

# ANÁLISIS DE LA LLUVIA Y SU RELACIÓN CON FENÓMENOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO; ESTUDIO DE CASO EN ESTACIÓN METEOROLÓGICA SARDINAS (San Bernardo, Durango)

RAINFALL ANALYSIS AND RELATIONSHIP WITH CLIMATE CHANGE; STUDY CASE IN SARDINAS WEATHER STATION (San Bernardo, Durango)

J. J. Escobar Pedraza<sup>1</sup>; J. L. González Barrios<sup>2</sup>; I. Sánchez Cohen<sup>2</sup>  
A. Muñoz Villalobos<sup>2</sup>; M. Villa Castorena<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma Chapingo – Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas.

<sup>2</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias – CENID RASPA

Correo-e: gonzalez.barrios@inifap.gob.mx (\*Autor para correspondencia)

## RESUMEN

El cambio climático parece agravar la degradación de los recursos naturales en la parte alta de la cuenca del río Nazas, importante región de captación de agua de lluvia donde la estación meteorológica Sardinas ha registrado eventos anómalos de pluviometría en los últimos años. El objetivo de este trabajo fue analizar la información pluviométrica histórica y reciente de esa estación, en el contexto del cambio climático. La información de lluvia registrada de 1970 a 2004 en la estación Sardinas fue obtenida del programa ERIC III, y luego de una validación sistemática fue comparada con la información pluviométrica de tres años recientes (2006, 2007 y 2008), para ser analizada luego con el programa Índice Estandarizado de Precipitación. Los resultados muestran que la intensidad de los eventos de humedad y de sequía excesivas tiende a incrementarse en los años recientes probablemente por la influencia de la Oscilación del Sur El Niño (ENSO). El análisis de los periodos intra-anales de lluvia de los años históricos y recientes muestra que estos últimos están desfasados de los primeros y, además, son cada vez más fraccionados en su tiempo de duración. Estos cambios evidenciados en el régimen de la precipitación pluvial pueden asociarse al cambio climático, cuyos efectos exacerban el proceso de erosión hídrica del suelo.

**Palabras clave:** Parte alta Cuenca del Río Nazas, índice estandarizado de precipitación, ENSO, sequía, lluvias extremas.

## SUMMARY

Climate change seems to aggravate the degradation of natural resources in the upper basin of the Nazas River. This is an important water catchment area where Sardines weather station has recorded anomalous rainfall events in recent years. The aim of this study was to analyze historical and recent rainfall information in the context of climate change. The rainfall recorded from 1970 to 2004 at Sardinas station was obtained from the ERIC III data base and was compared with rainfall of three recent years (2006, 2007 and 2008) then analyzed with the Standardized Precipitation Index program. Results show that intensity of humid or drought events tend to increase in recent years probably due to ENSO influence. Analysis of intra-annual periods of rainfall shows that recent years are different from normal historical years and they duration are more fractioned. These changes in the rainfall regime may be associated with climate change whose effects may increase the process of soil erosion.

**Keywords:** Upper watershed of Nazas river, standardized precipitation index, ENSO, drought, extreme precipitation.



Recibido: 6 de diciembre, 2011  
Aceptado: 7 de noviembre, 2012  
[http:// www.chapingo.mx/revistas](http://www.chapingo.mx/revistas)

## INTRODUCCIÓN

Los desastres provocados en años recientes por huracanes devastadores, tornados y nevadas en lugares insólitos están cada vez más asociados con el cambio climático y a la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera (López, 2009).

Estos eventos pueden ser influidos por fenómenos climáticos como la Oscilación del Sur El Niño (El Niño-Southern Oscillation, ENSO, por sus siglas en inglés), aunque no está totalmente comprobado que estos acontecimientos meteorológicos sean ocasionados por el calentamiento global.

Agravada por el cambio climático, la degradación de los recursos naturales ha ido en aumento en muchas regiones del mundo y en México, donde la pérdida de cobertura vegetal por cambio de uso del suelo provoca un aumento en su erosión, con deposición de sedimentos en obras de almacenamiento de agua que reducen la capacidad de acumulación y disponibilidad del vital líquido. Este es el caso de la parte alta de la cuenca del río Nazas, enclavada en la Sierra Madre Occidental, verdadera "reserva de agua" del norte árido de México. En esta región se localizan varias estaciones climatológicas que son controladas por las Gerencias Regionales de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). En la estación climatológica Sardinias particularmente se han observado eventos anómalos en la precipitación de los últimos años, por lo que se justificó el análisis de la información pluviométrica histórica y reciente en el contexto del cambio climático.

Este trabajo de investigación fue financiado por el fondo mixto CONACYT-Gobierno de Durango (FOMIX-Durango).

## MATERIALES Y MÉTODOS

La estación meteorológica Sardinias se ubica geográficamente en el paralelo 26° 5' 2.4'' latitud norte y el meridiano 105° 33' 57.6'' longitud oeste de Greenwich con una altitud de 1,639 m en el municipio de San Bernardo, Durango.

Para la recopilación de la información de lluvia de los años recientes se utilizaron los reportes de Información diaria Hidroclimatológica y de Almacenamientos del Organismo "Cuencas Centrales del Norte" (CONAGUA, 2006; 2007; 2008). Para la extracción de información climatológica histórica se utilizó el programa computacional ERIC III (IMTA, 2006), obteniendo 35 años de información histórica. Con el propósito de establecer la relación que tienen las lluvias con los fenómenos climáticos naturales, se recopilaron los Episodios Históricos de El Niño y La Niña, basados en el Índice Oceánico de El Niño (ONI) (NOAA, 2011) y los Ciclones Tropicales que impactaron a México de 1970 a 2008 (CONAGUA, 2011).

El tratamiento de datos diarios de precipitación de los años 2006, 2007 y 2008 se realizó mediante la creación de una

base de datos Excel por año, misma que se cotejó para verificar que lo que estaba impreso en la base de datos estuviese en el archivo electrónico; una vez generados los archivos y eliminados los errores en el vaciado de datos, se identificaron y se eliminaron los datos aberrantes tales como datos negativos y fuera de la realidad que originalmente se encontraban en la base de datos; luego de que éstos fueran filtrados obteniendo una base de datos validada y confiable se procedió a su análisis. La información histórica extraída de ERIC, tuvo un proceso similar a la de los años recientes.

Los datos de los tres años de estudio (Cuadro 1), así como la información histórica, fueron agrupados y presentados de manera decenal, por lo que cada mes tiene tres valores. Después se procedió a realizar una tabla de estadísticas básicas con los valores históricos (Cuadro 2).

Diferentes gráficas fueron generadas con la media, desviación estándar, los eventos máximos histórico situados en cada decena, y sobre la serie de lluvias máximas se identificaron los años en donde habían ocurrido estos eventos (Figura 1). Estas gráficas sirvieron como punto de comparación para los años de estudio. Sólo se graficó una serie extra con los valores decenales por cada uno de los años de estudio.

Para el análisis de este tipo de gráficas se procedió a obtener un total anual promedio de acuerdo a la media histórica. Luego se describió el comportamiento de la media histórica tomando sólo las lluvias superiores a los 5 mm; a éstas se les nombró lluvias "considerables o útiles", pues son apreciables para este análisis. Así se identificó la existencia de lluvias invernales al inicio y final del año haciendo referencia a la decena en que ocurrieron y en la que acabaron. La fecha de inicio y término del periodo de lluvias así como su modalidad, fueron identificadas para posteriormente describir la forma de la curva media histórica.

La desviación estándar se usó para apreciar la variabilidad de la lluvia con respecto a la media histórica, identificando de esta manera la decena más variable. También se analizaron los máximos históricos rescatando la decena, el mes y el año de la precipitación máxima a lo largo de la historia y su volumen en milímetros. Una vez terminada la descripción de la información histórica, la serie de medidas se comparó con la de cada uno de los años de estudio (2006, 2007 y 2008), al igual que el total anual. Esta comparación se hizo para definir si fue un año lluvioso o no con respecto a la media histórica; identificar presencia o ausencia de lluvias invernales al inicio o al final del año; determinar el inicio y el fin de la época de lluvias en el año resaltando: cuándo ocurren, con qué intensidad y si fueron mayores o menores que la media histórica; además, así fue factible saber si las precipitaciones máximas de un año en particular fueron iguales, menores o mayores que los máximos históricos.

Para categorizar la precipitación de este lugar se utilizó el Índice Estandarizado de Precipitación (o SPI por las siglas

**Cuadro 1. Información de precipitación decenal promedio, para los años 2006, 2007 y 2008 de la estación Sardinias.**

AÑOS		2006	2007	2008
ENERO	1	0.0	0.0	0.0
	2	0.0	0.0	0.0
	3	1.0	0.0	0.0
FEBRERO	1	0.0	0.0	0.0
	2	0.0	0.0	1.5
	3	0.0	0.0	0.0
MARZO	1	0.0	0.0	0.0
	2	0.0	0.0	0.0
	3	0.0	0.0	0.0
ABRIL	1	0.0	0.0	0.0
	2	1.0	0.0	0.0
	3	0.0	0.0	0.0
MAYO	1	0.0	0.0	0.0
	2	7.0	0.0	24.4
	3	0.0	0.0	0.0
JUNIO	1	25.0	2.0	1.8
	2	0.0	15.2	3.5
	3	59.0	14.0	20.5
JULIO	1	29.5	40.3	126.0
	2	30.0	25.5	43.0
	3	14.0	55.8	22.0
AGOSTO	1	124.0	7.5	35.5
	2	56.5	1.0	33.5
	3	73.5	23.5	130.2
SEPTIEMBRE	1	128.5	39.5	83.5
	2	70.0	16.0	40.0
	3	1.1	6.5	38.0
OCTUBRE	1	9.5	29.9	0.0
	2	1.0	0.0	63.0
	3	10.0	0.0	3.5
NOVIEMBRE	1	0.0	0.0	0.0
	2	0.0	0.0	0.0
	3	0.0	1.5	0.0
DICIEMBRE	1	15.0	0.0	0.0
	2	0.0	0.0	0.0
	3	0.0	0.0	0.0
<b>Total Anual</b>		655.6	278.2	669.9

en inglés de Standardized Precipitation Index). Este índice puede ser usado como indicador de periodos de sequía o de excesos de humedad. Para ello se obtuvo la precipitación mensual de la base de datos histórica diaria y la base de datos de los años de estudio al redondear los valores decimales. McKee *et al.* (1993) desarrollaron el SPI como un método para categorizar la precipitación observada, como la desviación estandarizada con respecto a una función proba-

bilística de densidad, el cual permite determinar la rareza de una sequía o de un acontecimiento anómalo húmedo en una escala de tiempo determinado (un mes, dos meses, tres meses o más). Este método se puede aplicar en cualquier sitio del mundo que tenga un registro de datos de precipitación. De acuerdo con Wilks (1995), la función que describe la ocurrencia de precipitación es la función Gamma dada la asimetría de la precipitación y el sesgo; si bien ésta ofrece algunas dificultades en las zonas de muy poca precipitación, debido a que no se puede definir con valores de la variable iguales a 0. La función de densidad es transformada a una distribución normal estandarizada; con media igual a 0 y varianza igual a 1; siendo el SPI el valor resultante de esta transformación. Este índice representa el número de desviaciones estándar en que el valor transformado de la precipitación se desvía del promedio histórico, el cual queda representado por 0. Los valores negativos del SPI representan déficit de precipitación, y los valores positivos indican que la precipitación ocurrida ha sido superior al promedio histórico. Es recomendable que el cálculo del SPI para un periodo de tiempo dado, en un lugar determinado, se haga con base en los registros de precipitación de por lo menos 30 años (Giddings *et al.*, 2005). Además, como este programa no acepta información de años incompletos, se tomó la decisión de no utilizar los años en los que faltara información en cuatro o más meses. Para los años con ausencia de información en tres meses o menos se modificó la ausencia agregando el dato de cero precipitaciones, observando que esto fue generalmente para el periodo seco, febrero a mayo, de esos años. Una vez teniendo los datos mensuales a lo largo del tiempo, fueron ingresados al programa SPI.

En la gráfica del SPI se incluyeron los Episodios Históricos de “El Niño” y “La Niña” y los Ciclones Tropicales que impactaron a México de 1970 a 2008, siempre y cuando se haya tenido evidencia de que afectaron al estado de Durango.

Con el propósito de analizar detalladamente esta estandarización, el periodo histórico se subdividió en lustros y se calculó la frecuencia de sequías o excesos de humedad según las categorías reportadas por Sánchez *et al.* (2008) para el SPI (Cuadro 3). En cuanto a la duración de los eventos, de acuerdo a las categorías establecidas, se anotó la cantidad de meses consecutivos en que el SPI es mayor o menor a cero. A esos periodos se les asignó la categoría correspondiente al valor máximo o mínimo obtenido, respectivamente, durante ese tiempo; también se les asignó una magnitud, definiéndose ésta como la suma de los SPI del periodo considerado; y finalmente la magnitud promedio para dicho periodo.

A continuación se presentan y discuten los principales resultados encontrados en este trabajo.

**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

El análisis de la información pluviométrica histórica (período de 1970 a 2004) en la estación meteorológica Sardinias permitió calcular una precipitación total anual promedio

Cuadro 2. Estimadores estadísticos básicos creados con la información histórica (1970-2004) de la precipitación registrada en la estación Sardinás.

		Media	Varianza	Desviación estándar	Mínimo	Máximo	Año de Máximo
	1	1.5	25.4	5.0	0	28	1992
ENE	2	6.0	117.4	10.8	0	40.5	1992
	3	4.5	129.5	11.4	0	57	1984
	1	1.7	21.8	4.7	0	21.6	1998
FEB	2	0.7	6.5	2.6	0	13.9	1973
	3	0.6	2.5	1.6	0	6	1973
	1	0.6	3.3	1.8	0	9	1979
MAR	2	1.5	31.6	5.6	0	32	1997
	3	2.0	122.1	11.1	0	64.5	2004
	1	1.5	30.7	5.5	0	30.3	1985
ABR	2	1.6	18.5	4.3	0	15.8	1978
	3	4.2	128.6	11.3	0	55.5	2001
	1	1.6	22.4	4.7	0	25.2	1992
MAY	2	2.8	20.6	4.5	0	17	1993
	3	4.8	45.3	6.7	0	24.9	1972
	1	14.1	815.6	28.6	0	122.9	1979
JUN	2	14.9	535.9	23.1	0	109.4	1999
	3	31.7	796.1	28.2	0	82.4	1985
	1	35.3	783.4	28.0	1	92.5	1998
JUL	2	40.1	752.8	27.4	4.2	114.5	1996
	3	58.9	2714.4	52.1	7.5	270.4	1991
	1	36.5	716.0	26.8	0	116.8	1973
AGO	2	43.1	1810.9	42.6	0	180.4	1981
	3	37.6	622.2	24.9	2.6	113.1	1996
	1	36.1	1105.0	33.2	0	125.4	1986
SEP	2	34.4	871.5	29.5	0	103.1	1992
	3	22.1	550.8	23.5	0	96.6	1980
	1	12.7	222.0	14.9	0	58	1981
OCT	2	8.1	377.6	19.4	0	105.5	2003
	3	6.1	118.2	10.9	0	42.6	1986
	1	2.6	60.1	7.8	0	34.3	1974
NOV	2	2.5	41.6	6.5	0	27.4	1976
	3	4.3	82.7	9.1	0	42	1972
	1	2.5	35.0	5.9	0	21.5	1989
DIC	2	3.4	79.2	8.9	0	42.8	1984
	3	1.8	24.7	5.0	0	25.5	1994

de 484.4 mm. De acuerdo a la Figura 1, se registraron lluvias considerables en invierno al inicio del año, seguidas de un periodo seco hasta el inicio del periodo de lluvias en la primera decena de junio y concluyó en la tercera decena de octubre registrando un temporal de lluvias bimodal, sin observarse lluvias invernales considerables al final del año. En la tercera decena de julio se registraron las mayores preci-

pitaciones pluviales, además de tener el valor mayor de la desviación estándar de acuerdo a la media histórica, y fue la decena de máxima precipitación histórica registrada con 270.4 mm en 1991 (Figura 1).

El año más lluvioso registrado fue también 1991 con una precipitación total de 724.2 mm. El segundo lugar corres-

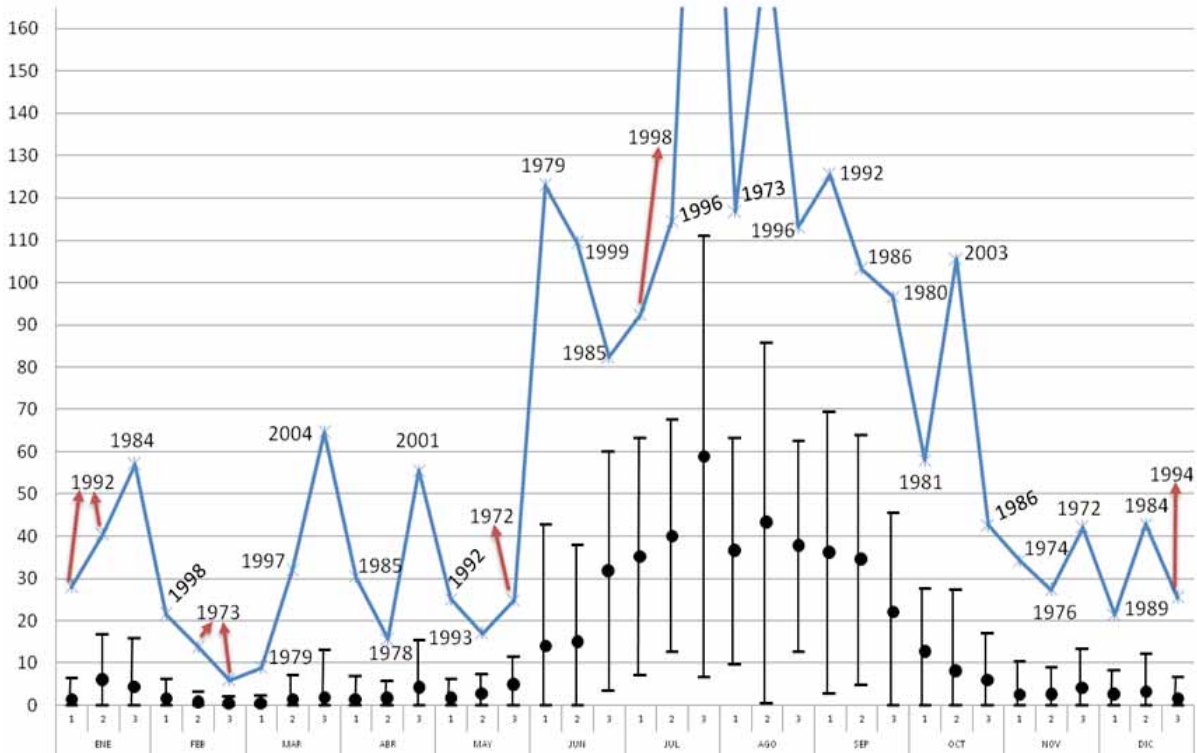


Figura 1. Precipitación histórica registrada para la estación Sardinas periodo 1970-2004 (Total anual promedio 484.4 mm).

Cuadro 3. Categorías del Índice Estandarizado de Precipitación (SPI) (de acuerdo a Sánchez *et al.*, 2008).

VALOR SPI	CATEGORÍA
2.00 o mayor	Extremadamente húmedo
1.50 a 1.99	Muy húmedo
1.00 a 1.49	Moderadamente húmedo
0 a 0.99	Ligeramente húmedo
0 a -0.99	Ligeramente seco
-1.00 a -1.49	Moderadamente seco
-1.50 a -1.99	Muy seco
-2.00 o menor	Extremadamente seco

ponde al año 1986, con una precipitación total de 713 mm. De la columna titulada Año de máximos (Cuadro 2) se deriva el Cuadro 4, donde se observa que en la década de 1990 a 1999 hubo un mayor número de lluvias extremas.

**Precipitación en 2006**

La precipitación total para este año fue de 655.6 mm, siendo mayor a la media histórica en un 35 %. De acuerdo a la zona sombreada de la Figura 2, se inició el año sin lluvias en la época invernal. La temporada de lluvias comenzó en la segunda decena de mayo de manera interrumpida. Para la primera decena de agosto se registró la segunda decena más lluviosa de 2006 con 124 mm, superando la media histórica en un 239 % y al evento máximo histórico de 116.8 mm ocurrido en 1973 con un 6 %. En la primera decena de septiembre se incremen-

Cuadro 4. Distribución de frecuencias para los datos de fecha del evento máximo en la tabla de estadísticas básicas de la estación Sardinas.

Intervalos de años	Frecuencia
1970-1979	10
1980-1989	10
1990-1999	13
2000-2004	3

tó la precipitación superando en un 2 % al evento máximo histórico de 128.5 mm ocurrido en 1986, siendo esta decena la más importante en lluvias para 2006; después de esto la lluvia comenzó a disminuir, ocurriendo lluvias intermitentes, para terminar la época de lluvias en la tercera decena de octubre; durante el invierno de ese año se registró una precipitación considerable que superó la media histórica.

**Precipitación en 2007**

La precipitación total para este año fue de 278.2 mm, siendo 43 % menor que la media histórica. Como se observa en la zona sombreada de la Figura 3, al inicio del año no se registraron lluvias por lo que la temporada lluviosa comenzó en la segunda decena de junio, registrando la lluvia máxima de este año en la tercera decena de julio, siendo una precipita-

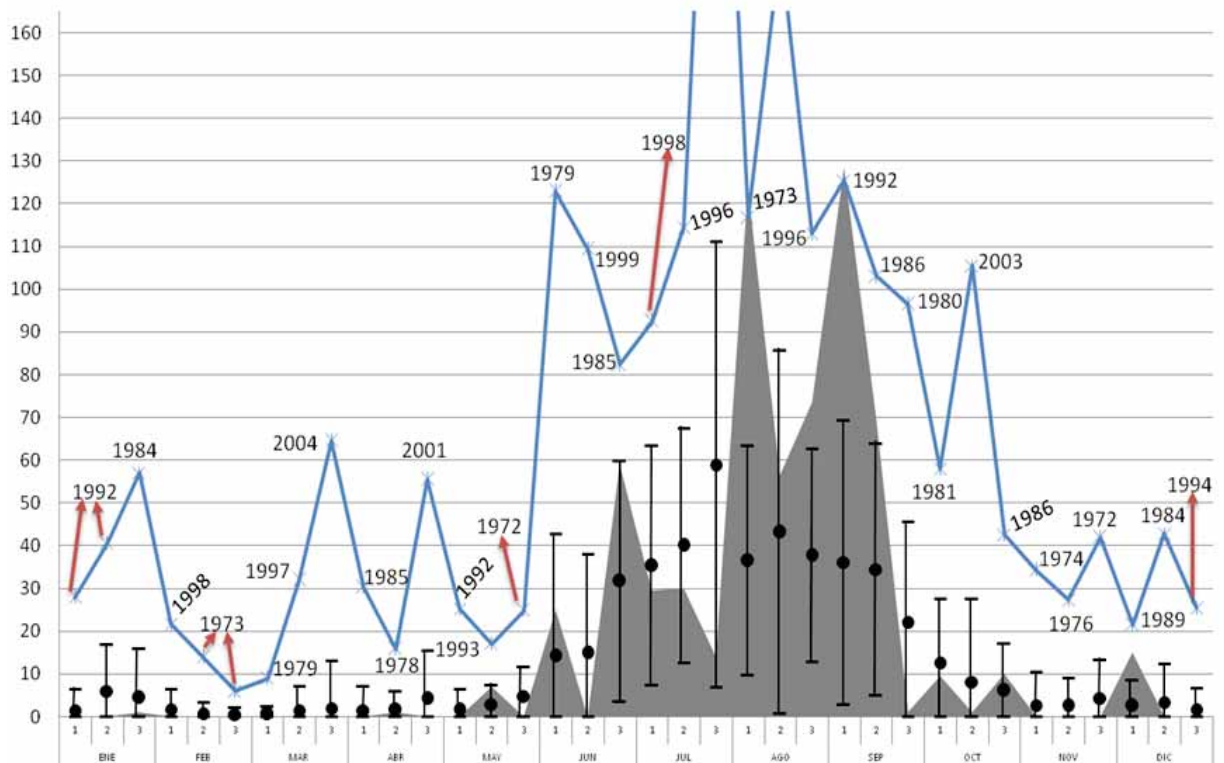


Figura 2. Precipitación para el año 2006 en la estación Sardinas (área sombreada con un Total anual de 655.6 mm) vs precipitación histórica.

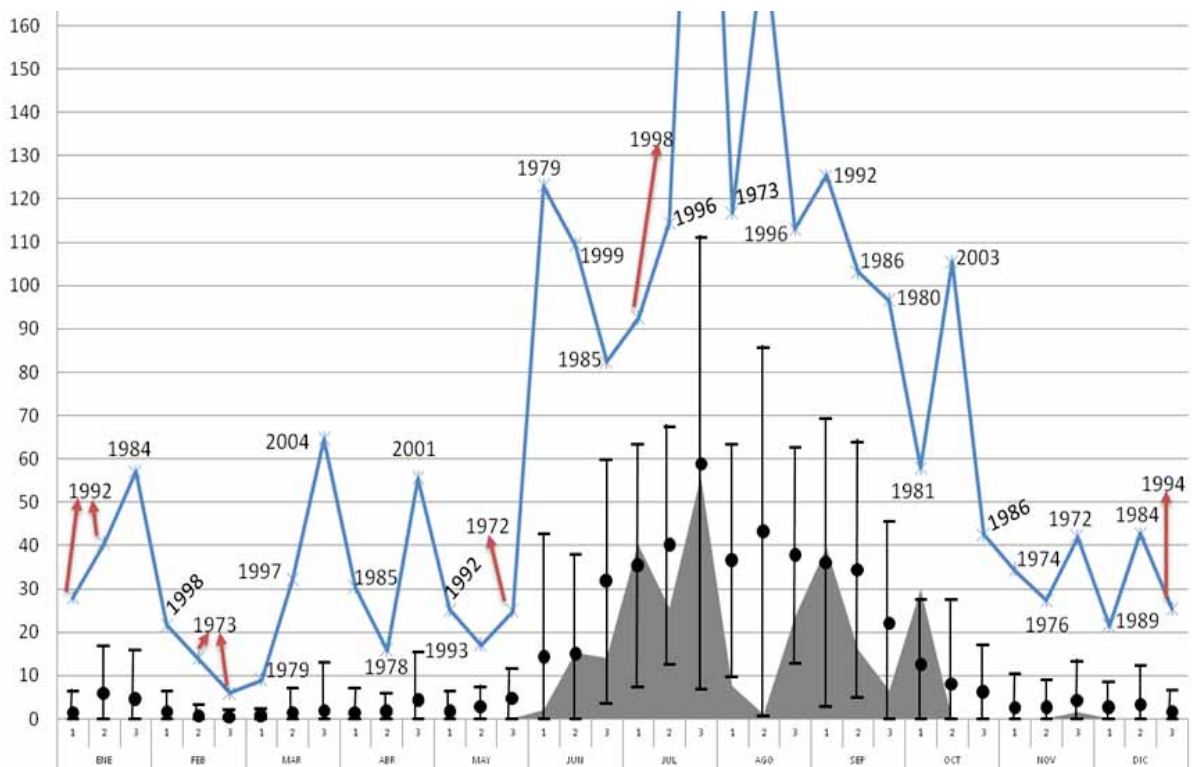


Figura 3. Precipitación para el año 2007 en la estación Sardinas (área sombreada con un Total anual de 278.2 mm) vs precipitación histórica.

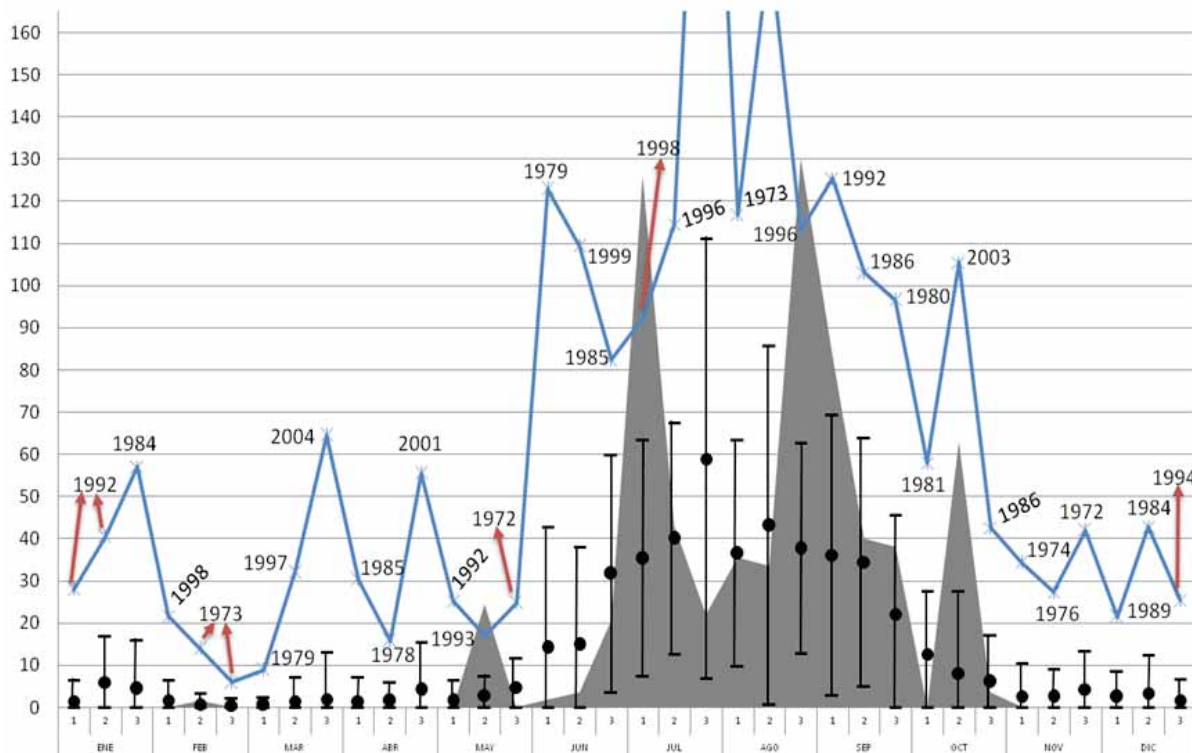


Figura 4. Precipitación para el año 2008 en la estación Sardinas, (área sombreada con un Total anual de 669.9 mm) vs precipitación histórica.

ENE			FEB			MAR			ABR			MAY			JUN			JUL			AGO			SEP			OCT			NOV			DIC		
1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Media Histórica: 484.4 mm																																			
Año 2006: 655.6 mm																																			
Año 2007: 278.2 mm																																			
Año 2008: 669.9 mm																																			

Figura 5. Duración del periodo de lluvias para la media histórica y los años de estudio en la estación Sardinas, en color más intenso se ilustran las lluvias atípicas

ción menor en un 5% a la media histórica para esa decena, luego la lluvia disminuyó en las decenas subsecuentes, finalizando la temporada de lluvias en la primera decena de octubre. Para el invierno no se registraron lluvias considerables al final del año.

**Precipitación en 2008**

La precipitación total para este año fue de 669.9 mm, siendo superior a la media histórica en un 38 %. Como se ve en la zona sombreada de la Figura 4, al inicio de este año en la temporada de invierno no hay lluvias considerables. La temporada de lluvias comenzó en la segunda decena de mayo de forma fraccionada, ya que las tres decenas siguientes no tuvieron lluvias considerables; esta primera precipitación del inicio de la temporada de lluvias fue mayor no sólo a la media histórica (759 %) sino también al evento máximo histórico (17 mm) en un 44 % para esa decena, ocurrido en 1993. Para la tercera decena de junio la lluvia se incrementó

alcanzando en la primera decena de julio la segunda precipitación mayor de este año con 126 mm, superando a la media histórica en un 257 % y al evento máximo registrado en 1998 de 92.5 mm en un 36 %; luego la precipitación descendió alcanzando valores menores a la media histórica para que en la tercera decena de agosto se diera lugar a la lluvia más intensa de este año con 130.2 mm, superando en un 246 % la media histórica para esa misma decena y superando también al evento máximo histórico de esa decena (113.3 mm) ocurrido en 1996. Las lluvias subsecuentes también superaron la media histórica, terminando la temporada de lluvias en la segunda decena de octubre de manera fraccionada. Para el invierno al final de año, no se presentaron precipitaciones.

La Figura 5 ilustra con mayor detalle lo anteriormente señalado para su fácil comprensión, donde se observa la duración del periodo de lluvias tanto histórico como de los tres años recientes de estudio; ubicando con color la ocurrencia de las lluvias considerables (superiores a 5 mm).

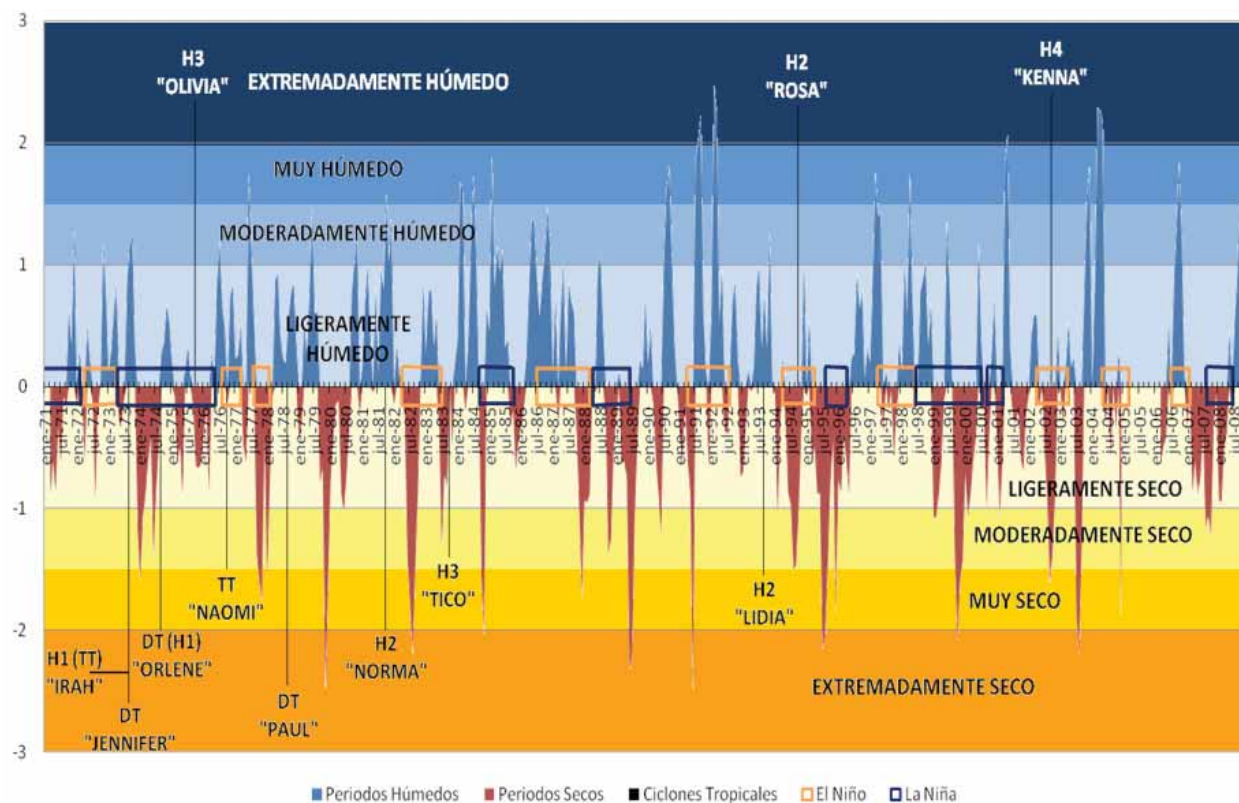


Figura 6. Índice estandarizado de precipitación 3 meses para la estación Sardinas, ciclones tropicales y fenómenos climáticos El Niño y La Niña (período 1971-2008)

### Índice Estandarizado de Precipitación para la estación Sardinas

La evolución de la precipitación registrada en la estación meteorológica Sardinas desde 1971 hasta 2008 se analizó en forma mensual, con la finalidad de categorizar la severidad de los periodos secos y húmedos (Figura 6).

En el Cuadro 5 puede apreciarse que en Sardinas es frecuente observar sequías extremas ( $SPI \leq -2.00$ ), encontrándose principalmente distribuidas en el tercio medio de la información histórica. El periodo con mayor número de frecuencias en esta categoría es 1991-1995 con un 30 % del total de las frecuencias, en donde a pesar de haber eventos “El Niño” y ciclones tropicales como el huracán categoría dos “Lidia” en septiembre de 1993 y el huracán categoría dos “Rosa” en octubre de 1994, aún se observaron sequías extremas.

En cuanto a las sequías severas ( $-1.99 \leq SPI \leq -1.5$ ; Cuadro 5), se aprecia un incremento del 40 % con respecto a las sequías extremas distribuidas aleatoriamente a través del tiempo. El periodo con mayor frecuencia es 1976-1980 con el 29 % del total de las frecuencias en esta categoría, posiblemente relacionado con un evento “El Niño” que inició en agosto de 1977 y terminó en febrero de 1978. Así entonces en esta estación es frecuente la incidencia de sequías severas.

Con respecto a las sequías moderadas ( $-1.49 \leq SPI \leq -1.00$ ; Cuadro 5) se observa un incremento del 170 % en compara-

Cuadro 5. Distribución de frecuencias del valor del SPI para las diferentes categorías de sequía en la estación Sardinas.

Periodo	Sardinas 1971-2008		
	Sequía Moderada	Sequía Severa	Sequía Extrema
1971-2008	29	14	10
1971-1975	3	1	0
1976-1980	2	4	1
1981-1985	3	2	2
1986-1990	5	1	2
1991-1995	4	2	3
1996-2000	6	1	1
2001-2005	3	3	1
2006-2008	3	0	0

ción con las sequías severas, distribuidas a lo largo del tiempo sin presentar alguna tendencia en particular. El lustro que presentó mayor número de frecuencias es 1996-2000 con un 21 % del total de las frecuencias de esta categoría posiblemente influidas por un evento “La Niña” que se inició en junio de 1998 hasta julio de 2000. El siguiente periodo con alta frecuencia fue 1986-1990 con 17 % del total de las frecuencias; este periodo estuvo posiblemente relacionado con un evento “La Niña” que ocurrió de abril de 1998 a junio de 1989.

Con respecto a los excesos extremos de precipitación ( $SPI > 1.99$ ; Cuadro 6), son poco frecuentes en esta estación y

Cuadro 6. Distribución de frecuencias del valor del SPI para las diferentes categorías de eventos húmedos en la estación Sardinás.

Sardinás 1971-2008			
Periodo	Evento Húmedo Moderado	Evento Húmedo Severo	Evento Húmedo Extremo
1971-2008	37	16	8
1971-1975	4	0	0
1976-1980	5	1	0
1981-1985	7	5	0
1986-1990	9	2	0
1991-1995	2	1	4
1996-2000	6	2	0
2001-2005	0	3	4
2006-2008	4	2	0

han estado relacionados posiblemente con eventos “El Niño”. En los últimos años sólo se registraron excesos extremos en dos periodos, en 1991-1995 y 2001-2005, con 50 % del total de las frecuencias en cada periodo; el primer periodo pudo estar influido por un evento “El Niño” que ocurrió en abril de 1991 hasta agosto de 1992, y para el segundo periodo no se encuentra alguna posible relación con fenómenos climáticos.

Los excesos severos ( $1.5 \leq SPI \leq 1.99$ ; Cuadro 6) son 100 % más frecuentes que los excesos extremos, sin observarse alguna tendencia en particular y distribuyéndose aleatoriamente a lo largo del tiempo (1971-2008). El periodo con mayor número de frecuencias fue 1981-1985, ocupando un 31 % del total de las frecuencias, probablemente influido por un evento “La Niña” que comenzó en septiembre de 1984 y concluyó en octubre de 1985.

Para el caso de los excesos moderados de precipitación ( $1.00 \leq SPI \leq 1.49$ ; Cuadro 6) en esta estación se presentan con mayor frecuencia, incrementándose en un 131 % con respecto a los excesos severos y siendo 28 % superior a la categoría de sequías moderadas. El periodo con mayor frecuencia fue 1986-1990 con un 24 % del total de las frecuencias de esta categoría y posiblemente influido por un evento “El Niño” iniciando en julio de 1986 y concluyendo en marzo de 1988; el segundo periodo con las más altas frecuencias es 1981-1985, ocupando un 19 % del total de las frecuencias en esta categoría, posiblemente relacionado con un huracán categoría dos llamado “Norma” que se presentó el 12 de octubre de 1981, y también posiblemente influido por un evento “La Niña” que empezó en septiembre de 1984 y terminó en octubre de 1985; un tercer periodo con frecuencias altas fue 1996-2000 con un 16 % del total de las frecuencias, posiblemente influido por un evento “El Niño” que se presentó de abril de 1997 a junio de 1998.

En cuanto a la duración de los eventos del SPI dentro de esta estación (ver Figura 7), el que tuvo la máxima duración corresponde a una sequía moderada que duró 16 meses consecutivos desde enero de 2007 hasta abril de 2008, probablemente influido por un evento “La Niña” desde agosto de 2007 hasta junio de 2008; le sigue en duración una sequía extrema de 15 meses consecutivos.

En cuanto a las sequías más importantes, cabe citar que existen dos eventos con el mismo índice de -2.49; el primer episodio duró 12 meses consecutivos desde septiembre de 1979 hasta agosto de 1980; la magnitud de este periodo fue de -10.03 y su magnitud promedio de -0.83, sin relación con fenómenos climáticos; según Pedro (2011), en la tercera de-

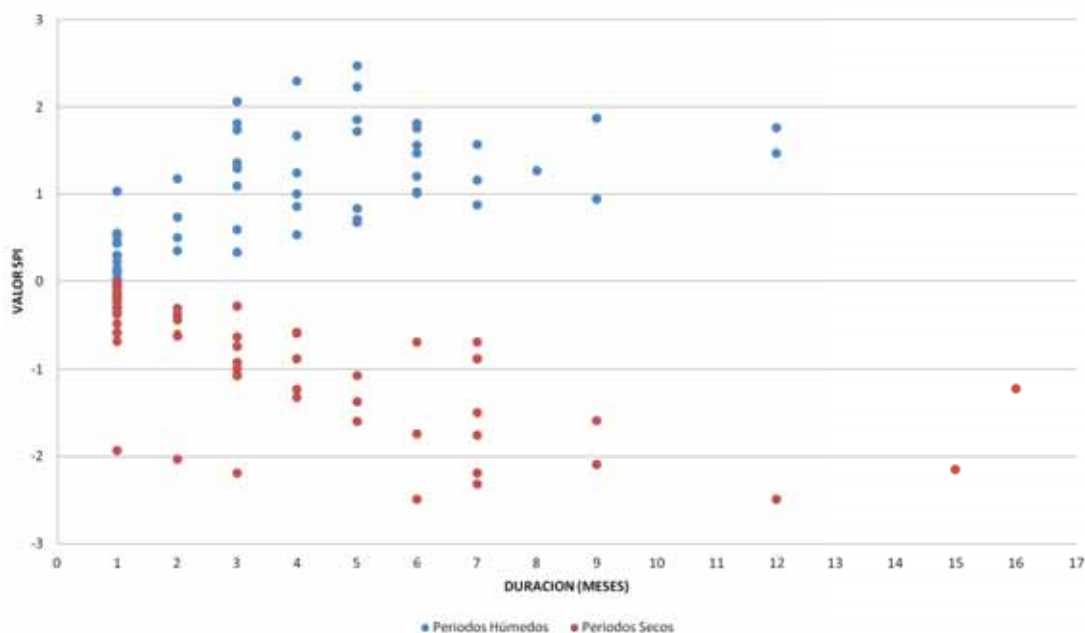


Figura 7. Duración de periodos húmedos y secos con SPI de 3 meses en Sardinás periodo 1971-2008.

cena de junio de 1980 se registró la máxima de las temperaturas mínimas históricas con 17.2 °C. El segundo periodo duró seis meses consecutivos, desde enero de 1991 hasta junio de 1991; en éste se registró una magnitud promedio de -0.86, con una ligera posibilidad de ser influido por un evento "El Niño" de abril de 1991 a agosto de 1992, observándose un incremento en las frecuencias de las sequías extremas de acuerdo al Cuadro 5.

El exceso de humedad más importante fue de cinco meses consecutivos desde enero de 1992 hasta mayo de 1992, en el cual se registró un SPI máximo de 2.47, la magnitud fue de 6.88 y la magnitud promedio de 1.37; posiblemente influido por un evento "El Niño" que se extendió de abril de 1991 hasta agosto de 1992, incrementando el exceso de humedad (Cuadro 6). De acuerdo con Pedro (2011), en la segunda decena de enero de 1992 se registró la mínima de las temperaturas máximas históricas con 10.9 °C, posiblemente influida por este exceso de humedad tan extremo.

## CONCLUSIONES

El análisis de la información pluviométrica histórica y reciente de la estación meteorológica Sardinias, permitió evidenciar una serie de cambios en el régimen de las precipitaciones pluviales que pueden asociarse con fenómenos climáticos.

Los periodos más lluviosos o secos pueden ser influidos por "El Niño" o "La Niña", que presentan una importante recurrencia de acuerdo al Índice Estandarizado de Precipitación (SPI). La intensidad de los eventos de humedad y de sequía excesivas tiende a incrementarse en los años recientes.

El análisis de los periodos de lluvia intra-anual muestra que los periodos de años recientes están desfasados del periodo histórico y que además son cada vez más fraccionados en su tiempo de duración.

Es pertinente mencionar, como perspectiva, la necesidad de incrementar y profundizar este tipo de investigación en México que actualmente capta la atención internacional por su relevancia científica global.

## LITERATURA CITADA

- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2006. Base de Datos Meteorológicos, Hidrológicos y de Almacenamiento en Presas de la Cuenca Nazas-Aguanaval. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Dirección Técnica Organismo de Cuenca. México.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2007. Base de Datos

Meteorológicos, Hidrológicos y de Almacenamiento en Presas de la Cuenca Nazas-Aguanaval. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Dirección Técnica Organismo de Cuenca. México.

CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2008. Base de Datos Meteorológicos, Hidrológicos y de Almacenamiento en Presas de la Cuenca Nazas-Aguanaval. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Dirección Técnica Organismo de Cuenca. México.

CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2011. Ciclones tropicales que impactaron a México de 1970 a 2008. URL: <http://smn.cna.gob.mx>. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Servicio Meteorológico Nacional. México. Consultado el 24 de octubre de 2011.

GIDDINGS L., B.; SOTO, M.; RUTHERFORD, M.; MAAROUF, A. 2005. Standardized Precipitation Index for Mexico. Atmosfera. Vol 15. Núm. 2. 33-56.

IMTA (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua). 2006. Extractor Rápido de Información Climatológica v.1.0. Software. Jiutepec Morelos, México.

LÓPEZ L., V. M. 2009. Cambio climático y calentamiento global: ciencia, evidencias, consecuencias y propuestas para enfrentarlos. Ed. Trillas, México 227 pp.

McKEE, T. B.; DOESKEN, N. J.; KLEIST, J. 1993. The relationship of drought frequency and duration of time scales. Eighth Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society, Jan 17-23, Anaheim CA, USA 179-186.

NOAA (National Oceanic & Atmospheric Administration), URL: <http://www.noaa.gov>. Consultado el 10 de junio de 2011.

SÁNCHEZ COHEN, I.; DÍAZ PADILLA, G.; ESTRADA AVALOS, J.; CUETO WONG, J. 2008. Incertidumbre climática y toma de decisiones. Consideraciones de riesgo y vulnerabilidad social. Folleto Científico Núm. 25 INIFAP CENID-RASPA. Gómez Palacio, Durango. México. 55 pp.

PEDRO MÉNDEZ, M. 2011. Análisis de información climática reciente para el estudio de la temperatura en la Cuenca alta del río Nazas en el contexto del cambio climático global. Tesis Profesional. Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Universidad Autónoma Chapingo. Bermejillo, Durango. México. 168 pp.

WILKS, D. S. 1995. Statistical Methods in the Atmospheric Sciences. Department of Soil Crop and Atmospheric Sciences. Academic Press. Ithaca New York. 467 pp.