitud norte, aumentando su incidencia.

Estas enfermedades pueden ampliar su área de influencia hacia regiones de bajo nivel de desarrollo socioeconómico, donde existe una gran carencia de instalaciones sanitarias, lo cual dificultaría enormemente el combate de dichos males. En resumen, dos aspectos merecen mucha atención: primero, identificar causas específicas de mortalidad asociadas al clima, que permitan evaluar mas detenidamente el papel de eventos climáticos extremos en la mortalidad ; y segundo, una evaluación de enfermedades infecciosas específicas y sus agentes transmisores, que tengan el potencial de dispersarse si el clima se vuelve más caluroso.

Existe mucha discrepancia sobre los impactos del clima en la salud humana, mientras que algunos impactos pueden ser beneficiosos, probablemente la mayoría de ellos seguramente serán adversos. Los efectos en la salud pueden ser directos a través por ejemplo de ondas de calor o inundaciones; o indirectos, como son los cambios en la frecuencia de transmisión de enfermedades infecciosas o aquellas transmitidas por vectores.

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

3.3 ESCENARIOS A FUTURO PARA DISPONIBILIDAD DE AGUA

Para cumplir este objetivo, nos apoyamos en los cálculos de un Escenario de Cambio Climático Regional para México generado por J.L. Pérez (1997), basado en técnicas de Estadística de baja escala aplicado a un GCM. Sus resultados indican que México podría experimentar menos precipitación durante el verano y un incremento de precipitación en invierno. Este supuesto parece ser el mismo para el Noroeste de México.

Así mismo coincide con GCMs que predicen mayor frecuencia y más fuertes sucesos de ENSO, considerando que sucesos de EL Niño indican más precipitación en invierno y menos precipitación en verano. Bajo tales circunstancias , debería de existir más disponibilidad de agua en condiciones de cambio climático.

En nuestro estudio, la mayoría de los análisis de precipitación, caudal y niveles de agua indican que la disponibilidad de agua se ha incrementado, como lo indica la estación altar que se localiza cerca de la presa Cuauhtemoc (figura 19), esta muestra tendencias lineales positivas. En cada caso la tendencia lineal positiva puede estar asociada con las series de tiempo especialmente de recientes décadas. Este resultado parece ser aplicado en la mayoría de las líneas en el noroeste de México.

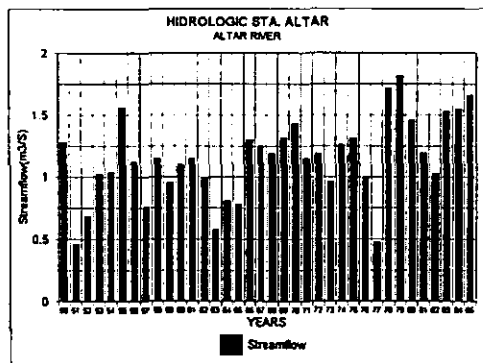


Fig.19 Serie histórica de caudal en el Río Altar, estación hidrológica Altar, 1950-1985).

En algunos casos la tendencia en disponibilidad de agua para los últimos 40 años corresponde al incremento de un 2.5% anual en niveles de presa y 2% en caudal.

Aunque ciertamente existe una gran fluctuación en las cuencas de un año a otro, esta puede ser mayor del 30% en volúmenes de agua, principalmente asociadas con la ocurrencia de El Niño.

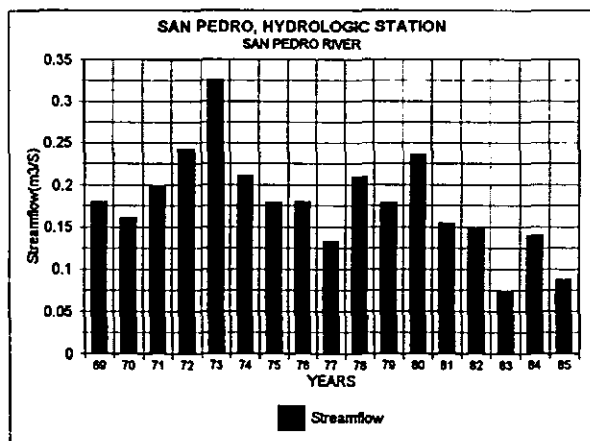


Fig. 20 Serie histórica de caudal en el Río San Pedro, estación hidrológica San Pedro, 1969-1985.

Uno de los pocos ríos en el cual muestra una disminución en caudal es el río San Pedro en Sonora, el cual empieza en el estado de Arizona (fig 20). Esta disminución del volumen medido de agua en la frontera del lado mexicano parecen no estar asociado con las actuales fluctuaciones del clima, puesto que la mayoría de los otros ríos muestran un aumento en caudal. Un problema similar en términos de disponibilidad de agua se presenta en el río Colorado.

Para confirmar lo mostrado en el análisis gráfico, un estudio realizado por (A. Guillermo Aguilas, 1997), y en el cual examina las proyecciones del consumo de agua al año 2025 (tabla 12). De acuerdo a estos datos, se presentan dos grupos de valores , los negativos y los positivos: los valores negativos en las diferencias absolutas en el consumo de agua 1991-2025 significan que, debido al rápido crecimiento de la población, en el futuro habrá una escasa disponibilidad de agua que obliga a que el consumo diario por habitante se tenga que reducir, es decir el consumo diario por habitante en 1990 es mayor al que resulta en el año 2025. Los valores positivos manifiestan exactamente lo contrario, de acuerdo a las tendencias actuales, en esos estados será posible aumentar la cantidad de agua para consumo por cada habitante, por lo tanto, el consumo de 1990, es menor al consumo que resulta en el año 2025.

Se puede ver para el caso de Sonora y Sinaloa (tabla 13) las tendencias son positivas lo cual refuerza los resultados obtenidos en nuestro análisis hidrológico.

ESTADO	SUMINISTRO DE AGUA 1991 (LITROS DIARIOS)	POBLACION TOTAL 1990	CONSUMO DIARIO POR HABITANTE	SUMINISTRO DE AGUA 2025 (LITROS DIARIOS)	POBLACION TOTAL 2025	CONSUMO DIARIO POR HABITANTE	DIF. ABSOLUTAS 1990-2025
Nacional	20742480000	81249645	255	39945588800	125966933	277	22
Aguascalientes	284256000	719659	395	470222340	1363391	345	-50
Baja California	475200000	1660855	286	831931833	3485489	239	-47
B.C.S.	133920000	317764	421	246240693	697201	353	-68
Campeche	87264000	535185	163	140510226	913176	154	-9
Coahuila	724896000	1972340	368	1350289360	3145146	429	62
Colima	163296000	428510	381	304670688	691784	440	59
Chiapas	443232000	3210496	138	713680653	6580287	108	-30
Chihuahua	903312000	2441873	370	1738987945	7479450	233	-137
D.F.	3153600000	8235744	383	5077844801	9183113	553	170
Durango	363744000	1349378	270	961815839	1864826	409	139
Guanajuato	807840000	3982593	203	1412058212	6790544	208	5
Guerrero	504576000	2620637	193	812455168	4132948	197	4
Hidalgo	432000000	1888366	229	696595178	2788842	249	21
Jalisco	1733184000	5302689	327	2591787634	8157663	318	-9
México	2505600000	9815795	255	4034452034	17816754	226	-29
Michoacán	639360000	3548199	180	1115734666	5424291	206	25
Morelos	319680000	1195059	268	591255901	2012838	294	26
Nayarit	238464000	824643	289	388142109	1154600	336	47
Nuevo León	929664000	3098736	300	1425970115	5008361	285	-15
Oaxaca	345600000	3019560	114	646903516	4508436	143	29
Puebla	584928000	4126101	142	1011395389	6329468	160	18
Querétaro	293760000	1051235	279	542564239	2036888	266	-13
Quintana Roo	190080000	493277	385	306061878	2533999	121	-265
San Luis Potosí	387936000	2003187	194	726201366	2935792	247	54
Sinaloa	714528000	2204054	324	1119908237	3346282	335	10
Sonora	587520000	1823606	322	950183013	2808557	338	16
Tabasco	339552000	1501744	226	623253280	2968430	210	-16
Tamaulipas	734400000	2249581	326	1112952285	3295417	338	11
Tlaxcala	117504000	761277	154	198940221	1291205	154	0
Veracruz	915840000	6228239	147	1864195078	8971027	208	61
Yucatán	336960000	1362940	247	548129000	2187301	251	3
Zacatecas	369792000	1276323	290	591255901	1705496	347	57

Tabla 13. México. Diferencias absolutas en el consumo diario de agua por habitante, 1991-2025. *Los datos se refieren al suministro de agua para uso doméstico (incluye uso comercial y de servicios), excluye uso industrial y agrícola.

De acuerdo a lo anterior, la pregunta sería ¿si este incremento potencial en recurso de agua superara el crecimiento de la demanda de agua. Algunos estudio

sugieren que esto aun no es posible y en general la demanda podría ser más grande que el agua disponible.

3.3.1 Índices de disponibilidad de agua vs. Situación socioeconómica

De acuerdo a figuras previas sobre población y crecimiento económico y la actual tendencia de disponibilidad de agua para el Noroeste puede presentar el siguiente comportamiento:

- Actual tendencia en disponibilidad de agua: Aproximadamente más del 4%
- Crecimiento poblacional en la región: Aproximadamente 2.9%
- Crecimiento poblacional urbano: Estimado más del 3%
- Actividades económicas (agricultura, energía eléctrica, industria, servicios, etc.):
Estimado más de 2.5%

Bajo tal escenario, pareciera que a pesar de que aquí existía mayor disponibilidad de agua, no es la suficiente para satisfacer la demanda de la población y mantener un crecimiento económico.

La mayoría de los cálculos están basados en tendencias actuales (desde un mínimo de 30 años) con lo que respecto a la variabilidad climática y disponibilidad de agua la señal del ENSO es el principal modulador. Fluctuaciones en precipitación, caudal, etc., pueden ser tan grandes aproximadamente 30% de un año a otro, haciendo la ocurrencia del ENSO una real prueba para proponer medidas de adaptación y mitigación.

CAPITULO IV

MITIGACION

4.1 ECONOMICAS

4.1.1 Agua

Este estudio muestra la alta vulnerabilidad del noroeste de México en variabilidad climática interanual y cambio climático (variabilidad interdecadal).

Bajo este marco es necesario tomar medidas futuras para la conservación y administración de los recursos hidrológicos.

Por lo que en primera instancia como medida principal será necesario crear acuerdos entre los distintos sectores económicos aunado con los gobiernos estatales y en los cuales el principal punto sea el uso, distribución y administración de agua hacia un futuro.

Considerando experiencias pasadas de sucesos de Niño y las reacciones de los distintos sectores junto con el gobierno es necesario crear mayor cultura climática, organizando talleres, congresos etc., en donde se discutan los impactos de la

variabilidad climática (ENSO). Esto con el fin de otorgar la debida importancia de sucesos de ENSO y sus impactos sobre la modulación de la variabilidad de agua disponible.

Por esto creemos que pronósticos de ENSO deben ser un importante elemento para incluirse en cualquier plan para administración de agua.

Es altamente recomendado el desarrollo de estudios integrados para designar estrategias de orden económico, así como la consideración y tratamiento del agua, procurando un desarrollo sustentable en todos los ámbitos económicos de la región.

Por último se sugiere generar planes en los que se contemple la restauración y mantenimiento de la infraestructura hidráulica, a través de verificaciones continuas con el fin de evitar un deterioro en las mismas.

4.1.2 Otros Sectores

Ante las variaciones climáticas provocadas por los cambios en los patrones de circulación atmosférica y oceánica (El Niño y La Niña) reflejadas en los patrones de lluvia y en las temperaturas medias de ciertas regiones "sequías" las actividades productivas afectadas son la agricultura, ganadería, pesquerías,

actividades forestales, actividades industriales dependientes del suministro de agua (por ejemplo, las maquiladoras).

Actualmente la vulnerabilidad de la región ante eventos muy fuertes de El Niño y La Niña esta en relación inversa con:

- 1.- La difusión y comprensión de los pronósticos climáticos.
- 2.- La capacidad técnica de aplicar medidas preventivas, si los efectos esperados son negativos, o bien, de aprovechamiento de las condiciones favorables que este evento pudiera provocar (llenado de presas).
- 3.- La disponibilidad de recursos financieros para aplicar esas medidas.

Brasil y Australia son ejemplo en cuanto a acciones de estrategia para mitigar y/o adaptarse en este evento. En Estados Unidos ya se han integrado comisiones de prevención de desastres ante los potenciales impactos de El Niño.

Bajo condiciones de El Niño o bien en condiciones de Niña muy fuertes (como el de 1997-1998), se pueden plantear las siguientes medidas preventivas:

- En la agricultura, es de esperarse una buena cosecha de cultivos otoño-invierno, (por ejemplo, de trigo). Para primavera-verano, es importante considerar que las lluvias podrían adelantarse pero que si prevalecen las condiciones de Niño, las lluvias en verano podrían escasear, por lo que las decisiones que se tomen en el campo tendrían que ser a corto plazo, discutiendo la posibilidad de irrigación o de la utilización de semillas mas resistentes a la sequía, por ejemplo.
- Con la recarga de las presas en invierno, puede sugerirse su administración en función de las prioridades productivas de la región: irrigación, ganadería, uso urbano, por ejemplo. Las presas con capacidad media tienen que permanecer en estado de alerta ante un posible desbordamiento. Con la recarga de las presas en invierno se debe de considerar la perspectiva de condiciones de sequía en verano (de prevalecer El Niño) por lo que se puede considerar la posibilidad del uso racional del agua almacenada.
- La problemática se torna más difícil cuando se habla de países en vías de desarrollo, en México por ejemplo existe una gran variedad de asentamientos humanos en condiciones de alta vulnerabilidad a sucesos como El Niño. Por esto y por lo mencionado en el punto anterior, se sugiere crear estrategias

las cuales se enfoquen en la distribución, reorientación y planeación asentamientos. Así mismo creemos importante realizar una verificación continua del servicio de alcantarillado para control de avenidas.

- Así mismo, se relaciona a este tipo de sucesos con incendios forestales debido a las altas temperaturas que registran distintas regiones. Se sugiere difundir medidas de prevención y seguridad entre los grupos de auxilio, con el fin de evitar pérdidas lamentables en la Silvicultura. Por ejemplo, el reciente Niño de 1997-1998, y durante el cual se registraron temperaturas muy altas es relacionado con los diversos incendios forestales.
- Actualmente, no se sabe con certeza pero se cree que el Niño intensifica la fuerza de los huracanes Por lo que, recomendamos la construcción de diques e infraestructura de seguridad como albergues en zonas costeras, con el fin de evitar lo ocurrido en Guerrero y Oaxaca recientemente (octubre, 1997) ante la presencia del huracán Paulina y el cual dejo grandes destrozos e incluso pérdidas humanas

- El interés en la relación clima-salud se ha incrementado notablemente, particularmente por los impactos negativos que eventos de Niño puedan traer. En caso de que las condiciones de Niño prevalezcan hasta el verano, provocando sequías intensas, el índice de desconfort en la población aumentaría debido a las altas temperaturas. Ante este tipo de condiciones se crea un ambiente propicio para el desarrollo de enfermedades infecciosas siendo los más afectados la población infantil, por todo esto es altamente recomendado crear acuerdos por parte de las autoridades involucradas para mitigar el índice de incidencia de enfermedades infecciosas, así como el índice de mortalidad.

4.2 SOCIALES

En cuanto a este sector es necesario que la educación social se reoriente basándose en una estrategia integral, cuyo primer componente se refiere a la capacitación y actualización de los propios servidores públicos encargados de los programas de mitigación, de manera que el aprendizaje correspondiente coadyuve a un mejor diseño de las políticas de planeación, prevención, mitigación y administración ante fenómenos como el ENSO. Es bien sabido que las etapas de este tipo de fenómenos son extremas (sequías e inundaciones) por lo que es necesario crear programas para detectar las zonas en donde existan, asentamientos humanos más vulnerables a este tipo de fenómenos.

En lo concerniente a la población se recomienda instrumentar programas formativos regionalizados, y que se incluyan en el nivel educativo formal (sistema escolarizado) los contenidos necesarios basados en estrategias y mecanismos para mitigar y a su vez aprovechar los beneficios que este tipo de fenómenos puedan traer; Por otra parte, se recomienda desarrollar programas de educación informal con la población no escolarizada, sobre todo en zonas cerranas y rurales, a fin de incorporar a las comunidades dentro de los márgenes participativos. Así mismo se recomienda ligar esto con elementos de educación ambiental y salud a efectos de articular programas más completos. Por lo que es necesario fomentar futuras investigaciones en estas líneas.

En cuanto a la capacitación se propone vincular criterios en los que se destaque la importancia de la mitigación como estrategia de recuperación de mediano plazo. Por lo que se proponen los siguientes criterios para elaborar programas:

- Dimensión territorial
- Grado de vulnerabilidad
- Etapas del fenómeno: prevención, restablecimiento o recuperación.
- Periodicidad de ocurrencia
- Sector específico: debido a que cada sector demanda acciones diferenciales por su problemática particular.

Considerando la heterogeneidad de la región, tanto por la diversidad de actividades económicas de condiciones ecológicas, niveles de ingreso, características de asentamientos humanos y tradiciones, entre otros factores, es recomendable desarrollar propuestas que fomenten la organización de la comunidad (por ejemplo en el nivel municipal pueden promoverse regidurías); reconociendo que la comunidad constituye la base de la gestión y que es la beneficiaria de los programas respectivos, es importante que participen en el diseño de los mismos y no sea sólo receptora de acciones definidas desde el escritorio, a mayor corresponsabilidad mayor capacidad preventiva y de respuesta; en caso contrario, los problemas sociales pueden derivar en conflictos políticos.

4.3 CONCLUSIONES

La vida en el planeta depende fuertemente del clima, la regularidad en los patrones climáticos permite programar las actividades productivas tan importantes como la agricultura y otras que dependen de las reservas acuíferas (maquiladoras, por ejemplo).

Es conocido, que los cambios abruptos del clima, los eventos extremos, causan graves daños en la población y en la producción. En particular, el fuerte Niño de 1982-1983 (el más intenso del siglo) provocó daños calculados en alrededor de 13 billones de dólares en todo el mundo, según el Instituto Inter- Americano (IAI). Las inundaciones en Perú y parte del Ecuador, en Paraguay y Uruguay, la sequía en el norte de Argentina y en parte de México, se han relacionado con ese Niño.

Las ventajas de prevenir fenómenos como el ENSO son entonces evidentes. La previsión de este fenómeno en 1986-1987 permitió que los agricultores en Perú esperaran lluvias por debajo de lo normal y que la producción de granos en Brasil no sufriera una catástrofe en 1991-1992.

A pesar de lo anterior, aun queda mucho por analizar con respecto a este fenómeno y sus impactos en la sociedad. Por lo anterior, es por lo que la

comunidad científica se ha propuesto profundizar la investigación del Niño en particular, y de la variabilidad climática interanual, más generalmente.

En México además del interés en el evento del Niño de diversas instituciones como el Instituto Nacional de Ecología (INE) y el Centro de Ciencias de la Atmósfera (CCA; UNAM), existe un núcleo de investigadores con experiencia en Cambio Climático, creado en torno al "Estudio de País: México" en 1992, impulsado por el INE y apoyado por la Agencia de Protección al Ambiente (EPA) de Estados Unidos.

El estudio de País, tiene entre sus principales objetivos divulgar sus resultados no sólo a la comunidad científica internacional, sino a los diferentes sectores interesados y afectados de la sociedad mexicana.

Reconociendo la importancia que tiene la variabilidad interanual y los eventos como el Niño para México, este trabajo forma parte del proyecto "Impacto de la Variabilidad Interanual en la Producción Agrícola y Pesquera en México", enfocando la investigación de los impactos en el noroeste, en particular Sonora y Sinaloa, considerando que es una de las regiones mas vulnerables al fenómeno en estudio.

Este trabajo presenta un análisis para cuantificar la dependencia de los caudales y niveles de presas con respecto al fenómeno ENSO, así como sus impactos socioeconómicos.

En la primera parte de nuestro estudio se realizó una descripción de los factores que determinan las características del clima en la región, posteriormente se desarrollo el análisis gráfico, en el cual se analizaron variables de orden natural como la precipitación, caudal, nivel de presas en función de la temperatura superficie del mar (TSM) en la región Niño3, con el fin de detectar las tendencias y la relación entre estas.

Estudios realizados, muestran que sistemas de circulación atmosférica como lo son los nortes o frentes en invierno y el Monzón de México en verano (ciclo anual), en términos generales dejan más disponibilidad de agua. Por lo que estos sistemas juegan un papel muy importante en la modulación del clima en la región. Esta afirmación se pudo confirmar dentro de nuestro estudio con el caso de la estación climatológica Nacoarizpe, y para la cual se obtuvo la climatología de precipitación detectando que efectivamente en verano es mayor.

En términos de la variabilidad interanual los resultados fueron los siguientes: De acuerdo los casos presentados y que fueron los casos más significativos en nuestro análisis, se puede ver que la precipitación de invierno es mayor durante

eventos de El Niño, teniendo repercusión en los niveles de las presas de la región; Las tendencias para Sonora y Sinaloa son similares. Así mismo, se realizó un análisis de variabilidad interdecadal en ambos estados, los resultados muestran que durante periodos calientes podría existir mayor disponibilidad de agua, existe cierta incertidumbre al respecto y se recomienda profundizar en este punto.

Los resultados son buenos más no son suficientes existen muchas dudas aun al respecto; De acuerdo a esto y retomando la hipótesis se puede concluir que en términos de variabilidad climática la región presenta tendencias positivas en los incrementos de agua, aunque esto no quiere decir que el problema del agua esta solucionado se requiere de desarrollar estudios más profundos acerca del tema.

La segunda parte del estudio, consistió en la presentación de un análisis de tipo de tipo económico y el cual consistió en la construcción de tablas históricas. Aunque es muy general, es un intento por dar una explicación de lo que podrían significar relacionar variables naturales con variables de orden socioeconómico. Existen algunos estudiosos que dicen que esto aun no es posible, aunque hoy en día estas dos ramas han empezado a desarrollar esfuerzos conjuntos, prueba de ello son el Centro de Ciencias de la Atmósfera y el Instituto de Investigaciones Económicas de la UNAM.

Se presentó una descripción de los usos del agua y la disponibilidad actual para Sonora y Sinaloa, con esto se detectó que la actividad a la que se destina un mayor porcentaje del recurso agua y de mayor importancia es la agricultura en orden de prioridad.

La disponibilidad de agua actual es mayor en Sonora en comparación con Sinaloa, aunque esta diferencia que es considerable pareciera no afectar las tendencias positivas en términos de crecimiento económico.

Así mismo, se utilizaron indicadores económicos como el Producto Estatal Bruto (PEB) y el Producto Nacional Bruto (PNB), con el fin de obtener información sobre las tendencias del crecimiento económico y en las cuales se pudo ver que son similares para los dos estados. En orden de prioridad para cada estado se registro un crecimiento económico exponencial en agricultura, industria, minería y energía eléctrica y una vez más se pudo constatar que la agricultura contribuye con cifras mayores al PEB; y más aun son considerados entre los más importantes del país por su considerable contribución al PNB. De acuerdo a esto, se confirma lo mencionado en el apartado 3.1 de que el incremento en la demanda de agua puede estar definida como la razón entre la tasas de crecimiento económico y la tasas de cambio en disponibilidad de agua.

El comportamiento de las variables en un futuro es importante, por lo que se generó un escenario a futuro de disponibilidad de agua y población, los resultados muestran incrementos en disponibilidad agua y población, cabe resaltar que Sinaloa presenta tendencias más aceleradas en cuanto a su crecimiento poblacional, por esto se cree que el principal problema al que se enfrentarán en el próximo siglo es la competencia por el agua entre actividades productivas y población.

De manera general se puede concluir que en términos de variabilidad climática para la región, la existencia de agua en un futuro podría satisfacer las necesidades en la región y alcanzar un crecimiento económico sostenido.

El análisis de histogramas presentado puede ser de mucha utilidad en las tareas de planificación y operación de los sistemas hidráulicos. Creemos importante se profundice más en este tipo de estudios y esperamos en particular que nuestro trabajo sirva como base de futuros estudios.

REFERENCIAS

Henry F. Díaz and Vera Markgraf, *El Niño (Historical and Paleoclimatic Aspects of the Southern Oscillation)*, edit. Universidad Cambridge, Gran Bretaña, 1993, Pp 476.

S.I. Solomon, M. Beran and W. Hogg, *The Influence Of Climate Change and Climatic Variability On The Hidrologic Regime and Water Resources*, edit. International Association of Hydrological Sciences, Canadá, 1987, Pp 640.

Philander S.G., *El Niño, La Niña, and the Southern Oscillation*, Academic Press, San Diego, USA, 1990, Pp 293.

Felipe Torres, Daniel Rodríguez, Fortunato Ibarra, Arturo Carrillo, Karina Soltero y Javier Delgadillo, *Desastres Naturales (Aspectos Sociales Para su Prevención y Tratamiento en México)*, edit. Instituto de Investigaciones Económicas, México, 1996, Pp 292.

Instituto Nacional de Ecología, U.S. Country studies Program, Universidad Nacional Autónoma de México, *México ante el Cambio Climático Tomo I y II*, edit. Impretei, México, 1996, Pp 250.

George C. Canavos, *Probabilidad y Estadística "Aplicaciones y Métodos"*, edit. Mc Graw Hill, México D.F., 1995, Pp 651.

IPCC Grupo de Trabajo 1, *Cambio Climático "Evaluación Científica del IPCC Tomo I"*, edit. Gráficas Jomangar, Madrid España, 1992, Pp 304.

Daniel S. Wilks, *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*, edit. Academic Press, New York E.U.A., 1995, Pp 467.

W.C.P., *CLIVAR Study of Climate Variability and Predictability*, edit. W.M.O, Switzerland, 1995, Pp 157.

Meteorological Society of Japan, *Short-and Medium- Range Numerical Weather Prediction*, edit. T. Matsuno, Japan, 1986, Pp 831.

Shoichiro Nakamura, *Análisis Numérico y Visualización Gráfica con Matlab*, edit. Prentince-Hall Hispanoamericana S.A., México, 1997, Pp 476.

Víctor O. Magaña and Cecilia Conde, Climate Variability and its Potential Impact on Transboundary Freshwater Resources in North America, Center for Atmospheric Sciences, National Autonomous University of México, 1997, Pags. 1-24.

Javier Delgadillo Macias, Producción de Alimentos en México y los Efectos de la Sequía en el norte del país, Instituto de Investigaciones Económicas, UNAM, México, 1997, Pags. 1-18.

Michael W. Douglas, Robert A. Maddox, Kenneth Howard and Sergio Reyes, The Mexican Monsoon, NOAA and CICESE, 1993, Pags. 1665-1677

Ehecatl, Nortes en el Golfo de México, edit. Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM, 1995, Pags. 1-2.

Información Científica Y Tecnológica, Huracanes, Vol. 11, N° 155, México, 1989, Pags. 32-54.

Martín D, Mundo Molina, Polioptro Martínez Austria, El Cambio Climático y sus Efectos Potenciales en los Recursos Hídricos y la Agricultura del Valle de Yaqui, Sonora, IMTA, Ingeniería Hidráulica en México vol. IX, N° 1, 1994, Pags. 13-33.

INEGI, Perfil Estadístico de la Población Mexicana, Una Aproximación a las Inequidades Socioeconómicas, Regionales y de Género. México.

INEGI, Estadísticas Históricas de México, 1994, CD-ROM. ISBN 970-13-0257-5.

INEGI, Cuaderno Estadístico, Estado de Sonora, 1995, México.

INEGI, Cuaderno Estadístico, Estado de Sinaloa, 1995, México.

INEGI, Cuaderno Estadístico, San Luis Río Colorado, Estado de Sonora , México.

INEGI, Cuaderno de información para la planeación, Estado de Sonora, México, 1990.

INEGI, Estudio hidrológico del estado de Sonora, México, 1993

Instituto de Geología, Atlas Geológico del estado de Sinaloa, México.

Daniel Lluch, Sergio Hernandez, Cesar A. Salinas, Francisco Magallon, Francisco de la Chica, Variación Climática y Oceanográfica Global: Sus efectos en el noroeste de México, Ciencia y Desarrollo, Pags. 79-88.

Víctor O. Magaña, José Luis Pérez, Cecilia Conde, Socorro Medina, El fenómeno del Niño y la Oscilación del Sur (ENSO) y sus impactos en México, Centro de Ciencias de la Atmosfera, UNAM, 1997, Pags. 1-20.

German Poveda y Oscar J. Mesa, Las fases extremas del fenómeno ENSO (El Niño y la Niña) y su influencia sobre la hidrología de Colombia, Universidad Nacional de Colombia, 1996, Ingeniería Hidráulica en México vol XI, N° 1, Pags. 21-37.

Martín D. Mundo Molina y Polioptro Martínez Austria, Cambio Climático: Posibles consecuencias y algunas sugerencias para disminuir su efecto en México, IMTA, 1993, Ingeniería Hidráulica en México, Pags. 15-27.

Adrián Guillermo Aguilas, Los Asentamientos Humanos y el Cambio Climático en México, Instituto de Geografía, UNAM, 1997, Pags. 1-27.

Víctor O. Magaña, El pronóstico del tiempo para los próximos días, meses, años..., Facultad de Ciencias, UNAM, Revista Ciencias N° 35, México, 1995, Pags. 15-22.

Víctor O. Magaña and Arturo Quintanar, On the Use of General Circulation Models to Study Regional Climate, Proceedings of the Second UNAM-CRAY Supercomputing Conference, Cambridge University Press, 1997 39-48.

José L. Pérez, Cambio Climático Regional en México, Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM, 1997, Pp. 99.