



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

**MODELO ESTOCÁSTICO EN RIESGO PARA
DESASTRES MEDIOAMBIENTALES**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

A C T U A R I O

P R E S E N T A

CASTOR MAURICIO RUEDA GARCÍA

Tutor

ACT. JOSÉ FABIÁN GONZÁLEZ FLORES

2013



1. Datos del alumno

Rueda
García
Castor Mauricio
53187094
Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ciencias
306116896

2. Datos del Tutor

Actuario
José Fabián
González
Flores

3.- Sinodal 1

Maestra en Finanzas
Irma Rocío
Villa
Valles

4. Sinodal 2

Doctora
María del Pilar
Alonso
Reyes

5. Sinodal 3

Actuario
José Fabián
González
Flores

6. Sinodal 4

Doctora
María Cristina
Gutiérrez
Delgado

7. Sinodal 5

Doctora
Laura Elena
Gloria
Hernández

Título

Modelo estocástico en riesgo para desastres medioambientales
97 Páginas
2013

Agradecimientos

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por la formación académica, por todas las experiencias vividas y aprendidas allí.

Mi más sincero agradecimiento a mi tutor, Act. Fabián González y mi cotutor, Dr. Ramiro Sánchez, por brindarme la oportunidad y confianza de pertenecer al grupo de trabajo, por tener la paciencia para guiarme en esta parte de mi vida y también por los gratos momentos a lado de ustedes.

A los sinodales, M. en F. Irma Rocío Villa Valles, Dra. María del Pilar Alonso Reyes, Dra. María Cristina Gutiérrez Delgado y Dra. Laura Elena Gloria Hernández por dedicar el tiempo para realizar aportaciones, recomendaciones y compartir su experiencia, por realizar preguntas y comentarios que enriquecieron este trabajo.

A todas las personas que hicieron posible este trabajo.

Gracias

Dedicatorias

A ti, Sonia, mi querida madre, que colocaste todo su apoyo y confianza incondicional. Quien me ha guiado por el camino correcto y por brindarme todo su amor.

A ti, Sory, mi hermanita, por ser mi apoyo y amiga incondicional, con quien a su lado comparto el camino de la vida.

A ti, Rafael, mi estimado padre y amigo, por estar siempre conmigo.

A ti, Ricardo, mi gran tío, por ser la persona que me motiva por más aventuras y ser mi ejemplo de persona.

A ti, Noé, por los consejos y atinados comentarios.

A ti, María, mi abuelita, por haber compartido historias inimaginables, a quien llevo en mi corazón.

A ti, Karina, por ser una mujer que me ha enseñado cosas lindas y locas.

A ustedes, amigos por ser parte de mi familia, por compartir dichas y desventuras.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Castor Mauricio', with a long horizontal stroke extending to the right.

Castor Mauricio

Índice

Índice de cuadros	I
Índice de figuras	II
Introducción.....	1
Capítulo 1 Los desastres medioambientales en México.....	5
1.1 Cronología de los desastres medioambientales e hidrológicos más representativos registrados y sus impactos	6
1.2 Sequías	10
1.2.1 Clasificación de las sequías.....	13
1.2.2 Índices para medir la sequía.....	15
1.3 Inundaciones	17
1.3.1 Clasificación de las inundaciones de acuerdo a su origen	17
1.3.2 Clasificación de las inundaciones por el tiempo de respuesta de la cuenca	21
1.4 El Protocolo de Kyoto de la Convención de las Naciones Unidas	23
1.5 Estrategias gubernamentales para la prevención de desastres medioambientales	25
1.5.1 Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012	25
1.5.2 Centro Nacional para la Prevención de Desastres (Cenapred)	27
Capítulo 2 Descripción del modelo estocástico para desastres medioambientales	28
2.1 Definición de problema.....	28
2.2 Modelo de Jump Diffusion de Merton.....	29
2.2.1 Solución a la ecuación del modelo de difusión con saltos	30
2.3 Descripción de los datos.....	35
2.4 Relación del SPI con el proceso de difusión con saltos	38
Capítulo 3 Estimación de la cantidad de los afectados, fallecidos, heridos y casas destruidas a causa de sequías e inundaciones.....	39
3.1 Estimación de los parámetros y simulación a nivel nacional	39
3.2 Escenarios para la simulación de sequías e inundaciones	44
3.2.1 Escenarios para las sequías	45
3.2.1.1 Afectados por las sequías.....	45
3.2.1.2 Muertos por las sequías	47
3.2.1.3 Heridos por las sequías	49
3.2.2 Escenarios para las inundaciones.....	51
3.2.2.1 Afectados por las inundaciones	52
3.2.2.2 Muertos por las inundaciones.....	54
3.2.2.3 Heridos por las inundaciones	56
3.2.2.4 Casas destruidas.....	58
Conclusiones	61
Anexo A Construcción de la Integral de Itô	63
Anexo B Metodología del índice de precipitación estandarizado SPI	71
Anexo C Tablas	75

Glosario.....	92
Bibliografía.....	93
Referencias	96
Páginas web	97

Índice de cuadros

Cuadro 1 Grandes desastres naturales en México, número de muertos 1970–2008. Mayores o iguales a 50 muertos.....	8
Cuadro 2 Índices de sequías	16
Cuadro 3 Clasificación de las lluvias según su intensidad en 24 h	18
Cuadro 4 Valor de los parámetros para los distintos meses del SPI	42
Cuadro 5 Valor de los parámetros para el SPI y número de afectados con distintos umbrales.....	47
Cuadro 6 Valor de los parámetros para el SPI- 1mes y el número de muertos con distintos umbrales	49
Cuadro 7 Valor de los parámetros para SPI 1-mes y el número de heridos con distintos umbrales .	51
Cuadro 8 Valor de los parámetros para SPI- 1 mes y el número de afectados con distintos umbrales	54
Cuadro 9 Valor de los parámetros para SPI- 1 mes y el número de muertos con distintos umbrales	56
Cuadro 10. Valor de los parámetros para SPI- 1 mes y el número de heridos con distintos umbrales	58
Cuadro 11 Valor de los parámetros para SPI- 1 mes y el número de casas destruidas con distintos umbrales	60
Cuadro B.1 Probabilidad acumulada y categoría según el valor de SPI	74
Cuadro C.1 Estaciones de monitoreo de la República Mexicana	75
Cuadro C.2 Valor promedio de SPI-1 mes para la República Mexicana.....	79
Cuadro C.3 Valor promedio de SPI-2 mes para la República Mexicana.....	80
Cuadro C.4 Valor promedio de SPI-3 mes para la República Mexicana.....	82
Cuadro C.5 Valor promedio de SPI-6 mes para la República Mexicana.....	84
Cuadro C.6 Valor promedio de SPI-9 mes para la República Mexicana.....	86
Cuadro C.7 Valor promedio de SPI-12 mes para la República Mexicana.....	87
Cuadro C.8 Valor promedio de SPI-24 mes para la República Mexicana.....	89

Índice de figuras

Figura 1 Principales desastres ocurridos en México, 1980-2002 (Millones de dólares)	6
Figura 2 Porcentaje de precipitación mensual relativa promedio del año 1903 al 2000.....	12
Figura 3 Distribución de las estaciones de monitoreo en la República Mexicana	36
Figura 4 Valores promedio anuales del SPI	37
Figura 5 Valores promedio anuales del SPI-1 mes, julio y agosto	43
Figura 6 1000 Simulaciones para valores de SPI- 1mes, Junio	44
Figura 7 Personas afectadas por las sequias, 1970 al 2011.....	45
Figura 8 Afectados en la República Mexicana a causas de las sequías de 1970 al 2011	46
Figura 9. Muertos a consecuencia de las sequias, 1970 al 2011.....	48
Figura 10 Muertos en la República Mexicana a causa de las sequías de 1970 a 2011	48
Figura 11 Heridos a consecuencia de las sequías de 1970 al 2011	50
Figura 12 Heridos en la República Mexicana a causa de las sequías de 1970 al 2011	50
Figura 13 Personas afectados a causa de las inundaciones de 1970 al 2011	52
Figura 14 Afectados en la República Mexicana a causa de las inundaciones de 1970 al 2011.....	53
Figura 15 Muertos a causa de las inundaciones de 1970 al 2011	54
Figura 16 Muertos en la República Mexicana a causa de las inundaciones de 1970-2011.....	55
Figura 17 Heridos a causa de las inundaciones de 1970 al 2011.....	56
Figura 18 Heridos en la República Mexicana a causa de las inundaciones de 1970-2011	57
Figura 19 Casas destruidas a causa de las inundaciones de 1970 al 2011	58
Figura 20 Casas destruidas en la República Mexicana a causa de las inundaciones de 1970-2011 ..	59
Figura B.1 Comparación de la distribución de densidad de una variable aleatoria que se distribuye Gamma con distintos parámetros	72

Introducción

El objetivo de esta tesis consiste en construir escenarios a través del modelo de saltos de difusión de Merton (modelo estocástico basado en tópicos de riesgo) para inferir pérdidas catastróficas provocadas por las sequías e inundaciones. Los desastres y eventos que se toman en cuenta para las simulaciones son los que ejercen un impacto significativo en términos de pérdidas humanas y de patrimonio en las comunidades rurales y urbanas que presentan mayor vulnerabilidad.

Los fenómenos hidrológicos, específicamente las sequías y las inundaciones, tienen grandes repercusiones sociales y económicas. Las sequías meteorológicas son la falta de lluvias o precipitaciones; si perduran se les llaman sequías hidrológicas, cuya principal característica es la desigualdad entre la disponibilidad natural de agua y la demanda natural del agua. Si surge un periodo largo de sequía, la sobrevivencia o el crecimiento de una economía se ven seriamente limitados debido a las condiciones del uso del agua; conforme la sequía se prolonga, las condiciones circundantes empeoran gradualmente y el impacto sobre la población local incrementa.

Las sequías se clasifican como: meteorológicas, agrícolas e hidrológicas. El fenómeno de sequía se observa desde tiempos antiguos; sin embargo, la información que se tiene de estos no es abundante para una recapitulación de los daños. En el siglo XX, de acuerdo con los registros existentes, México atravesó cuatro grandes periodos de sequías: 1948-1954, 1960-1964, 1970-1978 y 1993-1996. Los efectos económicos y sociales provocados por las sequías abarcaron la pérdida de siembras de maíz y algodón, cientos de animales muertos por sed, aumento en los precios de los artículos de primera necesidad, personas muertas por el calor y la disminución de los mantos acuíferos. El norte de la República Mexicana fue la zona más afectada: Durango, Nuevo León, Coahuila, Tamaulipas, Chihuahua, Veracruz y el Golfo de México. El año de 1998 fue crítico en la República Mexicana con una gran incidencia de incendios forestales; en el Distrito Federal se registró una temperatura histórica con un valor de 34.7° C.

En el año 2011 se registró la peor sequía en México en los últimos 70 años:

Las cifras de la Sagarpa revelan que en el año agrícola del 2011 sumaron 2.7 millones las hectáreas siniestradas en siete de los principales cultivos, sobre todo en Sinaloa, Zacatecas y Guanajuato.

La Comisión Nacional del Agua (Conagua) ha corroborado la condición de sequía en diferentes grados en 1,213 municipios de México, lo que permitió aprobar la declaratoria de emergencia

*en 1,174 de éstos. A nivel de entidades, 19 de los 32 estados de la República sufren los efectos de la peor sequía en décadas, entre los que destacan Coahuila, Chihuahua, Durango, San Luis Potosí y Zacatecas.*¹

Las sequías entre 1948 y 1996 provocaron afectaciones en 195 municipios en un área de 573,300 km² que representa el 29% del territorio nacional y una población de 9,913,699 habitantes que representan cerca del 10% de la población total. Los cinco estados más afectados durante el periodo 1988-1994 en el sector agrícola fueron: Chihuahua con 857,778 hectáreas dañadas; el estado de México con 556,059; Zacatecas con 530,752; Oaxaca con 522,496 y Durango con 482,581. Mientras que en el sector ganadero los estados más dañados fueron: Chihuahua con 100,070 cabezas de ganado; Sinaloa con 35,559; Baja California Sur con 34,980; Sonora con 32,985 y Coahuila con 28,796. Finalmente, en el sector forestal, las ciudades con los principales daños fueron: Chihuahua con 780 incendios y 59,561 hectáreas dañadas; el estado de México con 4,845 incendios y 51,363 hectáreas dañadas; Durango con 1,370 incendios y 125,998 hectáreas dañadas; Jalisco con 759 incendios y 63,140 hectáreas dañadas².

Existen modelos matemáticos aplicados por medio de programas de cómputo para la planeación y manejo del agua en varias partes de los Estados Unidos de América. Los modelos se pueden clasificar por categorías: para el pronóstico de la demanda de agua y el balance entre la oferta y la demanda; para los sistemas de distribución del agua; para la planeación del uso del agua; de escurrimientos en cuencas; de flujos hidráulicos; y de la calidad del agua en ríos y embalses. En México, no es común el uso de estos modelos matemáticos; por lo que es indispensable su elaboración así como su implementación; se requiere de una participación más activa tanto de instituciones de investigación como de un mayor apoyo de los sectores gubernamentales y sociales para lograr un mejor aprovechamiento del recurso agua.

Las inundaciones se caracterizan por la ocupación, por parte del agua, de zonas que la mayor parte del tiempo está libre de ésta; bien por desbordamientos de ríos y lagos, por elevación de las mareas por encima del nivel habitual o por tsunamis. Las inundaciones fluviales son procesos naturales que se producen periódicamente y que han sido la causa de la formación tanto de las llanuras en los valles de los ríos, como de las tierras fértiles donde se ha desarrollado la agricultura. En las zonas costeras los embates del mar han servido para modelarlas y crear zonas pantanosas como algunas lagunas que tras su ocupación atípica, se

¹ Fuente; <http://eleconomista.com.mx/sociedad/2012/01/22/mexico-umbral-sequia-historica>, 4/08/2013, José Luis Caballero, "México, en el umbral de una sequía histórica", **Sociedad, EL ECONOMISTA**, 23 Enero, 2012.

² Fermín García Jiménez, Oscar Fuentes Mariles y Lucía Guadalupe Matías Ramírez, "Sequías", **CENAPRED SERIE FASCÍCULOS**, México, mayo 2007, p.22.

han convertido en zonas vulnerables; de acuerdo con Salas y Jiménez: “Las inundaciones se definen de acuerdo con el glosario de hidrología, como: “aumento del agua por arriba del nivel normal del cauce”. En este caso, “nivel normal” se debe entender como aquella elevación de la superficie del agua que no causa daños, es decir, inundación es una elevación mayor a la habitual en el cauce, por lo que puede generar pérdidas.”³

La clasificación de las inundaciones se hace de acuerdo con su origen: pluviales, fluviales, costeras y por falla de infraestructura hidráulica.

Las principales causas de inundación en Tabasco en el 2007 fueron: un frente frío, numerosas precipitaciones, insuficientes obras de protección, cambio climático, desfogue de presas, asentamientos humanos en zonas bajas, azolvamientos de ríos y marea alta.

El Instituto Nacional de Estadística y Geografía en su censo de población y vivienda del año 2010 informa que el estado de Tabasco ocupa el 1.3 % del territorio nacional con 24,661 km², y cuenta con una población de 2'214,420 habitantes, de los cuales 1'088,670 son hombres y 1'125,750 mujeres. El 45% de los tabasqueños reside en localidades de menos de 2,500 habitantes, el 21.5% en localidades de 2,500 a 15 mil habitantes, el 16.6% en asentamientos de 15 mil a menos de 100 mil habitantes y, por último, el 16.9% en ciudades de más de 100 mil habitantes. Con respecto a su situación geográfica, Tabasco tiene el 33% del agua dulce del país. El sistema fluvial se constituye con los caudales del río Usumacinta, que es el más grande y caudaloso de la República, y el río Grijalva el segundo por su caudal; además cuenta con numerosos afluentes que desembocan en el Golfo de México. En el 2007 el estado de Tabasco sufrió una de las mayores catástrofes por inundación; de acuerdo con Leyva: “Dicho impacto del desastre refiere el informe de la CEPAL y el CENAPRED representó el 18.5 por ciento del Producto Interno Bruto estatal, tan sólo en el 2007, en Tabasco las inundaciones ocasionaron daños directos por 1,823.6 millones de dólares, 1,251.9 millones de dólares más en daños indirectos, lo que nos da un total de 3,075.5 millones de dólares, de ese tamaño es la magnitud, de esa dimensión fue lo que nos sucedió en nuestra Entidad.”⁴

De la información anterior se observa que Tabasco es muy vulnerable. La vulnerabilidad es la medida de la susceptibilidad de un bien expuesto a la ocurrencia de un fenómeno perturbador; en lo que respecta a dos bienes expuestos uno es más vulnerable si alguno de los dos sufre mayores daños ante la ocurrencia de fenómenos perturbadores con la misma intensidad.

³ Marco Antonio Salas Salinas y Martín Jiménez Espinosa, “Inundaciones”, **CENAPRED SERIE FASCÍCULOS**, México, mayo 2007, p.5.

⁴ Jorge A. Leyva, **CENAPRED evalúa daños en Tabasco 1ra parte**, El Heraldo de Tabasco, 30 de enero de 2010. <http://www.oem.com.mx/elsoldelbajio/notas/n1498732.htm>

La tesis se presenta *grosso modo* en tres capítulos:

Capítulo 1. En este capítulo se definen los fenómenos medioambientales; específicamente los fenómenos hidrológicos: sequías e inundaciones; se describen sus principales características, orígenes y consecuencias. También se presentan las medidas implementadas por el Gobierno para combatir los riesgos detectados.

Capítulo 2. Se plantean los problemas a simular y se desarrolla el proceso estocástico relativo al tópico de la teoría de riesgo. El planteamiento teórico que se utiliza es el modelo de Saltos de Merton para lo cual se propone una relación para determinar el nivel de severidad de los fenómenos hidrológicos.

Capítulo 3. Se lleva a cabo la simulación con el modelo propuesto. Las simulaciones realizadas se aplican particularmente a los fenómenos de sequías e inundaciones. Se plantea un diagnóstico viable para detectar poblaciones con mayor vulnerabilidad con el fin de aminorar el impacto de los desastres medioambientales que se manifiesten a futuro.

Capítulo 1

Los desastres medioambientales en México

Introducción

La República Mexicana se encuentra geográficamente ubicada en una zona expuesta a diversos riesgos naturales. Los fenómenos sísmicos son frecuentes dado que la República forma parte del Cinturón de fuego del Pacífico. Por su localización intertropical⁵, los huracanes se presentan en los litorales del Océano Pacífico, así como en los del Océano Atlántico. Además las lluvias intensas forman parte de los fenómenos naturales más frecuentes; éstas pueden provocar inundaciones y deslaves. Por el contrario, la escasez de lluvias por periodos largos dará lugar a sequías y consecuentemente a incendios que afectan al sector agrícola, ganadero y, por ende, a la economía del país.

Estos fenómenos se denominan desastres naturales o desastres medioambientales; es importante diferenciar estos desastres: no se debe confundir con el concepto de desastres antrópicos, es decir, desastres provocados por la actividad humana como accidentes nucleares, fugas de sustancias químicas, violencia e incendios. La declaración de emergencia, según la Cenapred, se manifiesta cuando en uno o varios municipios o delegaciones, específicamente una entidad en la cual existe el riesgo con una alta probabilidad de ocurrencia, se presenta un fenómeno perturbador de origen natural; el cual amenaza la seguridad de su sociedad.

La declaración de emergencia o desastre natural debe ser reconocida por la Secretaría de Gobernación. Existe una institución responsable para cada fenómeno geológico, hidrometeorológicos o para incendios. Cada institución es responsable del análisis, de la detección y prevención del riesgo, así como del seguimiento de las normas que se deben llevar a cabo en cada evento. Las instituciones responsables para dichas emergencias o desastres son: La Comisión Nacional del Agua, Conagua; El Centro Nacional de Prevención de Desastres, Cenapred y La Comisión Nacional de Incendios Forestales, Conafor.

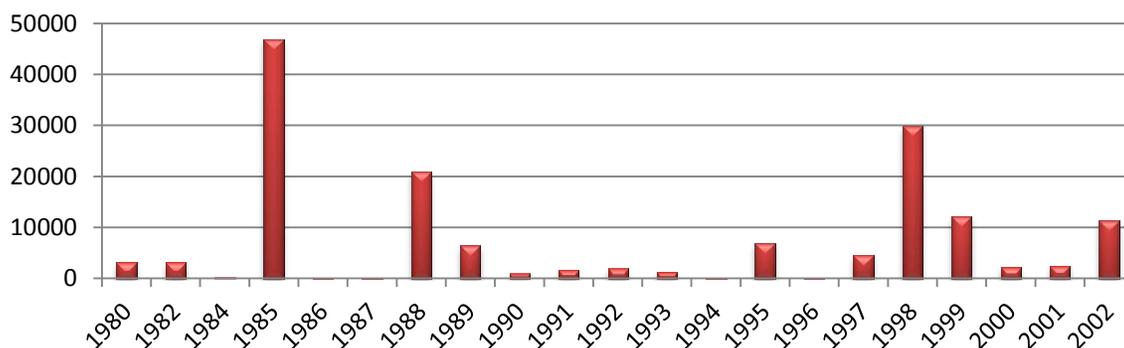
⁵ Se denomina zona intertropical a la franja que se ubica entre el Trópico de Cáncer (latitud de 23°26'16" al norte de ecuador) y el Trópico de Capricornio (latitud de 23° 26' 16" al sur del ecuador). http://es.wikipedia.org/wiki/Zona_intertropical 11 de agosto de 2013

De acuerdo con el Centro para la Investigación de la Epidemiología de los Desastres (CRED por sus siglas en inglés) se define el desastre natural como: "Una situación o acontecimiento que sobrepasa la capacidad local y que requiere de asistencia externa ya sea nacional o internacional; un acontecimiento imprevisto y a menudo repentino que causa grandes daños, destrucción y sufrimiento humano"⁶

1.1 Cronología de los desastres medioambientales e hidrológicos más representativos registrados y sus impactos

Los datos de los desastres naturales son escasos porque se presentan con poca frecuencia; no obstante, suceden con gran severidad. Las precipitaciones son más usuales por lo que se tiene una amplia información. Los conceptos de daños y pérdidas se pueden confundir fácilmente; el concepto de daños se refiere tanto a la destrucción de los bienes del sector público, como a la de los sectores privados y sociales. Generalmente los daños están valorados en costo de reposición según el valor de mercado. Mientras que las pérdidas son afectaciones en la producción de bienes y servicios resultado de la paralización de las actividades económicas ocurridas a consecuencia del desastre medioambiental. La figura 1 muestra el total de las pérdidas y daños ocasionados por los sucesos con mayor significancia para los años de 1980 - 2002 en el territorio mexicano.

Figura 1
Principales desastres ocurridos en México, 1980-2002
(Millones de dólares)⁷



⁶ "a situation or event which overwhelms local capacity, necessitating a request to a national or international level for external assistance; an unforeseen and often sudden event that causes great damage, destruction and human suffering", Guha-Sapir D, Vos F, Below R, with Ponserre S., *Annual Disaster Statistical Review 2001: The numbers and trend*, Brussels: CRED;2012, página 7, (Traducción propia).

http://www.cred.be/sites/default/files/ADSR_2011.pdf

⁷ Daniel Bitrán, "Metodologías para la evaluación del impacto socioeconómico de los desastres", Serie estudios y perspectivas, Cepal, México, D.F., Marzo 2009.p.30

En México uno de los desastres geológicos más trascendentes fue la erupción del volcán Chichonal en 1982 en el estado de Chiapas. La erupción volcánica consiste en la expulsión a la superficie terrestre de lava hirviendo desde el interior del volcán, acompañada de gases y fragmentos de piedras volcánicas. Los fragmentos más pesados caen cerca del volcán mientras que los más ligeros, como las cenizas volcánicas, pueden alcanzar grandes altitudes y ser desplazadas por los vientos a grandes distancias; por ejemplo, las cenizas expulsadas por el volcán Chichonal alcanzaron alturas de 24 km sobre el nivel del mar y fueron esparcidas sobre muchas ciudades de los estados de Tabasco, Campeche, parte de Oaxaca, Veracruz y Puebla. El riesgo de las cenizas volcánicas consiste en que pueden formar una gran nube obstruyendo la luz solar con daños a corto, mediano y largo plazo a la flora y fauna del entorno. La intensidad de los daños depende de la densidad y volumen de las cenizas arrojadas; además la ceniza es abrasiva y corrosiva por lo que puede provocar problemas respiratorios, oculares y epidérmicos.

Otro desastre importante fue el sismo de 1985 con epicentro en las costas de Michoacán y Guerrero con una magnitud de 8.1 según el Instituto de Geofísica de la UNAM, y con una duración de cuatro minutos. El sismo causó 20 mil muertos, 2,831 inmuebles afectados y daños por cinco mil millones de dólares.⁸

Años después azotó el huracán Paulina del 6 al 10 de octubre de 1997 los estados de Guerrero, Oaxaca y Chiapas⁹; presentó un nivel de precipitación de 411.2mm en 24 horas y provocó daños por 300 millones de pesos y más de 120 personas muertas.¹⁰

Recientemente se presentaron inundaciones y deslaves, en el año 2010, en los estados de Tabasco y Veracruz. En el estado de Tabasco las inundaciones causaron daños por 5,202.9 millones de pesos y pérdidas por 2,189.8 millones de pesos. Ese mismo año las lluvias e inundaciones provocadas por los huracanes Karl y Matthew en el estado de Veracruz causaron daños por 17,015.8 millones de pesos y pérdidas por 7,363.9 millones de pesos.¹¹

⁸ "El sismo del 19 de septiembre de 1985". Centro de Instrumentación y registro sísmico, A. C. http://www.cires.org.mx/1985_es.php

⁹ La naturaleza de los huracanes es arrastrar consigo enormes cantidades de humedad que al precipitarse, generalmente con mayor intensidad cuando el ciclón encuentra una barrera montañosa, provocan fuertes tormentas y deslizamientos de tierra.

¹⁰ Lucia Guadalupe Matías Ramírez, "Algunos efectos de la precipitación del huracán Paulina en Acapulco Guerrero" Investigaciones Geográficas Boletín 37, 10 Julio de 1998, p 7.

¹¹ CENAPRED, "Características e impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la República Mexicana en el año 2010." p. 262

Los datos históricos de los fenómenos que se han presentado son de vital importancia para tener una estadística verídica y amplia, para así estimar la frecuencia con la que se presentan los distintos fenómenos.

Los datos estadísticos nacionales se han escogido de la información proporcionada por “DesInventar” que es organismo encargado de recabar información sobre los desastres de todas las magnitudes y entornos: nacionales, locales y regionales. El cuadro 1 muestra los eventos ocurridos en México que provocaron la mayor cantidad de muertos desde el año 1970 hasta el año 2008.

Cuadro 1
Grandes desastres naturales en México, número de muertos 1970–2008.
Mayores o iguales a 50 muertos¹²

Fecha	Evento	Estado	Muertos
06/01/1970	Onda Fría	Puebla	236
24/07/1971	Ola de calor	Nuevo León	59
26/05/1973	Ola de calor	Nuevo León	55
02/06/1973	Ola de calor	Nuevo León	66
28/08/1973	Terremoto	Veracruz	700
28/08/1973	Terremoto	Puebla	390
16/07/1976	Inundaciones	Guanajuato	60
02/10/1976	Lluvia	Baja California Sur	400
29/04/1978	Ola de calor	Nuevo León	100
17/09/1979	Inundaciones	Campeche	75
24/10/1980	Terremoto	Oaxaca	60
08/10/1981	Tormenta	Sinaloa	58
12/10/1981	Inundaciones	Sinaloa	70
28/03/1982	Erupción	Chiapas	2000
19/09/1985	Terremoto	Distrito Federal	10000
19/09/1985	Terremoto	Jalisco	50
17/09/1988	Lluvia	Quintana Roo	50
20/09/1988	Lluvia	Nuevo León	130
21/09/1988	Hambruna	Morelos	60
01/08/1990	Lluvia	Yucatán	81
09/08/1990	Lluvia	Puebla	250
09/08/1990	Tormenta	Veracruz	66
22/09/1990	Inundaciones	Chihuahua	120

¹² Fuente: DesInventar. Generador de reportes para México. Se consideraron eventos y fenómenos naturales (avalancha, biológica, erupción, granizada, hambruna, helada, incendio forestal, inundación, lluvia, ola de calor, oleada, onda fría, sequía, terremoto, tormenta, tormenta de nieve, tormenta eléctrica, tornado y vientos fuertes) con un número de muertos mayor o igual a 50. <http://online.desinventar.org/> Consultado el 30 abril de 2013

Cuadro 1
Grandes desastres naturales en México, número de muertos 1970–2008.
Mayores o iguales a 50 muertos (Continuación)

Fecha	Evento	Estado	Muertos
23/09/1990	Inundaciones	Chihuahua	80
28/07/1991	Inundaciones	Jalisco	62
15/09/1995	Lluvia	Sinaloa	116
15/09/1995	Lluvia	Sonora	80
18/06/1996	Hambruna	Chihuahua	77
09/10/1997	Inundaciones	Oaxaca	94
10/10/1997	Lluvia	Guerrero	157
08/01/1998	Helada	San Luis Potosí	52
10/09/1998	Lluvia	Chiapas	57
12/09/1998	Lluvia	Chiapas	102
14/09/1998	Lluvia	Chiapas	119
01/10/1998	Inundaciones	Chiapas	193
16/01/1999	Helada	Estado de México	52
25/08/1999	Inundaciones	Tamaulipas	110
08/10/1999	Inundaciones	Veracruz	90
08/10/1999	Lluvia	Puebla	59
15/10/1999	Inundaciones	Veracruz	113
05/12/1999	Onda Fría	Chihuahua	882
16/01/2008	Onda Fría	Querétaro	53

En el cuadro anterior se observa que las inundaciones y lluvias son los eventos con más frecuencia, por lo tanto, susceptibles de ser analizados adecuadamente. Hay que resaltar que el registro en los últimos años ha aumentado debido al desarrollo de nuevas tecnologías para monitorear detalladamente los eventos ocurridos.

Las lluvias e inundaciones provocadas por los huracanes Karl, Matthew y Alex, el sismo de Mexicali y las lluvias, inundaciones y movimientos de ladera en el Estado de Chiapas son los que mayor número de muertos han causado, acumulando un porcentaje de 77.73% del total de los desastres registrados en el 2010. El huracán Karl fue el primer ciclón tropical de categoría tres; seguido por el huracán Alex sumando más de 21 mil millones de pesos en pérdidas y daños.

1.2 Sequías

Las sequías son un fenómeno hidrológico que se define como una condición de humedad insuficiente causada por un déficit en las precipitaciones durante un periodo de tiempo. Thomas B. McKeen en su artículo "*The relationship of drought frequency and duration to time scales*"¹³ ha propuesto una definición de sequía de acuerdo a la estandarización de las precipitaciones: es la diferencia de las precipitaciones de la media para un periodo de tiempo especificado dividido por la desviación estándar que se determina a partir de los registros históricos.

No existe una definición definitiva de sequía; la definición se hace de acuerdo al enfoque científico que se le dé y se clasifican como: meteorológica, hidrológica o agricultora.

Es natural relacionar la sequía con el ciclo del agua, cuyas alteraciones provocan daños que no se perciben en un corto plazo; estos daños se ven reflejados hasta que empiezan a ser notables, es decir, cuando se extiende por varias hectáreas y su duración es de meses o años. La duración de la sequía es impredecible por su misma naturaleza. Cuando el suelo posee mayor cantidad de humedad que la normal, el sol ocasiona que del suelo se evapore agua generando distintos tipos de nubes. Cuando estas nubes propician lluvias la intensidad dependerá del tipo de nubes formadas, como son las nubes *cumulus*¹⁴; no obstante si el suelo no posee la cantidad de humedad necesaria para producir grandes cantidades de nubes, los periodos de precipitación serán escasos, ocasionado grandes periodos de sequía.

Las sequías generan grandes pérdidas económicas debido a la baja actividad ganadera y/o agrícola. Los estados del norte de la República presentan sequías con mayor frecuencia, se distinguen los estados Chihuahua, Coahuila, Durango, Nuevo León y Baja California según el Cenapred.

En la figura 2 se observa el porcentaje de precipitación mensual relativa promedio para los doce meses del año 2000. Este porcentaje se calcula dividiendo el valor de precipitación acumulado en el mes y año de estudio entre el valor medio de la serie de datos disponibles.

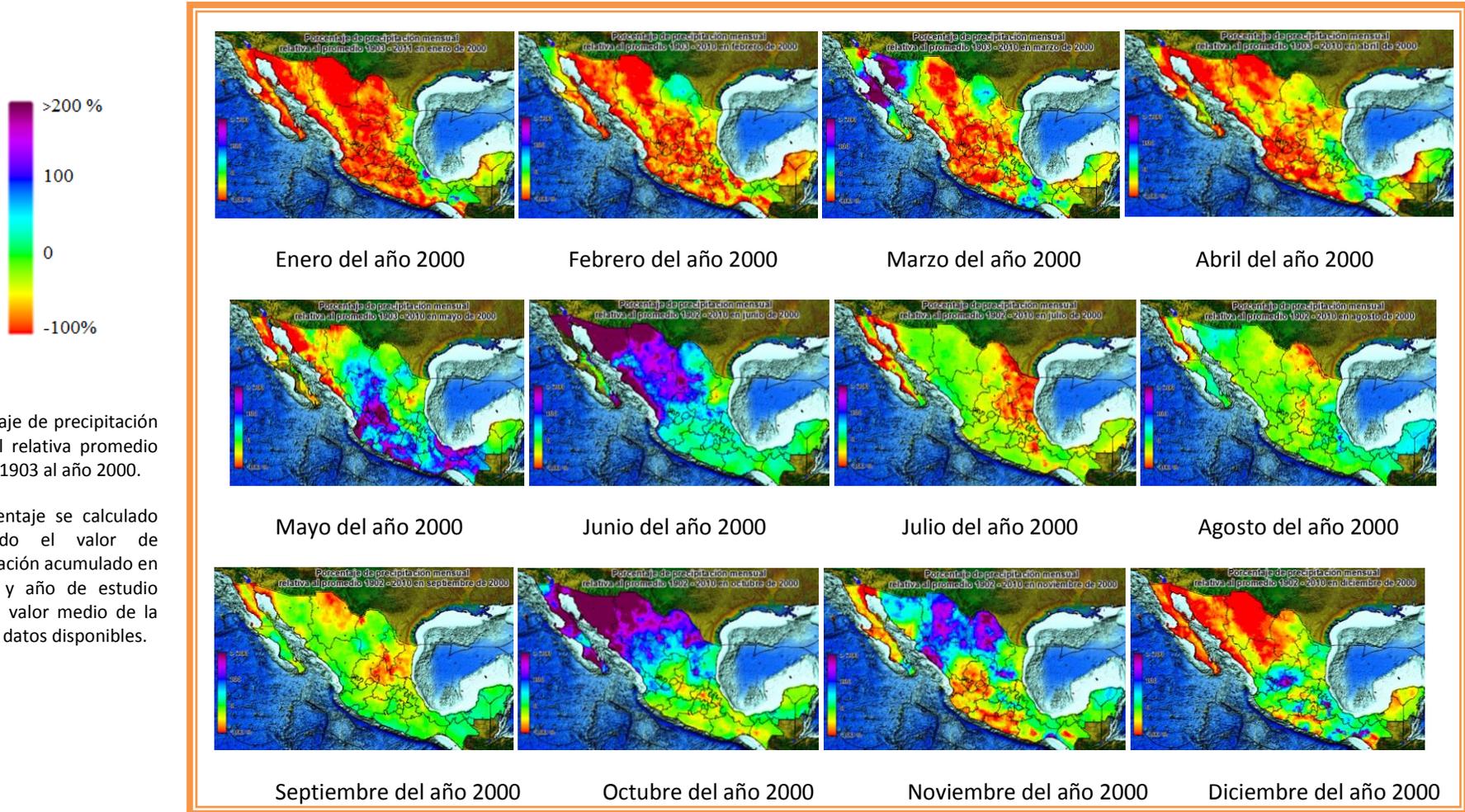
¹³ Thomas B. McKee, Doesken Nolan J, Kleist John "*The relationship of drought frequency and duration to time scales*", Departament of Atmospheric Sciencie, Colorado State University, Eight Conference on Applied Climatology, 17-22 Enero 1993

¹⁴ Los cúmulos o *cumulus* son un tipo de nube que exhibe considerable desarrollo vertical, tiene bordes claramente definidos. Los cúmulos más intensos están asociados con fenómenos de tiempo severo tales como granizo, trombas o mangas de agua y tornados. <http://es.wikipedia.org/wiki/C%C3%BAmulus> consultado 11 de agosto de 2013.

Se observa también que en los meses de enero hasta abril y diciembre del año 2000 son los meses con menor porcentaje de precipitación, desde el norte del país hasta la zona centro. Por el contrario en los meses de junio, octubre y noviembre se tiene mayor precipitación. Las sequías e inundaciones son consecuencias de largos periodos de ausencia o presencia, respectivamente, de las precipitaciones.

Los datos se obtuvieron del sitio web del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la Universidad Nacional Autónoma de México y se utilizaron los datos de porcentaje de precipitación mensual relativa al promedio del año 2000. Estos datos son los más actuales.

Figura 2
Porcentaje de precipitación mensual promedio del año 1903 al 2000
 (Variables terrestres, sequía meteorológica, porcentaje de precipitación promedio)



Porcentaje de precipitación mensual relativa promedio del año 1903 al año 2000.

El porcentaje se calculo dividiendo el valor de precipitación acumulado en el mes y año de estudio entre el valor medio de la serie de datos disponibles.

Fuente: <http://uniatmos.atmosfera.unam.mx/ACDM/servmapas>, Sequías, porcentaje de precipitación promedio, año 2000, mes enero, febrero, marzo, abril, mayo, junio, julio, agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre. (Consultado 10 de junio 21:30 hrs).

1.2.1 Clasificación de las sequías

Las sequías se clasifican de acuerdo a su enfoque científico: meteorológico, hidrológico y agricultor. Los efectos que provocan son un riesgo para la población. El riesgo se define como el daño potencial que puede ocurrir por el desarrollo de un evento e involucra tanto la probabilidad de que ocurra como las consecuencias que causaría. En la evaluación del riesgo, el tiempo es un componente fundamental porque puede cambiar tanto la cantidad y calidad de la información disponible como los factores que aumentan o disminuyen el riesgo y su probabilidad.

La vulnerabilidad es la característica de susceptibilidad inherente a un recurso, es decir, su grado de fragilidad o exposición natural. En términos cuantitativos, la vulnerabilidad de un recurso es una medida de la dificultad con que éste puede deteriorarse cuando se expone a un evento. La vulnerabilidad de un recurso puede variar para diferentes actividades o eventos.

Sequías meteorológicas

La sequía meteorológica se define en función del déficit de precipitación representado por el porcentaje anual o estacional de un largo periodo en comparación con la duración específica de una determinada región.

La definición de sequía meteorológica, según el fascículo de “Sequía” por el Cenapred: “La sequía se presenta cuando la precipitación acumulada, durante un cierto lapso, es significativamente más pequeña que el promedio de las precipitaciones registradas en dicho lapso o que un valor específico de la precipitación.”¹⁵

Actualmente, la sequía meteorológica está adquiriendo mayor severidad con respecto a otros fenómenos hidrometeorológicos; se espera que la frecuencia aumente debido al calentamiento atmosférico asociado al cambio climático global. México junto con otros países situados en la zona intertropical serán los más afectados por poseer altos niveles de radiación solar y evaporación.

¹⁵ Marco Antonio Salas Salinas y Martín Jiménez Espinosa, “Sequias”, **CENAPRED SERIE FASCÍCULOS**, México, mayo 2007, p.5.

Sequía agrícola

La sequía agrícola está relacionada con la sequía meteorológica y su impacto en los cultivos considera el proceso en términos de balance de humedad, es decir, evalúa la evaporación real, potencial y el déficit de agua en el suelo que a su vez depende de características físicas del mismo; o sea, los niveles de reserva de agua. La sequía agrícola afecta las características específicas del cultivo en cuanto a sus requerimientos de humedad en función de la etapa de crecimiento y la biología de la planta. Se plantea que este tipo de sequía puede presentarse posteriormente a una sequía meteorológica, pero antes que la sequía hidrológica.

Existen dos tipos de cultivos: de regadíos y de secanos¹⁶, los cuales se ven afectados de manera diferente ante una sequía agrícola. Los impactos de la sequía en cultivos regadíos suelen ser menos significativos. Mientras que los cultivos de secano dependen totalmente de las precipitaciones.

De acuerdo con el Cenapred se define las sequías agrícolas como: "... el período durante el cual la humedad en el suelo es insuficiente para que un cultivo dado pueda producir una cosecha".¹⁷

Sequía hidrológica

Finalmente la sequía hidrológica se refiere a los efectos de periodos nulos o cortos de precipitación, es decir, a los escurrimientos a nivel de superficie y subsuelo; su impacto se ve reflejado en las reservas de acuíferos, lagos y presas; y es de largo plazo, es decir, en tanto la sequía agrícola presenta un efecto inmediato en los cultivos, la sequía hidrológica puede afectar la producción agrícola de varios años, la producción hidroeléctrica o la extracción de agua del subsuelo.

El Cenapred la define como "... cuando existe un déficit de agua en los escurrimientos superficiales y subterráneo con respecto a la media mensual (o anual) de los valores que se han presentado en la zona".¹⁸

¹⁶ Cultivo regadío: consiste en el suministro de cantidades de agua a los cultivos. Cultivo secano: El ser humano no contribuye con agua, sólo se utiliza el agua que proviene de la lluvia. <http://es.wikipedia.org/wiki/Agricultura> consultado 11 de agosto de 2013

¹⁷ Marco Antonio Salas Salinas y Martín Jiménez Espinosa, "Sequías", **CENAPRED SERIE FASCÍCULOS**, México, mayo 2007, p.5.

1.2.2 Índices para medir la sequía

Los índices de sequía simplifican los datos para la toma de decisiones. En el caso de las sequías existen índices con propósitos específicos, por ejemplo, el índice de severidad de sequía de Palmer, PDSI por sus siglas en inglés, se utiliza en Estado Unidos para determinar el momento en el que las autoridades deben tomar medidas necesarias para mitigar la sequía. Funciona cuando se trabaja en áreas topográficamente uniformes, fue desarrollado por W. C. Palmer en el año de 1965. Palmer basó su índice en el concepto de oferta y demanda del balance de agua, teniendo en cuenta algo más que el déficit de precipitación en lugares específicos. El objetivo del PDSI es proporcionar mediciones de las condiciones de humedad normalizándolas, de manera que las comparaciones con este índice podrían hacerse entre lugares y entre meses.

El índice de humedad del cultivo, CMI por sus siglas en inglés, utiliza un enfoque meteorológico para llevar un registro de las condiciones de los cultivos de cada semana. Fue desarrollado por el mismo Palmer en el año 1968 a partir de procedimientos en el cálculo del PDSI. Dado que el PDSI registra periodos húmedos y secos meteorológicos a largo plazo, el CMI aprovechó la información de las condiciones de humedad a corto plazo en los principales cultivos de las regiones productoras.

El Índice de abastecimiento de agua superficial, SWSI por sus siglas en inglés, fue desarrollado por Shafer y Dezman en el año 1982 para complementar el PDSI. Shafer y Dezman diseñaron el SWSI como un indicador de las condiciones del agua de superficie, en el que la capa de nieve de montaña es un componente importante.

El índice de recuperación de sequía, RDI por sus siglas en inglés, se desarrolló por el *Bureau of Reclamation*, en el estado de Oklahoma en 1982, como una herramienta para definir la gravedad y la duración de la sequía como para predecir el inicio y final de los periodos de sequía.

El porcentaje de precipitación normal es una de las medidas más sencillas de precipitación para una localidad. Esta medida es fácilmente malentendida y proporciona condiciones diferentes, dependiendo de la ubicación y de la estación del año. Este porcentaje se calcula dividiendo la precipitación real entre la precipitación normal considerada como una media de 30 años y multiplicando por 100%.

¹⁸ Idem.

Gibbs y Maher desarrollaron otro método para el registro de los datos de precipitación en el año de 1967. Su objetivo era evitar algunas de las debilidades en el enfoque del porcentaje normal. La técnica consiste en dividir la distribución de sucesos en un registro de la precipitación a largo plazo en décimos de la distribución. A cada una de estas categorías se le llama decil. El primer decil es la cantidad de lluvia que no excede el 10% de las ocurrencias de precipitaciones. El segundo decil es la cantidad de precipitación que no supera el 20% de ocurrencias.

El índice de precipitación estandarizado, SPI por sus siglas en inglés, fue desarrollado por Tom McKeen *et al*, en 1993, para cuantificar el déficit de precipitación de múltiples escalas de tiempo. Estas escalas de tiempo reflejan el impacto de la sequía sobre la disponibilidad de los diferentes recursos de agua y, dada la naturaleza de este índice, se pueden identificar sequías con mayor anticipación en comparación con el PDSI.

El cuadro 2 resume los indicadores de sequía, el tipo de sequía y la información necesaria para calcular el índice.

Cuadro 2
Índices de sequías

Nombre	Sigla	Tipo de sequía	Información necesaria para el índice
Índice de severidad de Palmer	PDSI	Agrícola	<ul style="list-style-type: none"> • Precipitación • Temperatura • Humedad del suelo
Índice de humedad del cultivo	CMI	Agrícola	<ul style="list-style-type: none"> • Precipitación • Temperatura
Índice de abastecimiento de agua superficial	SWSI	Meteorológica Hidrológica	<ul style="list-style-type: none"> • Precipitación • Acumulación de nieve • Caudal • Almacenaje en embalses
Índice de recuperación de sequía	RDI	Hidrológica	<ul style="list-style-type: none"> • Precipitación • Temperatura • Acumulación de nieve • Caudal • Nivel de embalse
Porcentaje de precipitación normal Organización de los datos de precipitación mensual en deciles	DEC	Meteorológica	<ul style="list-style-type: none"> • Precipitación • Caudal
Índice de precipitación estandarizada	SPI	Meteorológica	<ul style="list-style-type: none"> • Precipitación

Fuente: Elaboración propia.

1.3 Inundaciones

Se forma una inundación si el agua cubre una zona del terreno durante un periodo de tiempo. Cuanto más tiempo permanece el agua y más grande es el espesor del volumen de agua provocara mayores daños.

La definición oficial de inundación de acuerdo con el glosario internacional de hidrología (OMM/UNESCO, 1974) es: "Aumento del agua por arriba del nivel normal del cauce". Se entiende por "nivel normal" aquella elevación de la superficie del agua que no causa daños, es decir, inundación es una elevación mayor a la habitual en el cauce, por lo que puede generar pérdidas.¹⁹

1.3.1 Clasificación de las inundaciones de acuerdo a su origen

La intensidad de precipitación no es la misma a lo largo del territorio en el que ocurre el fenómeno, ya que el nivel de precipitación en una zona será diferente si se compara con otra que se localiza a metros de distancia. Las precipitaciones, por lo tanto, se caracterizan de acuerdo a su altura o lámina, así se podrá comparar la altura de la lluvia desde diferentes punto de una cuenca; también se puede calcular un promedio de las precipitaciones, si se toma en cuenta el área, la cantidad de lluvia puede ser expresada en volumen precipitado para cualquier sub-área dentro de la cuenca estudiada. En el sistema métrico americano se mide en pulgadas, mientras que en México se expresa en milímetros (mm).

Para entender la naturaleza de las precipitaciones es necesario entender conceptos característicos de éstas como: caudal, gasto, periodo de retorno; así como sus unidades de medición y representaciones gráficas.

La definición de gasto o caudal es la cantidad de escurrimiento de agua que pasa por un sitio fijo en un tiempo determinado; se usa para determinar el volumen que fluye en un río. Las unidades del caudal son metros cúbicos por segundo (m^3 / s), cuando se trata de grandes caudales, como en los principales ríos del país, o litros por segundo (*lps*) usado frecuentemente para pequeños caudales.

¹⁹ Marco Antonio Salas Salinas y Martín Jiménez Espinosa, "Inundaciones", **CENAPRED SERIE FASCÍCULOS**, México, mayo 2007, p.5.

Un pluviógrafo o pluviómetro mide la intensidad de la lluvia expresada en láminas de lluvia, generalmente se desea conocer la cantidad de precipitación acumulada durante un día. En ocasiones la lluvia se expresa en volumen por unidad de área, normalmente, (l / m^2) , es equivalente a expresarlo en milímetros (mm), es decir, un litro caído en un metro cuadrado alcanzaría una altura de 1 mm.

La cantidad de lluvia que se precipita en cierto tiempo es conocida como la intensidad de la precipitación (altura de precipitación por unidad de tiempo). Sus unidades son mm/h, mm/día, etc.

Cuadro 3
Clasificación de las lluvias según su intensidad en 24 h

Clasificación	Intensidad
Lluvias intensas	Lluvia mayor de 70 mm
Lluvias muy fuertes	Lluvia entre 50 y 70 mm
Lluvias fuertes	Lluvia entre 20 y 50 mm
Lluvias moderadas	Lluvia entre 10 y 20 mm
Lluvias ligeras	Lluvia entre 5 y 10 mm
Lluvias escasas	Lluvia menor a 5 mm

Fuente: Fascículo "Inundaciones" CENPAPRED

Se utiliza generalmente un hietograma para visualizar la variación de la altura o de la intensidad de la precipitación en intervalos de tiempo. Mientras que el hidrograma representa la variación continua del caudal en el tiempo. El área bajo la curva en el hidrograma es el volumen de agua que ha escurrido durante el lapso entre dos instantes.

En la medición de las inundaciones el periodo de retorno es el tiempo promedio que debe durar para que se presente un evento de igual o mayor magnitud. El tiempo se registra en años, y la magnitud del evento puede ser escurrimiento, expresado como un cierto gasto, una lámina de precipitación o una profundidad de inundación.

La cuenca es una zona de la superficie terrestre donde, si fuera impermeable, las gotas de lluvia que caen sobre ella tenderían a ser drenadas por el sistema de corrientes hacia un mismo punto de salida. En realidad, el terreno no es impermeable, por lo que un porcentaje del volumen de lluvia se absorbe por el suelo, otro es atrapado en pequeñas depresiones del terreno, formando charcos, otro queda sobre la vegetación y otra parte escurre hacia los ríos y arroyos. Usualmente el área de una cuenca se expresa en km^2 .

La regulación de los escurrimientos permite disminuir los gastos máximos y aumentar los gastos mínimos en los ríos. Cuando se trata de precipitaciones extraordinarias, resulta difícil

atenuar los gastos máximos y sólo se logra mediante la construcción de embalses reguladores o presas.

Las clasificaciones de las inundaciones más comunes obedecen a su origen, o bien, al tiempo que tardan en presentarse sus efectos.

Inundaciones pluviales

De acuerdo a su origen las inundaciones a consecuencia de la precipitación, se presentan cuando el terreno se ha saturado y el agua de lluvia excedente comienza a acumularse, pudiendo permanecer horas o días; su principal característica es que el agua acumulada es agua precipitada sobre esa zona.

La causas de precipitación son: el vapor de agua, al condensarse en las capas altas y frías de la atmósfera, se transforma en nubes que se presentan en diversas formas: *cumulos*, *cirrus*, *stratos* y *nimbus*²⁰; de acuerdo con el contenido de vapor de agua que se condensa, se convierte en gotas de agua que al estar suficientemente grandes aumentan su peso y velocidad, haciendo que se precipiten en forma de lluvia. Los orígenes de las precipitaciones se deben a ciclones tropicales, lluvias orográficas, invernales y convectivas.

La República Mexicana es afectada por precipitaciones originadas por diferentes fenómenos hidrometeorológicos. De junio a octubre las lluvias más intensas están asociadas con la acción de ciclones tropicales que afectan gran parte del territorio nacional; los ciclones tropicales transportan grandes cantidades de humedad, que pueden provocar tormentas de larga duración y llegar a abarcar grandes extensiones; por lo que son causa de inundaciones en las principales cuencas del país, principalmente en aquéllas que se extienden hacia el Golfo de México o al Océano Pacífico.

En cambio, durante el invierno las lluvias invernales o frentes fríos son la principal fuente de lluvia; consisten en el desplazamiento de frentes de aire frío originarios de la zona norte. En el país la zona más afectada por este tipo de fenómenos es la noroeste, donde se originan

20 Los nombres oficiales de los diferentes tipos de nubes se dan en latín: Cúmulos (*Cumulus*) y Estratos (*Stratus*), nubes de desarrollo vertical y nubes estratificadas respectivamente ambos tipos surgen en días soleados. Nimbos (*Nimbus*) y Cirros (*Cirrus*), nubes capaces de formar precipitaciones y nubes de cristales de hielo respectivamente ambos tipos son de días de tormenta.

http://es.wikipedia.org/wiki/Nube#Tipos_y_clasificaci.C3.B3n_de_nubes Consultado el 11 de agosto de 2013.

precipitaciones importantes; sin embargo, también afectan la vertiente del Golfo de México y la península de Yucatán.

Las lluvias orográficas aumentan la intensidad de las precipitaciones a causa del encuentro del aire húmedo contra un obstáculo orográfico, como una montaña.

Finalmente, las lluvias convectivas presentan como característica principal tormentas de corta duración y poca extensión, pero muy intensas. Se forman con el ascenso de aire húmedo y cálido originando nubes con gran cantidad de lluvia. Se originan por el calentamiento de la superficie terrestre, ya que algunas áreas de la superficie de la tierra absorben mejor que otras los rayos solares. El aire en contacto con esas zonas cálidas llega a calentarse más, lo que da lugar a corrientes verticales por las que asciende el aire caliente húmedo. Cuando estas corrientes llegan a la capa de la tropósfera, se enfrían bruscamente, y se produce la condensación del vapor de agua. Se forman entonces nubes densas del tipo cúmulos o nubes macizas.

Inundaciones fluviales

Las inundaciones fluviales se originan por el desbordamiento de los ríos sobre terrenos cercanos a ellos. El agua que se desborda sobre los terrenos adyacentes corresponde a precipitaciones registradas en cualquier parte de la cuenca y no necesariamente a la lluvia sobre la zona afectada.

Las inundaciones fluviales con mayor impacto son a causa de los ríos con mayor longitud o ríos que lleguen a planicies costeras; por eso es importante tener una constante observación del volumen que escurre sobre el terreno a través de los cauces y del incremento en el área de aportación de la cuenca.

Inundaciones costeras

Las inundaciones costeras se presentan cuando el nivel medio del mar asciende debido a la marea. El mar penetra tierra adentro, en las zonas costeras, generando el cubrimiento de grandes extensiones de terreno.

La marea de tormenta se genera por los vientos de los ciclones tropicales sobre la superficie del mar y por la disminución de la presión atmosférica en el centro de estos meteoros.

Inundaciones a causa de falla en la infraestructura hidráulica

La inundación más grave que las anteriormente mencionadas son por fallas de infraestructura; si la capacidad de las obras destinadas para protección es insuficiente, la inundación provocada por la falla de dicha infraestructura es mayor que si no existieran obras.

La frecuencia de este tipo de inundaciones ha sido escasa. Es importante evitar el desbordamiento de materiales sueltos (tierra y roca) en las presas, ya que en caso de que ocurra, en pocas horas, provocaría la destrucción de la presa y el gran volumen de agua almacenado en su represa sería descargado de manera súbita, de modo que esa descarga repentina provocaría considerables fuerzas de arrastre, superando la capacidad del cauce y provocando daños muchas veces mayores a los ocasionados sin la existencia de la obra.

Las fallas que se presentan en las obras debido a su mal funcionamiento hidráulico poseen características definidas:

Un diseño escaso es consecuencia de la falta de información hidrológica en la cuenca o de la climatología misma que afecta la región, y también lo es el uso de criterios o metodologías inadecuados u obsoletos para el diseño de las obras.

La mala operación de las compuertas de las preses y el uso indebido de éstas.

La falta de mantenimiento o término de la vida útil de la presa o sus componentes puede ser origen de fallas.

Las filtraciones a través del cuerpo de las cortinas son indicios de una falta de mantenimiento, posiblemente porque las estructuras llegaron al término de su vida útil (entre 50 y 100 años). Un punto importante es el referente a las modificaciones provisionales con piezas no originales, ya que alteran su funcionamiento hidráulico original.

1.3.2 Clasificación de las inundaciones por el tiempo de respuesta de la cuenca

La respuesta hidrológica de una cuenca depende de sus características fisiográficas. Básicamente se han definido dos grupos: inundaciones lentas e inundaciones rápidas. Lo anterior significa que en cuencas cuya respuesta hidrológica es lenta se generan avenidas en un tiempo relativamente largo (del orden de varias horas o días); en ellas ocurren principalmente daños materiales. Mientras que cuando la inundación se forma en poco

tiempo (desde unos cuantos minutos, hasta un par de horas) se llama inundación súbita, causando, principalmente, la pérdida de vidas humanas.

Inundaciones lentas

Las inundaciones lentas se producen cuando las precipitaciones saturan el terreno y este no absorbe más agua de lluvia, el volumen remanente escurre por los ríos y arroyos o sobre el terreno. Conforme el escurrimiento avanza hacia la salida de la cuenca se incrementa proporcionalmente con el área drenada; si el volumen que fluye por el cauce excede la capacidad de éste, se presentan desbordamientos sobre sus márgenes y el agua desalojada puede permanecer horas o días sobre el terreno inundado.

Este evento se presenta comúnmente en zonas donde la pendiente del cauce es pequeña y, por ende, la capacidad de los ríos disminuye considerablemente provocando desbordamientos que generan inundaciones en las partes aledañas.

Inundaciones súbitas

Las inundaciones súbitas son el resultado de lluvias repentinas e intensas que ocurren en áreas específicas. La característica principal es que pueden ocasionar que pequeñas corrientes se transformen, en periodos de tiempo cortos (en minutos), en violentos torrentes capaces de causar impactantes daños.

Las zonas urbanas son usualmente sitios donde se presenta este tipo de desbordamientos, como consecuencia de la deforestación y la pseudo-cubierta impermeable formada por los edificios y calles, es decir, todo el volumen fluvial no puede absorberse y se convierte en escurrimiento. Así, donde antes una tormenta humedecía la tierra, regaba la hierba y los árboles, ahora bastan unos cuantos minutos para generar un desbordamiento que arrastra todo lo que encuentra a su paso.

La diferencia entre inundaciones lentas e inundaciones súbitas es el tiempo que tardan en manifestarse los efectos desde que comienza a llover hasta que se genera el escurrimiento. Una manera de caracterizar este tiempo es mediante el llamado tiempo de concentración, que es una característica de cada cuenca. Las inundaciones súbitas son responsables de un mayor número de muertes, su clasificación se establece de acuerdo con el tiempo de respuesta de las instituciones de protección civil.

1.4 El Protocolo de Kyoto de la Convención de las Naciones Unidas

El protocolo de Kyoto sustituyó el 29 de abril de 1998 a la convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático. Este es el elemento internacional jurídico con mayor importancia para combatir el cambio climático. Este protocolo compromete a los países industrializados a reducir sus emisiones de gases responsables del calentamiento global. El objetivo es reducir las emisiones totales en al menos un 5% en los países desarrollados respecto a los niveles de 1990 en un periodo de cuatro años, a partir de 2008 hasta el año 2012.

En 1998 la Comunidad Europea firmó el Protocolo, y en diciembre de 2001, el Consejo Europeo de Laeken confirmó la voluntad de la Unión de que el Protocolo de Kyoto entrara en vigor antes de la cumbre mundial de desarrollo sostenible de Johannesburgo (del 26 de agosto al 4 de septiembre).

El Protocolo de Kyoto se aplica a las emisiones de seis gases de efecto invernadero: dióxido de carbono (CO_2); metano (CH_4); óxido nitroso (N_2O); hidrofluorocarbonos (HFC); perfluorocarbonos (PFC); hexafluoruro de azufre (SF_6). El Protocolo representa un importante avance en la lucha contra el calentamiento del planeta, ya que contiene objetivos obligatorios y cuantificados de limitación y reducción de gases de efecto invernadero.

Los Estados miembros de la Unión Europea que eran miembros antes de 2004 deberán reducir conjuntamente sus emisiones de gases de efecto invernadero en un 8 % entre los años 2008 y 2012. Los Estados miembros que se hayan incorporado a la UE después de esa fecha se comprometen a reducir sus emisiones en un 8 %, a excepción de Polonia y Hungría (6 %), así como de Malta y Chipre, que no se encuentran incluidos en el Anexo I de la Convención Marco.

Para el periodo anterior a 2008, las partes se comprometen a realizar progresos en el cumplimiento de sus compromisos, a más tardar, en el año 2005, y a facilitar las pruebas correspondientes.

El protocolo propone una serie de medios para alcanzar estos objetivos: reforzar o establecer políticas nacionales de reducción de las emisiones: aumento de la eficacia energética, fomento de formas de agricultura sostenibles, desarrollo de fuentes de energías renovables, etc. Y cooperación con las otras partes contratantes: intercambio de experiencias o información, coordinación de las políticas nacionales por medio de permisos de emisión, aplicación conjunta y mecanismo de desarrollo limpio.

Los Estados participantes en el Acuerdo establecerán un sistema nacional de estimación de las emisiones de origen humano y de absorción por sumideros de todos los gases de efecto invernadero (no regulados por el Protocolo de Montreal en 1987), a más tardar, un año antes del primer periodo de compromiso.

Hizo falta todo un año para que los países miembros de la Convención Marco sobre el Cambio climático acordado en el 9 de mayo de 1992, incorporaran un acuerdo con exigencias más estrictas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. La Convención entró en vigor en 1994, y ya en 1995 los gobiernos habían iniciado negociaciones sobre un protocolo, es decir, un acuerdo internacional vinculado al tratado existente, pero con autonomía propia. El texto del Protocolo de Kyoto se adoptó por unanimidad en 1997.

La principal característica del Protocolo es que tiene objetivos obligatorios relativos a las emisiones de gases de efecto invernadero para las principales economías mundiales que lo hayan aceptado. Se pretende reducir el total de emisiones de estos gases a un nivel inferior al 5% comparado al de 1990 en el periodo de compromiso comprendido entre el año 2008 y el 2012. Estos compromisos exigen importantes reducciones de las emisiones actualmente proyectadas. Se prevé el establecimiento de objetivos obligatorios futuros para los periodos de compromiso posteriores a 2012, los que se negociarán con suficiente antelación respecto a los periodos afectados.

Los compromisos contraídos en virtud del Protocolo varían de un país a otro. El objetivo global del 5% para los países desarrollados debe conseguirse mediante recortes (con respecto a los niveles de 1990) del 8% en la Unión Europea, Suiza y la mayor parte de los países de Europa central y oriental; 6% en el Canadá; 7% en los Estados Unidos (aunque posteriormente los Estados Unidos han retirado su apoyo al Protocolo), y el 6% en Hungría, Japón y Polonia. Nueva Zelanda, Rusia y Ucrania deben estabilizar sus emisiones, mientras que Noruega puede aumentarlas hasta un 1%, Australia un 8% (retiró su apoyo al Protocolo) e Islandia un 10%. La UE ha establecido su propio acuerdo interno para alcanzar su objetivo del 8% distribuyendo diferentes porcentajes entre sus estados miembros. Estos objetivos oscilan entre recortes del 28% en Luxemburgo y del 21% en Dinamarca y Alemania a aumentos del 25% en Grecia y del 27% en Portugal.

El acuerdo conocido como Puerta Climática de Doha prorroga hasta el año 2020 el compromiso del protocolo de Kyoto; que expiraba en diciembre 2012, esta decisión se pactó

en la Conferencia de Naciones Unidas del Cambio Climático. Al contrario, Rusia, Japón y Canadá no han accedido al nuevo compromiso.²¹

1.5 Estrategias gubernamentales para la prevención de desastres medioambientales

Las modificaciones al medio ambiente, por parte de la sociedad, aumenta o reduce la vulnerabilidad a los riesgos y desastres medioambientales, algunos factores que aumentan la vulnerabilidad son los cambios demográficos y económicos, la pobreza, la ignorancia de cómo se debe actuar ante un evento catastrófico, la insuficiente cultura de prevención, situaciones de riesgo no controladas por el estado, son elementos importantes en la estrategia gubernamental para combatir estos riesgos.

En los años 1990-1999 se lanzó el Decenio Internacional para la Reducción de los Desastres Naturales (DIRDN), con el propósito de difundir la importancia que representa la reducción de los desastres. A partir de DIRDN se ha estimulado que la acción humana sea de vital importancia para la respuesta ante los desastres naturales y la reducción de estos.

Se tiene que clasificar, debido a la naturaleza de su relación, el concepto de prevención y reducción de desastres. Se considera la prevención de los desastres como la adopción de medidas dirigidas a evitarlos, lo cual no siempre es posible. Así la reducción de desastres, incluye las medidas a ser adoptadas para reducir o delimitar su severidad. Sin embargo, la reducción de desastres incluye todas las medidas diseñadas para evitar o limitar el impacto hostil de los peligros naturales y de los desastres ambientales. Desde este punto de vista, entonces, la reducción de desastres incluye la prevención.

1.5.1 Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012

Este Plan Nacional de Desarrollo (PND) tiene como propósito establecer los objetivos, las estrategias y las prioridades nacionales. Estos deberán tener un rumbo y una dirección clara. Este plan representa el compromiso que el Gobierno Federal establece con los ciudadanos y que permitirá la rendición de cuentas (transparencia), que es una condición indispensable para un buen gobierno. El Plan establece los objetivos y estrategias nacionales que serán la base para los programas sectoriales, especiales, institucionales y regionales.

²¹ Fuente; <http://www.elmundo.es/elmundo/2012/12/08/natura/1354983553.html>, 29/08/2013, Agencias, "Acuerdo de mínimos para prolongar el Protocolo de Kioto hasta 2020", Natura, EL MUNDO.es, 8 Diciembre, 2012

Uno de los puntos relevantes que se toma en el PND es el cambio climático, donde el uso de combustibles fósiles y tecnologías industriales atrasadas, el cambio de uso del suelo y la destrucción de millones de hectáreas forestales provocan un aumento en la concentración de los gases de efecto invernadero en la atmósfera. De acuerdo con estimaciones de la comunidad científica, se requiere un esfuerzo global para reducir las emisiones, ya que de lo contrario, en el año 2100 las concentraciones de CO₂ en la atmósfera podrían generar una variación de la temperatura de entre 1.1 y 6.4°C²². Entre las posibles consecuencias de este calentamiento global están: la elevación de la temperatura de los océanos, la desaparición de glaciares, la elevación del nivel del mar, el aumento en la frecuencia e intensidad de fenómenos climatológicos extremos, como sequías e inundaciones debido a una mayor evaporación de agua y superficies oceánicas más calientes, entre otros. Este cambio afectaría severamente la disponibilidad de agua, la continuidad de los servicios ambientales que producen los ecosistemas y tendría importantes efectos en la salud humana.

Se estima que en el 2002 México generó aproximadamente 643,183 millones de toneladas de CO₂, volumen que lo sitúa dentro de los 15 principales países emisores con una contribución de alrededor del 1.5% de las emisiones mundiales. En lo que respecta a las fuentes responsables de emisiones, corresponde 61% al sector energético; 7% a los procesos industriales; 14% al cambio de uso de suelo (deforestación); 8% a la agricultura y 10% a la descomposición de residuos orgánicos, incluyendo las plantas de tratamiento de aguas residuales y los rellenos sanitarios.

Dentro del sector energético en particular, la generación de electricidad representa 24% de las emisiones; el uso de combustibles fósiles en el sector manufacturero y en la industria de la construcción 8%; el transporte 18%; los sectores comercial, residencial y agrícola 5%; y las emisiones fugitivas de metano durante la conducción y distribución del gas natural, otro 5%. México ejecutará acciones tendientes a disminuir los efectos del cambio climático fomentando la eficiencia en la generación y uso de energía, incluyendo el transporte, las energías renovables y el uso de tecnologías de bajas emisiones en los procesos industriales y en el transporte, así como frenando la deforestación y reduciendo las emisiones de otros gases de efecto invernadero.

Otra estrategia es el Programa Sectorial de Gobernación 2007-2012, en el cual se señala en su objetivo 2, "Fortalecer la prevención y atención oportuna de las situaciones de contingencia que enfrente el país"²³. Se propone garantizar la seguridad nacional y la integridad física junto

²² Plan Nacional de Desarrollo, 2007-2012, Poder Ejecutivo, Gobierno de los Estados Unidos Mexicanos, Presidente de la República, México 2007, p.259

²³ Diario oficial 28 de julio de 2008, p. 4

con el patrimonio mexicano; un punto crucial es impulsar medidas de adaptación a los efectos de cambio climático. Los informes de labores de la Secretaría de Gobernación incluirán los resultados alcanzados por este órgano gubernamental.

Con el fin de fortalecer la prevención de desastres naturales se creó la Escuela Nacional de Protección Civil en 2011, asimismo se establecieron los Lineamientos del Fondo para la Atención de Emergencias Fonden, el cual agiliza y transparenta el otorgamiento de recursos financieros. También se creó el Sistema Nacional de Alerta de Tsunamis (Sinat) en 2012 para vigilar y alertar sobre la ocurrencia de eventos que puedan afectar al territorio nacional. Para el tópic de ciclones tropicales y la temporada de lluvia la Segob instaló el Grupo Interinstitucional para Ciclones Tropicales y llevó a cabo la Reunión Nacional de Protección Civil para la Temporada de Lluvias y Ciclones Tropicales 2012, con más de mil participantes.

1.5.2 Centro Nacional para la Prevención de Desastres (Cenapred)

El Cenapred tiene como responsabilidad apoyar al Sistema Nacional de Protección Civil (Sinaproc) en los requerimientos técnicos que su operación solicita. El Cenapred realiza actividades de investigación, capacitación, instrumentación y difusión acerca de fenómenos naturales así como los causados por el hombre que pueden generar escenarios de desastre, también acciones para reducir y mitigar los efectos perjudiciales de tales fenómenos para orientar y ayudar a la población a enfrentar los desastres.

Las metodologías en las que participa el Cenapred se encuentran dentro del PND 2007-2012 que lleva el título “Eje 1. Estado de Derecho y Seguridad fracción Seguridad Nacional” cuyo diagnóstico en 2007 fue que la situación geológica del territorio y las condiciones climáticas de las distintas regiones afectan al país, así como los fenómenos naturales representan un riesgo a la seguridad de la población. Se realizaron estrategias para disminuir la vulnerabilidad de la población ante estos fenómenos. Entre las estrategias se encuentran algunas como: fortalecer la concurrencia de las Fuerzas Armadas y de los gobiernos estatales y municipales en la preparación, ejecución y conducción de los planes de auxilio correspondientes.

El Gobierno Federal continuará dando prioridad a los programas del Sistema Nacional de Protección Civil para asistir principalmente a los lugares con mayores daños causados por los desastres naturales. Se revisarán los procedimientos para la asignación de los recursos del Fonden, así como la entrega de apoyos a la población con el fin de alertarla y evitar la pérdida de vidas humanas.

Capítulo 2

Descripción del modelo estocástico para desastres medioambientales

Introducción

El Monitor de Sequía de América del Norte, NADM por sus siglas en inglés, es un organismo constituido por expertos de México, Canadá y Estados Unidos. Su objetivo es monitorear las sequías a lo largo de América del Norte. Este organismo comenzó sus actividades finales de abril de 2002.

EL NADM surgió por los esfuerzos conjuntos del Servicio Meteorológico Nacional, el Centro Nacional de Mitigación de la Sequía y el Departamento de Agricultura a finales de 1990 en los Estados Unidos de América. Su objetivo es actualizar los datos de los índices, previsiones climáticas e impactos locales, con el fin de evaluar las mejores condiciones para predecir una sequía. El resultado de cada monitoreo es una consecuencia del consenso de los expertos a nivel estatal, federal y académico.

Como se ha mencionado anteriormente, los índices para medir la sequía requieren diversos parámetros (de acuerdo a cada el índice de sequía). En México el Servicio Meteorológico Nacional SMN, utiliza los datos históricos del Índice de Precipitación Estándar (SPI) del NADM.

2.1 Definición de problema

En México las sequías e inundaciones se encuentran entre los fenómenos hidrometeorológicos que mayor número de muertes, pérdidas agrícolas y ganaderas ocasionan. Lo anterior trae consecuencias socioeconómicas devastadoras en México. La predicción de estos fenómenos sería la mejor forma de aminorar sus infortunadas consecuencias.

Al respecto, los modelos matemáticos han sido aplicados a diversas situaciones con el fin de reproducir los objetos de estudio. La construcción de nuevos modelos a partir otros modelos exitosos ha resultado la creación de modelos más cercanos a la realidad.

En este trabajo se utiliza el modelo de procesos de saltos de difusión de Merton para la predicción de sequías e inundaciones tanto en el territorio nacional, como en los estados con mayor incidencia de muertos a consecuencia de estos fenómenos.

2.2 Modelo de *Jump Diffusion* de Merton

El modelo de *Jump Diffusion* de Merton²⁴ (1976), surge en el ámbito económico financiero. Para la construcción de su modelo Merton asumió que el precio del activo es aleatorio y su comportamiento se puede predecir con una Ecuación Diferencial Estocástica.

Merton utiliza un modelo de difusión cuya característica es poseer una volatilidad (*diffusion*) y una tendencia (*drift*) cuyas trayectorias continuas se pueden representar con el movimiento browniano geométrico, Merton incluye los saltos (cambios abruptos del rendimiento del precio en los mercados conocidos como *crash*) en el modelo de *diffusion* para calcular el precio futuro del activo.

La ecuación diferencial estocástica que Merton utilizó para su modelo se presenta a continuación:

$$\frac{dS}{S} = (r - \lambda\gamma)dt + \sigma dW + dP \quad (1)$$

Donde

- S : precio del activo
- r : tasa de interés libre de riesgo
- λ : número promedio de saltos en un tiempo T
- γ : porcentaje de cambio del activo
- σ : volatilidad (desviación estándar del retorno logarítmico del activo)
- W : proceso de Gauss-Wiener o movimiento browniano
- P : proceso de Poisson

Tanto W y P son procesos estocásticos independientes entre si.

Las caídas en el mercado en el modelo de Merton se representan por un proceso de Poisson, cuya función de densidad presenta la forma en la ecuación (2):

$$f(y) = \begin{cases} \frac{e^{-\lambda} \lambda^x}{x!} & \text{si } x \in \{0,1,2,\dots\} \\ 0 & \text{e.o.c} \end{cases} \quad \text{para } \lambda > 0 \quad (2)$$

²⁴ Robert C. Merton (31 de julio de 1944) es un economista estadounidense que recibió el Premio Nobel de Economía en 1997, compartido con Myron Scholes, por sus trabajos para calcular el precio de las opciones financieras.

Las variables aleatorias que registran el número de ocurrencia de un evento por unidad de tiempo, espacio, volumen o cualquier otro índice suelen asociarse con la distribución de Poisson.

Si una variable aleatoria X sigue esta distribución entonces su valor esperado y varianza son iguales, es decir, $\lambda = E[X] = Var[X]$. El parámetro λ se conoce como la tasa de incidencia de la frecuencia con que ocurre un evento.

2.2.1 Solución a la ecuación del modelo de difusión con saltos

En esta sección se presenta la solución del modelo de difusión con saltos. Dicha solución se obtiene a partir del cálculo estocástico de Itô (Anexo A).

El modelo de difusión con saltos se ha aplicado en diferentes contextos. Por ejemplo en el modelamiento de precios de energía en mercados no regulados, prueba de esto son los trabajos de Huisman y Ronald, 2001; Weron, Bierbrauer y Trück, 2004; Borovkova y Permana, 2006; Cartea y Figueroa, 2005 y Weron, 2006. También se ha utilizado para modelar el crecimiento económico, como se muestra en Posch, 2007. Fernández en 2006 utiliza un modelo de difusión con saltos para pronosticar crisis financieras y Srivastava, Grenander, Jensen y Miller en el 2002 usan este mismo modelo para el reconocimiento de objetos en imágenes en sistemas de procesamiento digital.²⁵

De acuerdo a lo anterior, el modelo de difusión con saltos presenta amplias aplicaciones y por tanto, los esfuerzos por diseñar metodologías que permitan la estimación de sus parámetros pueden repercutir en avances en otras técnicas en diferentes disciplinas.

Para la aplicación del modelo de Merton es necesario dar una solución a la ecuación (1). En el 2006 Hanson propuso una solución alterna a la propuesta por Merton. Utilizó el proceso de Poisson homogéneo para el cálculo de derivadas e integrales.

Hanson desarrolló una metodología alterna para utilizar el modelo de difusión con saltos de Merton como se muestra a continuación:

Sea $X(t)$ un proceso estocástico y f una función tal que $f : \mathbb{R} \times [0, +\infty] \rightarrow \mathbb{R}$ y la partición del intervalo $[0, t]$ en $n+1$ subintervalos de longitud $\Delta t = 1/n$ y $0 < t_0 < \dots < t_{n+1} = t$, con

²⁵ Ospina Aragón, Juan David. "Estimación de un modelo de difusión con saltos con distribución de error generalizada asimétrica usando algoritmos evolutivos", Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Facultad de Ciencias, Escuela de estadística 2009.

$t_i = i \times \Delta t$. Así, $\Delta t_i = t_{i+1} - t_i = \Delta t$ (una partición regular y su norma es $\delta t_n = \max_{0 \leq i \leq n} (\Delta t_i) = \Delta t$); y además, $\Delta X(t_i) = X(t_{i+1}) - X(t_i)$ entonces se construye una aproximación de la integral de f utilizando la regla de Euler²⁶ (o rectangular izquierda) de la siguiente manera

$$\int_0^t f(X(s), s) dX(s) = \lim_{n \rightarrow +\infty} \sum_{k=0}^n f(X(t_k), t_k) \Delta X(t_k) \quad (3)$$

$\lim_{n \rightarrow +\infty}^{ms}$ representa el límite en media cuadrática y se interpreta de la siguiente manera: si $\{Z_n\}$ es una sucesión de variables aleatorias, converge en media cuadrática a la variable aleatoria Z y se representa $\lim_{n \rightarrow +\infty}^{ms} Z_n = Z$, si se cumple $\lim_{n \rightarrow +\infty}^{ms} E[(Z_n - Z)^2] = 0$.

Una vez establecidas las definiciones anteriores se procede a replantear el modelo de difusión con saltos. El modelo a considerar, de ahora en adelante, es el que se muestra en la ecuación (4)

$$\frac{dX(t)}{X(t)} = \mu dt + \sigma dW(t) + h(t, Q(t)) dP(t), \text{ con } X(0) = x_0 \text{ con probabilidad 1.} \quad (4)$$

Los parámetros μ y $\sigma \in \mathbb{R}$, mientras que $Q(t)$ es un proceso estocástico tal que $\ln(1 + Q(t)) > -1$. Esta última condición se impone para garantizar que el proceso sólo tome valores positivos. En el modelo de la ecuación (4) los procesos de difusión y de Poisson no dependen del estado del proceso $X(t)$ y son independientes entre si.

Para el proceso en tiempo continuo dado en la ecuación (4) se define la transformación $Y(t) = F(X(t), t) = \ln X(t)$, entonces, usando el lema de Itô (anexo C), se llega a una expresión para el diferencial $dY(t)$ como se muestra en la ecuación (5):

$$dY(t) = \left(F_t + \mu X(t) F_x + \frac{1}{2} (\sigma X(t))^2 F_{xx} \right) dt + \sigma X(t) F_x dW(t) + \int [F(X(t) + X(t)H(t, Q(t)), t) - F(X(t), t)] dP(t) \quad (5)$$

Donde, para el caso particular,

$$F = \frac{\partial F}{\partial t} = 0, F_x = \frac{\partial F}{\partial x} = \frac{1}{x} \text{ y } F_{xx} = \frac{\partial^2 F}{\partial x^2} = -\frac{1}{x^2} \quad (6)$$

²⁶ La fórmula de cuadratura se define de la siguiente manera: $\int_a^b g(x) dx = (b-a)g(a) + O((b-a)^2)$, para aproximar el valor de $\int_{t_n}^{t_{n+1}} f(s, \varphi(s)) ds \approx hf(t_n, \varphi(t_n))$.

Además, la parte de la integral que corresponde a los saltos se puede escribir como en la ecuación (7).

$$\begin{aligned} F(X(t) + X(t)h(t, Q(t)), t) - F(X(t), t) = \\ \ln(X(t) + X(t)h(t, Q(t))) - \ln(X(t)) = \ln(1 + h(t, Q(t))) \end{aligned} \quad (7)$$

De esta manera, la ecuación (7), puede reescribirse de la siguiente manera:

$$dY(t) = \left(\mu - \frac{1}{2} \sigma^2 \right) dt + \sigma dW(t) + \int \ln(1 + h(t, Q)) dP(t) \quad (8)$$

Así la solución de la ecuación diferencial estocástica se obtiene como en la ecuación siguiente,

$$Y(t) = Y(0) + \int_0^t \left(\left(\mu - \frac{1}{2} \sigma^2 \right) ds + \sigma dW(s) + \ln(1 + h(s, Q(s))) dP(s) \right) \quad (9)$$

Y se puede expresar de la siguiente manera

$$Y(t) = \ln(X(0)) + \left(\mu - \frac{1}{2} \sigma^2 \right) t + \sigma dW(t) + \sum_{k=1}^{P(t)} \ln(1 + h(t, Q_k)) \quad (10)$$

Ahora, como $X(t) = e^{Y(t)}$ la solución general del modelo de la ecuación (10) está dada por

$$X(t) = x_0 e^{\left(\left(\mu - \frac{1}{2} \sigma^2 \right) t + \sigma dW(t) + \sum_{k=1}^{P(t)} \ln(1 + h(t, Q(T_k))) \right)} \quad (11)$$

También se puede escribir de la siguiente forma:

$$X(t) = x_0 e^{\left(\left(\mu - \frac{1}{2} \sigma^2 \right) t + \sigma dW(t) \right)} \prod_{k=1}^{P(t)} (1 + h(t, Q(T_k))) \quad (12)$$

Las ecuaciones anteriores corresponden a la solución de la ecuación (4). Queda por especificar la función h . Ésta se define en la ecuación siguiente:

$$h(t, Q(T_k)) = e^{Q(t)} - 1 \quad (13)$$

Esta definición de h tiene la ventaja de hacer que el proceso $X(t)$ dependa explícitamente del proceso $Q(t)$. De esta manera se puede escribir la solución de la ecuación como en la ecuación (14),

$$X(t) = x_0 e^{\left(\left(\mu - \frac{1}{2} \sigma^2 \right) t + \sigma dW(t) + \sum_{k=1}^{P(t)} Q_k \right)} \quad (14)$$

En este trabajo se considera que $Q(t)$ es una sucesión de variables aleatorias independientes e idénticamente distribuidas (v.a.i.i.d.) con una distribución de error generalizada asimétrica con parámetros μ_Q, σ_Q, ν_Q y ξ_Q . El exponente del lado derecho de la ecuación (14) es una suma de variables aleatorias cuyos incrementos son independientes; por esta razón, resulta útil proceder y operar sobre el exponente. Así, si se define el proceso $Y(t)$ de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$Y(t) = \left(\mu - \frac{1}{2} \sigma^2 \right) t + \sigma dW(t) + \sum_{k=1}^{P(t)} Q_k \quad (15)$$

Entonces $X(t) = x_0 e^{Y(t)}$. Esta forma de escribir el proceso de difusión con saltos presenta la ventaja de verlo como una función de un proceso con incrementos independientes e idénticamente distribuidos (i.i.d.), ya que el proceso $Y(t)$ es un proceso con incrementos i.i.d.

Para probar que los incrementos de $Y(t)$ son independientes se considera $\Delta Y(t) = Y(t + \Delta t) - Y(t)$ que satisface la ecuación (16)

$$\Delta Y(t) = \left(\mu - \frac{1}{2} \sigma^2 \right) \Delta t + \sigma \Delta W(t) + \sum_{k=1}^{\Delta P(t)} Q_k \quad (16)$$

El $\Delta Y(t)$ es el proceso de rendimientos logarítmicos de $X(t)$ en el periodo Δt , es decir,

$$\Delta Y(t) = \ln X(t + \Delta t) - \ln X(t) = \ln \left(\frac{X(t + \Delta t)}{X(t)} \right) \quad (17)$$

Una presentación alternativa del proceso $\Delta Y(t)$, como la que se hace en Craine, Lochstoer y Syrtveit, 2000 y Ranjan Das y Sundaram, 1999²⁷, se presenta en la ecuación (18), donde $Z \sim N\left(\left(\mu - \frac{1}{2}\sigma^2\right)\Delta t, \Delta t\sigma^2\right)$ y las Q_i son las variables aleatorias que definen la magnitud de los saltos.

$$\Delta Y(t) = \begin{cases} Z & \text{si } \Delta P(t)=0 \\ Z + Q_1 + \dots + Q_{\Delta P(t)} & \text{e.o.c.} \end{cases} \quad (18)$$

De aquí surge una estrategia para simular trayectorias del proceso de difusión con saltos definidos por la ecuación (4), la cual consiste en simular el exponente, es decir, el proceso $Y(t)$ definido por la ecuación (18) y luego encontrar la trayectoria del proceso como se deduce de la ecuación (15). De la misma forma en que se hizo con los procesos de Wiener y de Poisson, si se asume que el proceso de la ecuación está definido en el intervalo $[0, T]$ y se considera una partición en N sub-intervalos de igual longitud $\Delta t = T / N$ y se define $t_0 = 0$,

$t_i = i\Delta t, i=1, 2, \dots, N$, entonces se puede escribir $Y(t_i)$ como $Y(t_i) = \sum_{j=0}^i \Delta Y(t_j)$.

El esquema general para la simulación del proceso es definido por el algoritmo siguiente. Los datos necesarios para la simulación de un Proceso de Difusión con Saltos son:

- T : tiempo
- N : número de particiones
- x_0 : valor inicial
- μ : tendencia
- σ : volatilidad
- λ : número promedio de saltos

Algoritmo: Simulación de una trayectoria del proceso de difusión con saltos de las ecuaciones, (14) y (18)

1.- $\Delta t := T / N, t_i := i \times \Delta t$

2.- Obtener N muestras $\Delta D(t_i)$ de una $N\left(\left(\mu - \frac{\sigma^2}{2}\right)\Delta t, \Delta t\sigma^2\right)$

²⁷ Ospina Aragón, Juan David, "Estimación de un modelo de difusión con saltos con distribución de error generalizado asimétrica usando algoritmos evolutivos", Escuela de Ingeniería de la Organización, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, 2009, p20.

3.- Obtener N muestras $\Delta P(t_i)$ de una Poisson ($\lambda\Delta t$)

4.- Para $i=1$ hasta n se realiza

4.1.- Simular una muestra de tamaño $\Delta P(t_i)$ de la distribución subyacente, f_Q del proceso de marcas $Q(t)$

4.2.- Haga $\Delta J(t_i) = \sum_{k=1}^{\Delta P(t_i)} Q_k$

5.- Fin para $i=n$

6.- Haga $Y(t_i) = \sum_{j=0}^i \Delta D(t_j) + \Delta J(t_j)$

Con este algoritmo se pueden realizar tantas simulaciones como se deseen. Estas trayectorias simuladas corresponden a un proceso de difusión con saltos en la medida en que $\Delta t \rightarrow 0$, es decir, mientras más fina sea la partición del intervalo, más apegada a la realidad será la simulación.

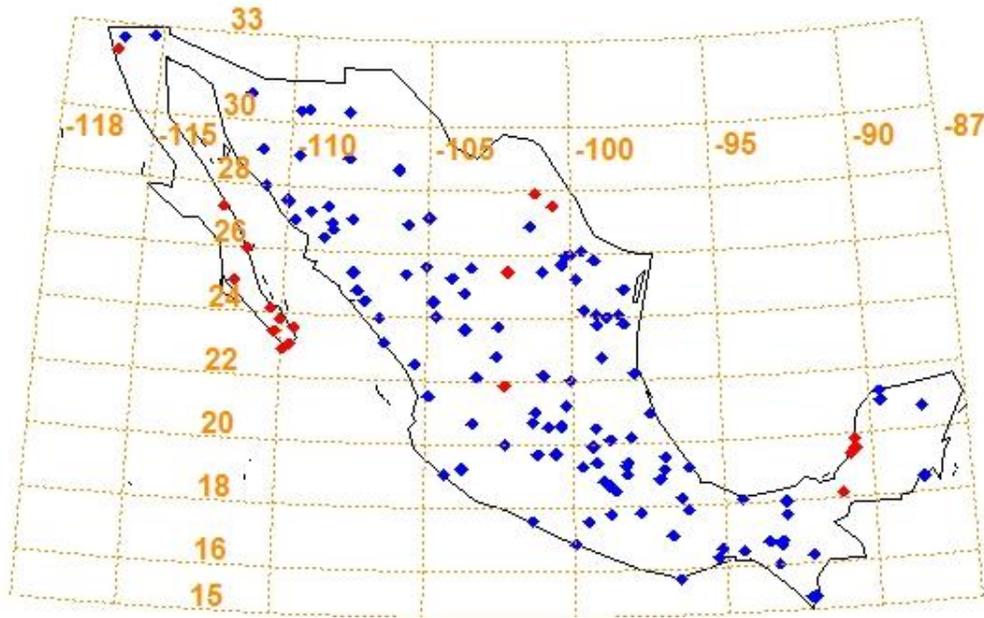
La aproximación Poisson-Bernoulli puede ser de ayuda cuando Δt no es lo suficientemente pequeño; esto sucede para ciertos valores de λ (la tasa de ocurrencia de saltos del proceso Poisson).

2.3 Descripción de los datos

La recolección de la información cualitativa y cuantitativa se adquiere de las bases de datos de NADM. A partir de los datos basados en las estaciones meteorológicas de monitoreo distribuidas a lo largo de la República Mexicana, se escogió el Índice de Precipitación Estándar (SPI). Los años de estudio para este trabajo están comprendidos entre 1954 y 2012 con los SPI's de 1, 2, 3, 6, 12 y 24 meses. Se escogió el año de 1954 como partida ya que antes, no había datos completos para las estaciones de monitoreo en México. Los datos faltantes se calcularon con promedio móviles. La metodología del cálculo del SPI se muestra en el anexo B.

Existen un total de 149 estaciones de monitoreo de las cuales 133 están distribuidas a lo largo de la República Mexicana y 16 estados fronterizos con los Estados Unidos América. En este trabajo solamente se toman los datos en territorio nacional. En el anexo C se encuentra la tabla C.1 donde se muestran los datos de cada estación meteorológica. Los datos anteriores se utilizaron para elaborar el mapa donde se muestran las latitudes y longitudes donde se ubican las estaciones meteorológicas de monitoreo a lo largo de la República Mexicana como se muestra en la figura 3.

Figura 3
Distribución de las estaciones de monitoreo en la República Mexicana



Fuente: Elaboración propia, utilizando latitud y longitud, de cada estación monitorea. Se utiliza paquetería R, librería "maps".

Los datos de la figura 3 fueron de gran utilidad para este trabajo debido a que ayudaron a visualizar la distribución y la cantidad de las estaciones meteorológicas de monitoreo a lo largo del país. Las estaciones seleccionadas para este trabajo se encuentran marcadas con puntos rojos y se eligieron dada la mayor frecuencia de las consecuencias de los fenómenos estudiados en el Capítulo 3.

Para utilizar los datos de cada año del SPI ajustado al modelo de *Jump Diffusion* de Merton, se realiza una aglomeración de los datos para la República Mexicana, condensando la información de las 133 estaciones en México, de la siguiente manera:

$$SPI_i = \frac{\sum_{j=1}^{133} SPI_{ij}}{133} \quad (19)$$

Donde: SPI_{ij} , es el valor de SPI para el año i y para la estación j . Con $i=1954,1955,\dots,2012$ y $j=1,2,\dots,133$.

Los datos del SPI condensados para los distintos periodos de tiempo de estudio tienen la siguiente estructura:

Columna 1: Número de estación meteorológica.

Columna 2: Código de SPI. (71=SPI-1 mes; 72=SPI-2 meses; 73=SPI-3 meses; 74=SPI-6 meses; 75=SPI-9 meses; 76=SPI-12 meses y 77=SPI-24 meses).

Columna 3: Año de estudio.

Columna 4 a la 15: Valor promedio de SPI para el mes de enero a diciembre.

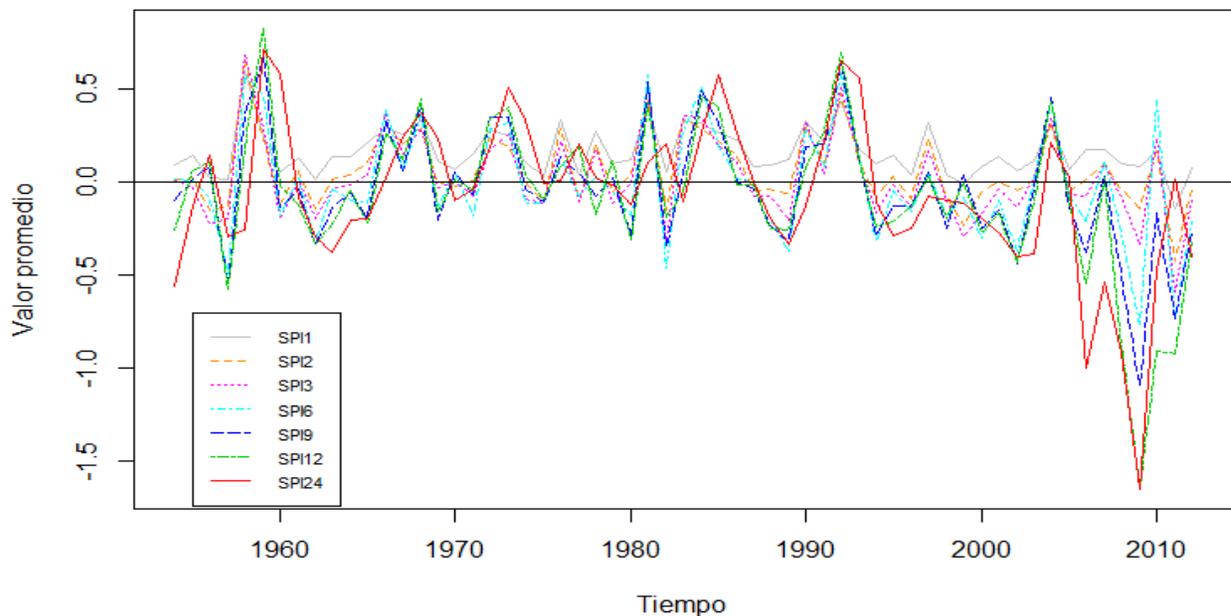
(Ver Anexo B; Cuadro B.2; Cuadro B.3; Cuadro B.4; Cuadro B.5; Cuadro B.6; Cuadro B.7 y Cuadro B.8)

Los valores del SPI son de carácter aleatorio y fluctúan entre -3.0 y +3.0. En la figura 4 los valores graficados presentados fluctúan entre 0.7078 y -1.6514, ya que los valores se promedian para todas las estaciones meteorológicas de monitoreo del SPI-1 mes con el objeto de presentar un análisis global de la República Mexicana.

Los valores del SPI se toman del promedio anual para toda la República Mexicana. Los valores del año 2005 al 2012 han tenido una mayor variabilidad con saltos más amplios como se observa en la figura 4, la cual se elaboró con los datos obtenidos de NADM para las 133 estaciones meteorológicas de monitoreo.

El SPI se relaciona con el concepto de salto de acuerdo con sus cambios representativos; se toma en cuenta el cambio que ocurrió en el año de estudio con respecto al año anterior.

Figura 4
Valores promedio anuales del SPI



Fuente: Elaboración propia, utilizando los valores promedios anuales del SPI. Se utiliza paquetería R.

2.4 Relación del SPI con el proceso de difusión con saltos

Los valores del SPI cambian de acuerdo con las condiciones de humedad; estas variaciones se pueden calcular a través de las tasas de interés, es decir, la diferencia porcentual en un periodo en un tiempo determinado. En este trabajo se propuso la relación entre tasas de cambio del SPI y el modelo de saltos de difusión de Merton para predecir la mortalidad y las catástrofes a consecuencia de las sequías e inundaciones.

Dado que el modelo de Merton utiliza los cambios porcentuales en el precio del activo subyacente, en este trabajo se calculan las tasas a partir de los valores de SPI. Es importante aclarar que las tasas de cambio calculadas a partir de los valores del SPI se establecieron a partir de la diferencia porcentual para un determinado mes, variando el año.

La correlación que se establece tomando como base la ecuación (15) entre el modelo de Merton, simplificado por Hanson, y los datos utilizados en este trabajo se describe a continuación. Los parámetros μ es el promedio de las tasas de la diferencia porcentual del SPI, σ está representada por las desviaciones estándares de las tasas de la diferencia porcentuales del SPI. El número promedio de saltos (λ) se representa por los valores que exceden el valor de la desviación estándar. Finalmente el valor inicial (x_0) representa el último valor de las tasas obtenidas del SPI.

El valor de λ es resultado del cociente de n/m . La cantidad de los valores mayores y menores se representan con n . El total de los registros, desde el año de 1954 hasta el año 2012, se representa con m y toma un valor de 58 (el número de años estudiado).

Una vez establecido lo anterior se presenta en el siguiente capítulo una serie de simulaciones para estimar muertes y pérdidas económicas producidas por los fenómenos hidrológicos a partir del modelo de Merton simplificados por Hanson.

Capítulo 3

Estimación de la cantidad de los afectados, fallecidos, heridos y casas destruidas a causa de sequías e inundaciones

Introducción

Las sequías e inundaciones severas son eventos que ocasionan pérdidas humanas y del patrimonio. Es necesario crear una conciencia del cambio climático para prevenir futuras tragedias. En este trabajo se realizó una serie de simulaciones a partir de la relación entre el modelo de Merton y el índice SPI. Se espera que las simulaciones llevadas a cabo sirvan para tomar acciones preventivas en futuras catástrofes.

Los datos consultados para este trabajo fueron extraídos del sitio electrónico “Desinventar”²⁸. Se seleccionaron los estados del territorio nacional que poseen el mayor porcentaje de los desastres causados por las sequías e inundaciones. Los parámetros que se consideraron para las sequías fueron: el número de muertos, heridos y afectados. En el caso de las inundaciones se agrega a los anteriores la cantidad de casas destruidas.

Este capítulo inicia con la estimación de los parámetros del SPI-1 mes a nivel nacional, así como su simulación con el modelo de Merton. Posteriormente se puntualizan los estados con mayor porcentaje de pérdidas causadas por los fenómenos de las sequías e inundaciones catastróficas.

3.1 Estimación de los parámetros y simulación a nivel nacional

El propósito de crear escenarios a partir de la relación entre el modelo de Merton y el índice SPI es inferir mediante escenarios las pérdidas humanas y el impacto provocado por los fenómenos naturales de estudio.

La República Mexicana por su situación geográfica está sujeta a diferentes fenómenos hidrológicos. Las sequías e inundaciones presentan un papel importante para la economía nacional.

De acuerdo con la ecuación (15) se calcularon los parámetros del modelo de Merton para la República Mexicana, según se muestra en el cuadro 4.

²⁸ <http://www.desinventar.net/>

Los periodos del SPI se han categorizado en periodos largos y cortos²⁹, de acuerdo con el cuadro 4 se propone que para este trabajo los periodos para México se clasifiquen en tres periodos: corto, mediano y largo plazo. El periodo corto comprende de 1, 2 y 3 meses; mientras que el mediano comprende 6 y 9 meses y, por último, el periodo largo de 12 y 24 meses.

El cuadro 4 presenta los valores de los parámetros para cada mes y para los distintos valores del SPI de la República Mexicana. Se puede interpretar que los valores negativos de la tendencia (μ) corresponden a sequía, mientras que los valores positivos a humedades altas. En el caso particular SPI-2 meses la tendencia indica valores menores o cercanos a cero, los cuales presentan un periodo (de junio a diciembre) de sequedad severa.

De acuerdo con los datos estadísticos calculados en este trabajo los periodos se presentan cíclicamente cada 12 meses. Respecto al parámetro de la tendencia μ , en contraste, en el SPI-1 mes (de diciembre a febrero) el nivel de humedad es alto; no obstante, fugaz. En estos casos se puede dar una inundación súbita.

Si se realiza una comparación a través del tiempo se observa que el parámetro de volatilidad (σ) en periodos prolongados de estudio (SPI-9, 12 y 24 meses) se destaca que a periodos largos de estudio se tendrá una mayor volatilidad de los valores del SPI. Es importante destacar que en el mes de abril el valor 197.3516 de σ se interpreta como un cambio drástico de temperatura.

En periodos cortos, SPI-1, 2 y 3 meses, los valores de λ más significativos se encuentran en los meses de junio y octubre con 0.2241 y 0.1724, respectivamente. Es importante singularizar estos valores, ya que el parámetro λ es determinante para el uso del modelo de Merton. Respecto al periodo de mediano plazo los valores más probables de que ocurra un salto están localizados en los meses de febrero, abril y noviembre (0.1724, 0.1897 y 0.1897 respectivamente). Finalmente, para el periodo largo se tiene un valor alto para el mes de mayo con un valor de 0.2241. Esto indica que existe la posibilidad de un salto, es decir, un cambio de temperatura no previsto.

Con el objeto de mostrar cómo operan los parámetros μ , σ y λ a través del tiempo y la trayectoria de los cambios porcentuales del SPI-1 mes se presenta la figura 5.

²⁹ McKee Thomas B., Doesken Nolan J, Kleist John “*The relationship of drought frequency and duration to time scales*”, Department of Atmospheric Science, Colorado State University, Eighth Conference on Applied Climatology, 17-22 enero 1993.

La figura 5(a) muestra el mes de abril, y la 5(b) para el mes de junio, ambas a través de los años 1954 a 2012. La figura 5(a) presenta un cambio drástico, de húmedo a seco, al final del periodo. Este comportamiento se puede visualizar a través de su histograma, figura 5(c), y su diagrama de caja, figura 5(d). Para el caso de junio se observa que no existen cambios drásticos en comparación con el mes de abril (figuras 5(b), (e) y (f)).

Una vez que se han estimado los parámetros μ , σ y λ para cada mes de estudio, de todos los periodos de estudio del SPI, se procede a la simulación de los procesos de saltos de difusión de Merton aplicándola, en primera instancia, a toda la República Mexicana.

Así, los parámetros iniciales para SPI-1 mes en junio se tiene: $T= 1$; $N= 1000$; $x_0=-0.0483$; $\mu = -0.2237$; $\sigma = 2.0469$ y $\lambda = 0.2241$. A partir de estos parámetros se llevaron a cabo 1,000 simulaciones. Las simulaciones realizadas se presentan en la figura 6, cada color representa una corrida y las bandas punteadas en color rojo representan los intervalos de $\pm\sigma$. Dado que el modelo de Merton no es susceptible a ser estabilizado a partir de un número determinado de iteraciones, se llevaron a cabo 1,000 simulaciones.

Se observa de la figura 6 que el modelo de saltos de difusión de Merton, a nivel nacional y en largos periodos, arrojan valores que no corresponden con los datos históricos. Por lo tanto, no se recomiendan periodos largos al utilizar el modelo de Merton.

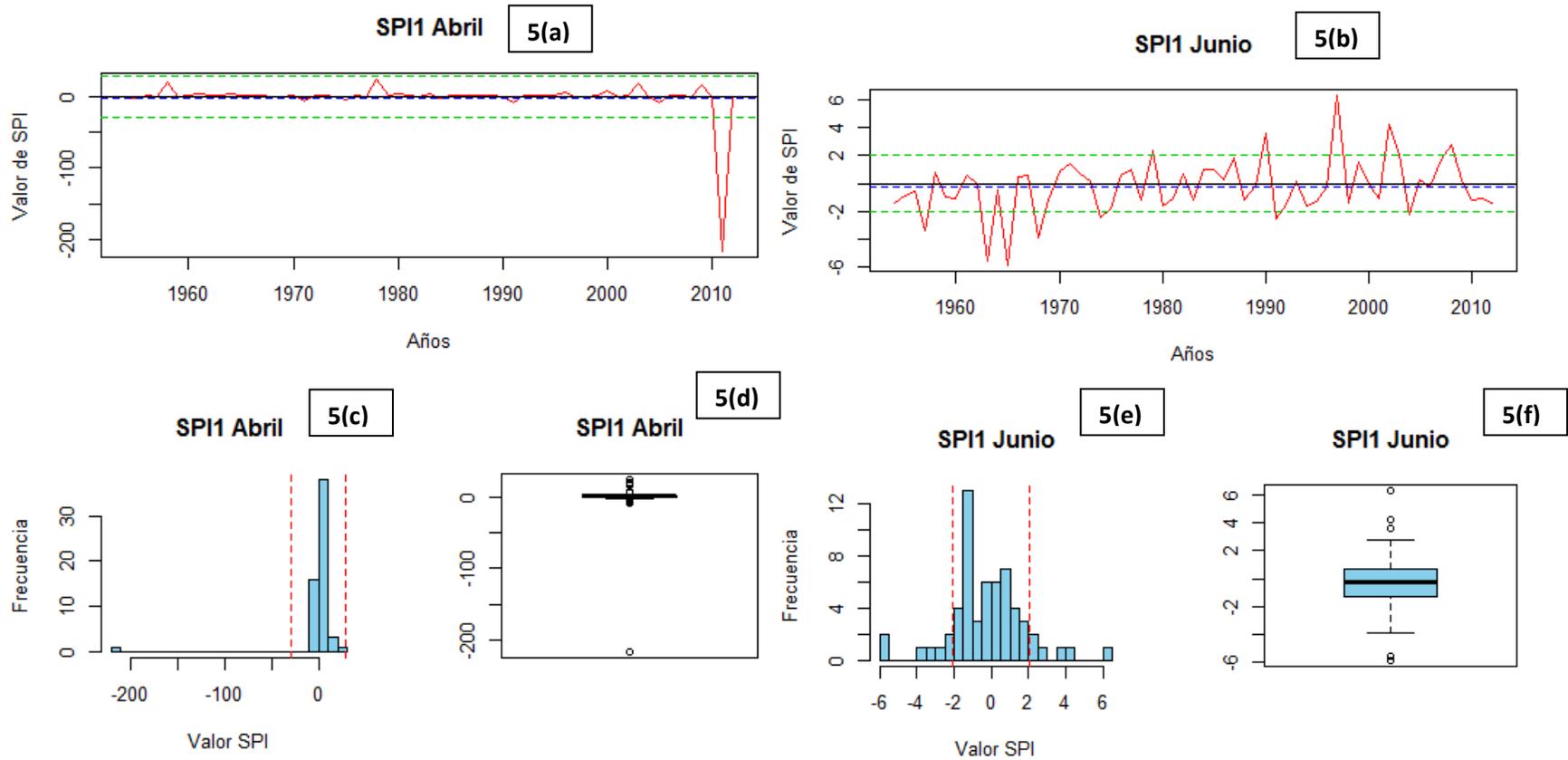
Ya que el objetivo de este trabajo se enfoca en identificar los desastres y eventos provocados por las inundaciones y sequías se requiere inferir mediante escenarios las pérdidas catastróficas humanas y de inmuebles provocadas por estos desastres. A continuación se identifican los estados con mayor frecuencia catastrófica para los fenómenos hidrológicos y se desarrollan las simulaciones para obtener un número estimado de muertes o inmuebles dañados.

Cuadro 4
Valor de los parámetros para los distintos meses del SPI

Mes	SPI1			SPI2			SPI3			SPI6			SPI9			SPI12			SPI24		
	μ	σ	λ	μ	σ	λ	μ	σ	λ	μ	σ	λ	μ	σ	λ	μ	σ	λ	μ	σ	λ
Enero	8.5913	68.9340	0.0517	0.4240	11.7298	0.0345	-1.4227	11.4829	0.0345	-1.3374	7.6909	0.0690	1.9658	17.5922	0.0517	-1.3091	7.8418	0.1724	0.4465	3.4204	0.1379
Febrero	2.0311	12.1964	0.0862	-0.7478	7.7238	0.0862	0.2708	7.2834	0.1034	0.7570	7.9336	0.0345	-0.3085	3.6605	0.1724	3.8395	37.4018	0.0345	2.7979	13.6284	0.0345
Marzo	-4.2912	21.9485	0.0690	1.3547	7.5612	0.1207	-0.4216	13.2156	0.0690	-1.0292	9.5281	0.0690	0.7423	8.0746	0.0517	4.7017	49.6333	0.0345	0.7076	8.5356	0.0862
Abril	-2.0773	28.7634	0.0172	-0.8309	4.6048	0.1552	-23.9058	197.3517	0.0172	-1.9120	8.4723	0.1379	-0.2099	3.0189	0.1897	0.0681	5.8837	0.0862	-1.3791	12.9004	0.0345
Mayo	5.9956	22.0301	0.0690	1.5528	14.4947	0.0690	-0.8415	5.8808	0.0517	1.5644	9.6199	0.1034	1.1833	7.8646	0.1379	-0.8558	6.0493	0.1034	0.2543	2.4394	0.2241
Junio	-0.2237	2.0469	0.2241	-6.3270	30.0397	0.0517	1.9998	21.5749	0.0690	7.1088	54.4272	0.0172	1.6268	15.8700	0.0345	2.3006	27.8645	0.0172	-0.1317	6.2203	0.0690
Julio	0.7174	5.7412	0.1034	-0.4551	4.0642	0.1207	-0.4833	3.6556	0.1724	-0.8437	4.7264	0.1552	-0.9373	16.7193	0.0690	-0.9534	5.1122	0.0690	-0.2683	6.8817	0.1034
Agosto	-0.4741	5.6281	0.1207	0.0537	7.2042	0.1379	-0.1590	15.2821	0.0517	0.1299	10.1792	0.0690	-0.4699	5.9320	0.1379	1.8105	13.9706	0.0690	-0.1415	3.9938	0.1207
Septiembre	-0.8088	4.0855	0.1207	-2.6162	15.1838	0.0172	-3.7201	63.6138	0.0345	0.4148	4.4630	0.1552	2.3959	18.2305	0.0172	2.6268	11.8234	0.0517	-0.3463	7.1778	0.1207
Octubre	-0.0043	3.0752	0.1724	-1.5547	14.2412	0.0690	-1.0669	7.6315	0.1034	-0.3887	5.4639	0.1207	-0.9907	6.2956	0.0517	-0.8651	12.8308	0.0345	1.9298	13.1644	0.0345
Noviembre	0.6493	5.8991	0.1207	-3.0827	24.5923	0.0517	1.5902	14.9485	0.0172	-3.2486	15.8193	0.0172	0.1941	2.9941	0.1897	0.3309	3.0983	0.2069	-0.2286	5.1979	0.1379
Diciembre	1.7970	36.0089	0.0690	-0.9101	15.8671	0.1207	0.2850	6.3134	0.1034	-9.1680	60.0351	0.0172	-1.4730	10.3934	0.0517	-3.7071	20.4229	0.0517	-1.5925	13.9711	0.0517

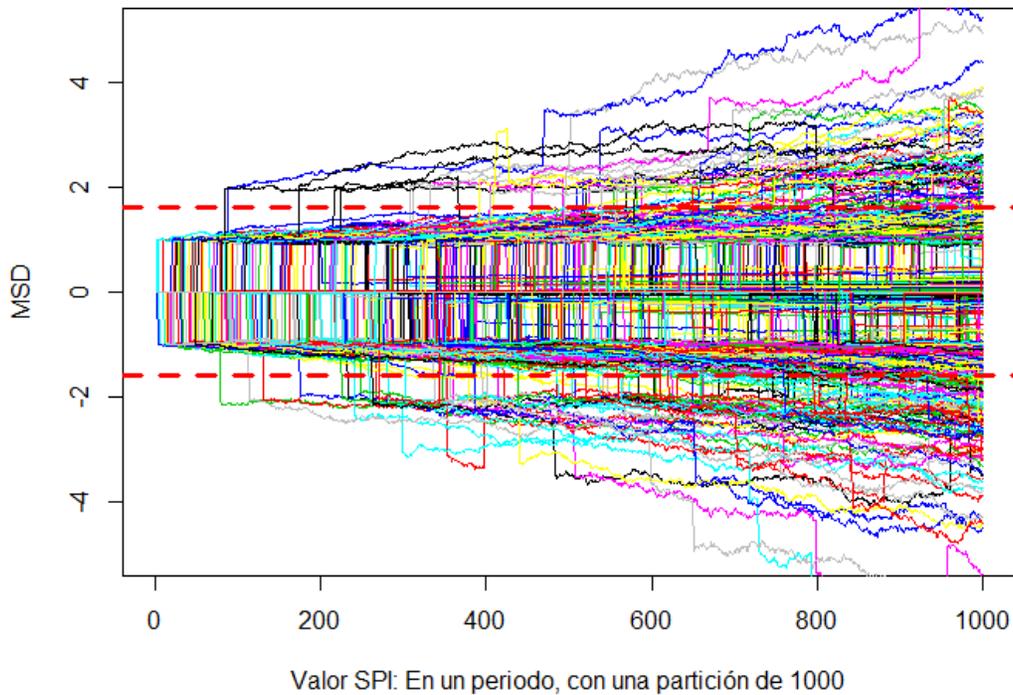
Fuente: Elaboración propia, de los valores de las Tablas B.2, B.3, B.4, B.5, B.6 y B.7.

Figura 5
Valores promedio anuales del SPI-1 mes, julio y agosto



Fuente: Elaboración propia, de los valores de las Tablas B.2, se utiliza paquetería R

Figura 6
1000 Simulaciones para valores de SPI- 1mes, Junio



Fuente: Elaboración propia, datos de SPI-1mes, junio.

3.2 Escenarios para la simulación de sequías e inundaciones

La metodología para las simulaciones con el modelo de Merton se enuncia a continuación: se establece un número de 1,000 posibles valores para el SPI en estudio. A partir de las simulaciones se contabilizarán los heridos, muertos, afectados y las pérdidas de inmuebles como el número de veces que un salto sobrepasa tres distintos umbrales. El umbral 1 es la barrera de $\pm\sigma$. El umbral 2 es la barrera de $\pm 2 \cdot \sigma$ y el umbral 3 es la barrera $\pm 4 \cdot \sigma$, es decir, si existe un salto que sobrepasa el umbral de $\pm\sigma$ ($+\sigma$ para el caso de inundaciones y $-\sigma$ para el caso de sequías), se contabiliza como un evento en un periodo de un año. Finalmente se obtendrá el número promedio. Para los escenarios de sequías e inundaciones se consideran que los efectos por los desastres son: muertos, heridos y afectados; y para el caso de inundaciones también se consideran como efectos las casas destruidas.

3.2.1 Escenarios para las sequías

3.2.1.1 Afectados por las sequías

Los datos para este estudio se obtuvieron de DesInventar³⁰. El periodo de estudio abarca del año 1970 a 2011. La selección de los estados a estudiar se hizo con base en la mayor frecuencia de afectados. El número de afectados en el año 2005 fue el mayor registrado en el periodo estudiado. Los estados de Campeche y de México fueron los que presentaron un mayor número de afectados como se observa en la figura 7.

Figura 7
Personas afectadas por las sequías, 1970 al 2011



Fuente: DesInventar. Generador de tabla de referencias cruzadas para México. Se consideran los eventos de sequías. <http://online.desinventar.org/> Consultado el 17 de junio de 2013.

Con el objeto de detectar los estados con mayor frecuencia del número de afectados en el periodo de estudios se obtuvieron los datos para generar la gráfica de la figura 8.

Los estados de Nuevo León, Campeche, Coahuila, Zacatecas y México presentan la mayor frecuencia de los afectados en la República Mexicana (éstos representan el 71.29% a nivel nacional).

³⁰ <http://online.desinventar.org/>

Figura 8
Afectados en la República Mexicana a causas de las sequías de 1970 al 2011



Fuente: DesInventar. Generador de tabla de referencia cruzadas para México, se consideran el evento de sequias. <http://online.desinventar.org/>. Consultado el 12 de junio de 2013.

De acuerdo con la información anterior se tomaron cinco estados con mayor frecuencia de afectados para aplicar el modelo de Merton. El periodo de estudio del SPI corresponde al de un mes que es un periodo corto.

Se calcularon los parámetros μ , σ y λ , tal y como se llevó a cabo a nivel nacional, y los datos se vertieron en el cuadro 5. De acuerdo al algoritmo presentado (p. 34) para el modelo de Merton el valor de x_0 , valor inicial, se toma como el último valor de los datos históricos para los correspondientes estados.

De acuerdo a la metodología establecida se presenta el número de afectados para cada umbral definido.

Cuadro 5
Valor de los parámetros para el SPI y número de afectados con distintos umbrales

Estado	μ	σ	λ	x_0	No. Afectados Umbral 1	No. Afectados Umbral 2	No. Afectados Umbral 3
Nuevo León	0.1234	10.2587	0.0877	-0.34	9	8	7
Campeche	-1.4299	7.1905	0.0877	-0.94	7	7	7
Coahuila	-0.7779	2.6179	0.2807	0.96	8	8	8
Zacatecas	1.0536	10.5658	0.1053	0.35	9	9	8
México	-1.9056	9.9886	0.0701	1.51	8	7	6

Fuente: Elaboración propia

Es importante notar que los valores estimados para el número de afectados, en un periodo de un mes, no refleja las magnitudes relativas que se observaron en la figura 8; ya que el periodo considerado es corto, en comparación con el periodo largo de 41 años.

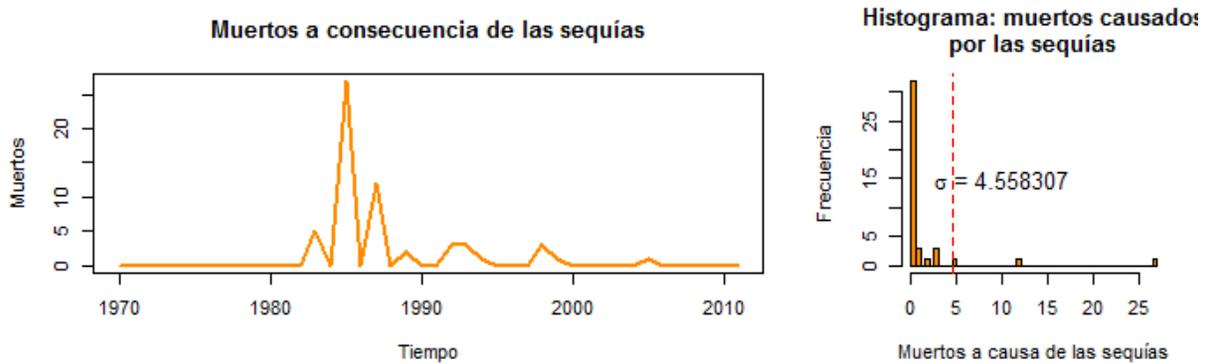
La diferencia de los valores en los umbrales, no es significativa, ya que el nivel de amplitud de las desviaciones estándares es notable; y por lo tanto, se esperaría una diferencia mayor entre ambos umbrales, ya que la amplitud es considerable para el umbral 3. Se propone que para que exista un cambio en el número de afectados se tendría que hacer el proceso para los doce meses del año y así identificar los cambios drásticos de temperatura que llevarán a un aumento en el número de afectados.

3.2.1.2 Muertos por las sequías

Al igual que en la sección anterior, los datos utilizados para trabajar con el modelo de Merton se obtuvieron de la base de datos DesInventar. Se consideró el mismo periodo de tiempo.

Un punto que resalta en esta sección es que el número de muertos no es significativamente grande en comparación con el número de afectados. Esto se deriva a que los afectados son atendidos por los servicios médicos a través de un programa de prevención por ondas de calor. La frecuencia para el número de muertos registrados a causa de la sequía a través de los años se presenta en la figura 9.

Figura 9.
Muertos a consecuencia de las sequías, 1970 al 2011.

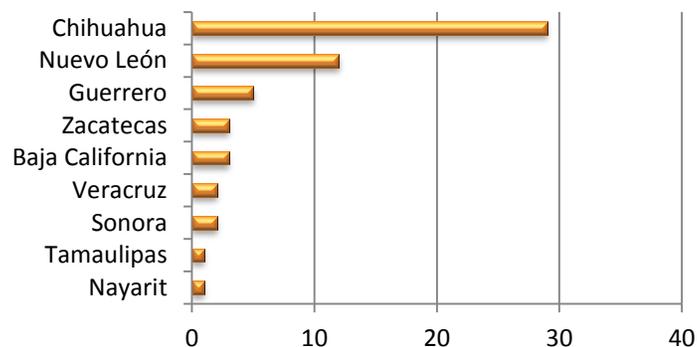


Fuente: DesInventar. Generador de tabla de referencia cruzada para México, se considera el evento de sequía. <http://online.desinventar.org/> Consultado el 17 de junio de 2013.

Se observa de la figura 9 que se presentaron valores atípicos en la década de los 80. Esto se debió a incidencias en los estados de Guerrero en 1983 con cinco defunciones. En 1987 se registró el mayor número de decesos para el estado de Chihuahua con 27 víctimas. Finalmente, el siguiente valor atípico se registró en el año de 1987 con 12 fallecidos para el estado de Nuevo León. En el histograma que se presentan estos datos para mayor claridad.

Se destaca que la diferencia entre la figura 9 y 10 estriba en que en la primera se observan los muertos a través del tiempo, es decir, se registra el número de muertos que existieron en todos los estados en un año en particular, mientras que en la figura 10 se presentan los estados con mayor número de eventos fatales acumulados en el periodo de 41 años.

Figura 10
Muertos en la República Mexicana a causa de las sequías de 1970 a 2011



Fuente: DesInventar. Generador de referencias cruzadas para México. Se considera el evento de sequías. <http://online.desinventar.org/>. Consultado el 12 de junio de 2013.

Como se puede observar de la figura 10 los estados de Chihuahua y Nuevo León tienen el mayor número de muertos por sequía: representan el 70.69% del total de muertos en toda la República. Por esta razón, se seleccionan los estados antes mencionados para calcular los parámetros del modelo de Merton y pronosticar el número de muertos.

Al igual que en la sección anterior, es decir, en el caso de los afectados, se lleva a cabo la misma metodología, tomando en cuenta la ecuación de modelo de Merton (15). Se conservan las mismas condiciones para los umbrales. Se vierten los parámetros en el cuadro 6 y también se estima el número de muertes.

Cuadro 6
Valor de los parámetros para el SPI- 1mes y el número de muertos con distintos umbrales

Estado	μ	σ	λ	x_0	No. Muertos Umbral 1	No. Muertos Umbral 2	No. Muertos Umbral 3
Chihuahua	-0.4501	7.9797	0.0702	1.18	9	8	8
Nuevo León	0.1234	10.2587	0.0877	-0.34	9	8	7

Fuente: Elaboración propia

Nuevamente se observa que el tiempo juega un papel relevante para la aplicación de este modelo, ya que un mes no es significativo en comparación con el periodo de estudio.

A continuación se procede a aplicar el modelo de Merton para el caso de los heridos a consecuencia de las sequías.

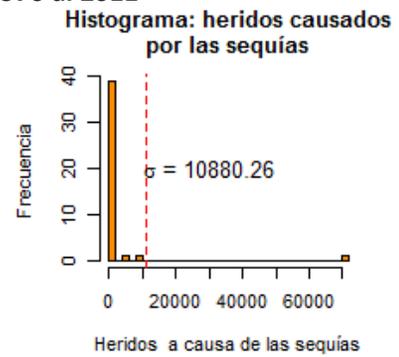
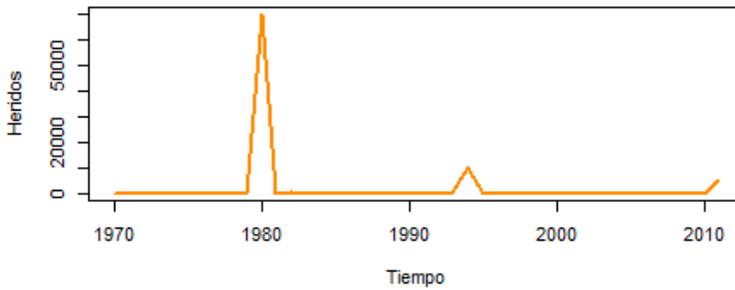
3.2.1.3 Heridos por las sequías

Se continúa con la misma metodología anteriormente expuesta tomando los valores de la base de datos de DesInventar para el caso de los heridos por sequía.

En el desarrollo de esta sección los datos históricos obtenidos resultaron ser los más escasos en comparación con los afectados y los muertos.

El evento catastrófico registrado más conspicuo fue en el estado de Chihuahua en el año de 1980, con un número de heridos que ascendió a 70,015, como se observa en la figura 11.

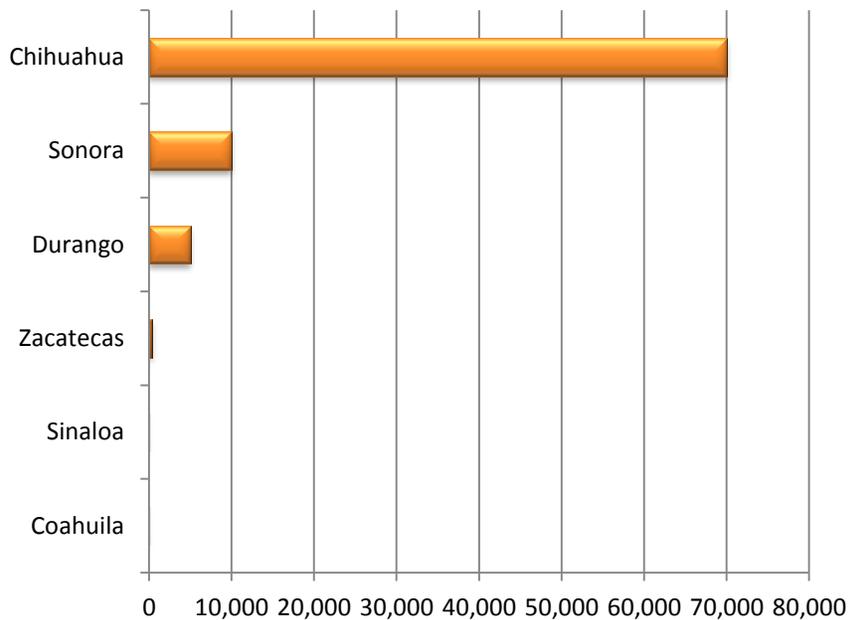
Figura 11
Heridos a consecuencia de las sequías de 1970 al 2011
Heridos a consecuencia de las sequías



Fuente: DesInventar. Generador de tabla de referencia cruzada para la República México. Se considera el evento de sequía. <http://online.desinventar.org/> Consultado el 17 de junio de 2013.

De acuerdo con la figura 12 los estados de Chihuahua, Sonora y Durango presentaron el mayor número de incidencias en el periodo comprendido en este estudio. Chihuahua representó el mayor número relativo de heridos con un 81.98 %.

Figura 12
Heridos en la República Mexicana a causa de las sequías de 1970 al 2011



Fuente: DesInventar. Generador de tabla de referencia cruzada para México. Se considera el evento de sequía. <http://online.desnventar.org/>. Consultado el 12 de junio de 2013.

En este caso los datos registrados para el estado de Chihuahua resultaron ser determinantes. La aplicación del modelo de Merton arrojó los parámetros registrados en el cuadro 7.

Cuadro 7
Valor de los parámetros para SPI 1-mes y el número de heridos con distintos umbrales

Estado	μ	σ	λ	x_0	No. Heridos Umbral 1	No. Heridos Umbral 2	No. Heridos Umbral 3
Chihuahua	-0.4501	7.9797	0.0702	1.18	9	8	8

Fuente: Elaboración propia

Esta simulación solamente se realizó en el estado de Chihuahua, por las razones antes mencionadas. Los números de heridos estimados son semejantes a los pronosticados para los muertos y afectados. Esto no es sorprendente, ya que cada uno de ellos es independiente del otro, por lo que no se puede realizar una comparación relativa entre las tres simulaciones.

Lo anterior se puede visualizar fácilmente de acuerdo con la información obtenida de la base de datos DesInventar. Los registros históricos proporcionan un número mayor de afectados (figura 8, p. 57) destacando seis estados; mientras que para el caso de los muertos (figura 10, p. 59) disminuye tanto las regiones como el número donde se presentan sólo dos estados con mayor relevancia y, por último, para el caso de los heridos, la figura 12 muestra sólo un estado con cifras relevantes: Chihuahua.

A manera de comentario se puede mencionar que el fenómeno hidrológico de la sequía no es determinante en sus consecuencias para la sociedad en nuestro país de acuerdo con los datos consultados.

La cantidad de muertos y heridos se presenta con mayor frecuencia en el estado de Chihuahua mientras que en la cantidad de los afectados, Chihuahua se encuentra entre los seis estados con mayor número de eventos. Hay que recordar que los valores anteriormente mencionados se tomaron para el periodo de 1970 al 2011; lo cual apunta a que el estado de Chihuahua fue muy vulnerable durante este periodo a las sequías. Esta situación puede ser diferente en la actualidad debido a cambios meteorológicos o a la implementación de políticas preventivas al respecto.

3.2.2 Escenarios para las inundaciones

La temporada de lluvias en la República Mexicana es determinante para la agricultura y por ende para la economía nacional. Por lo tanto, los estudios sobre la situación hidrológica juegan un papel trascendental; es por eso que en esta sección se trata sobre las consecuencias de las inundaciones utilizando el modelo de Merton.

La frecuencia de las inundaciones en México permite que exista un registro histórico amplio. Al igual que para el fenómeno de las sequías, las inundaciones se ven reflejadas en el número de afectados, muertos y heridos. Dada la relevancia del problema de

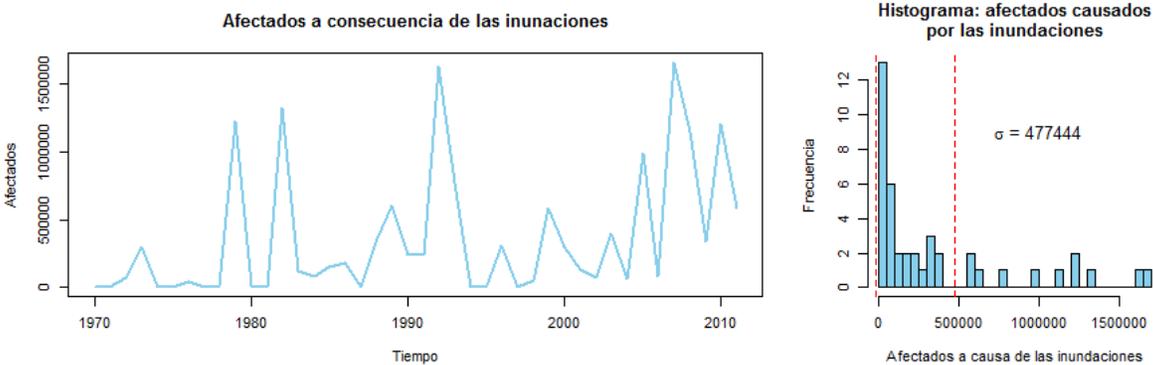
vivienda en el país se añaden, a la predicción de afectados, muertos y heridos, a través del modelo de Merton, las casas destruidas por este fenómeno hidrológico. Se entiende como casas destruidas las viviendas que no son habitables afectadas por las inundaciones.

3.2.2.1 Afectados por las inundaciones

La simulación se llevó a cabo con el modelo de Merton al igual que para el caso de las sequías (ver sección 3.2.1.1). También se conserva el mismo periodo de tiempo a analizar: de 1970 a 2011.

El registro de los afectados por las inundaciones a lo largo del periodo estudiado, como se observa en la figura 13, presenta un gran número de datos históricos en comparación con los datos proporcionados para las sequías (figuras 7, 9 y 11).

Figura 13
Personas afectados a causa de las inundaciones de 1970 al 2011



Fuente: DesInventar. Generador de tabla de referencias cruzadas para México. Se considera el evento de inundaciones. <http://online.desinventar.org/> Consultado el 17 de junio de 2013.

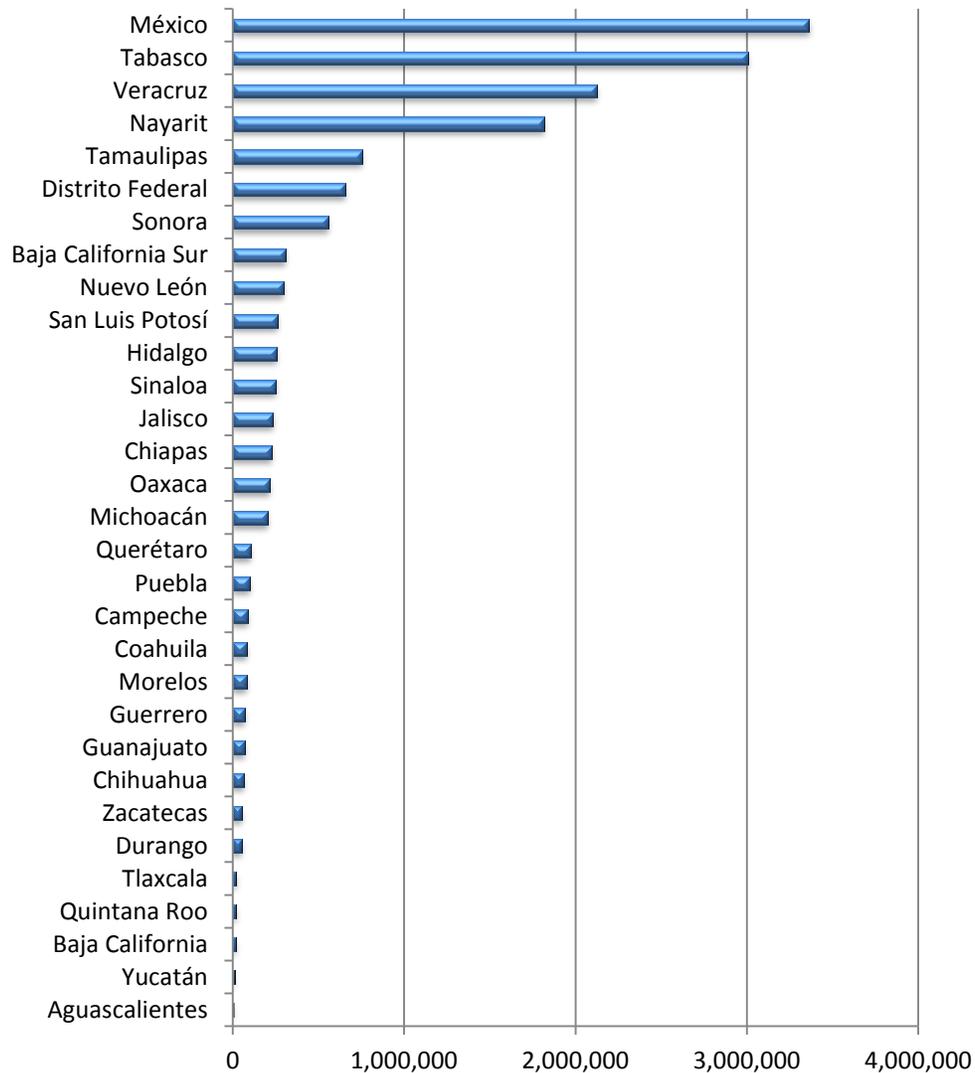
La frecuencia registrada de los afectados a consecuencia de las inundaciones se presenta en el histograma de la figura 13.

Cabe mencionar que en la figura 13 se presenta la suma de todos los afectados de los estados en un año específico; por ejemplo, para el año de 2007 el número de afectados ascendió a 1,657,991 que provinieron de 15 estados de la República Mexicana; esto fue consecuencia del desbordamiento del río Grijalva.

El estado de México presentó el mayor número de afectados durante el periodo estudiado. Seguido por los estados de Tabasco, Veracruz, Nayarit y Tamaulipas (la suma de los afectados en estos estados representa el 72.10%, figura 14); de aquí que se hayan seleccionado estos estados para llevar a cabo la simulación a través del modelo de Merton.

Dado que las condiciones meteorológicas cambian drásticamente los niveles de humedad, de una sequía a una inundación, surge la necesidad de cambiar los umbrales. Ahora los umbrales 1, 2 y 3 serán representados por la parte positiva del intervalo determinado por la desviación estándar.

Figura 14
Afectados en la República Mexicana a causa de las inundaciones de 1970 al 2011



Fuente: DesInventar. Generador de tabla de referencias cruzadas para México. Se considera el evento de inundaciones. <http://online.desnventar.org/>. Consultado el 12 de junio de 2013.

En el cuadro 8 se presentan los parámetros para el SPI -1 mes en julio del modelo de Merton para los estados de la República Mexicana seleccionados; además aparecen las cantidades de afectados para cada estado después de la simulación.

Cuadro 8

Valor de los parámetros para SPI- 1 mes y el número de afectados con distintos umbrales

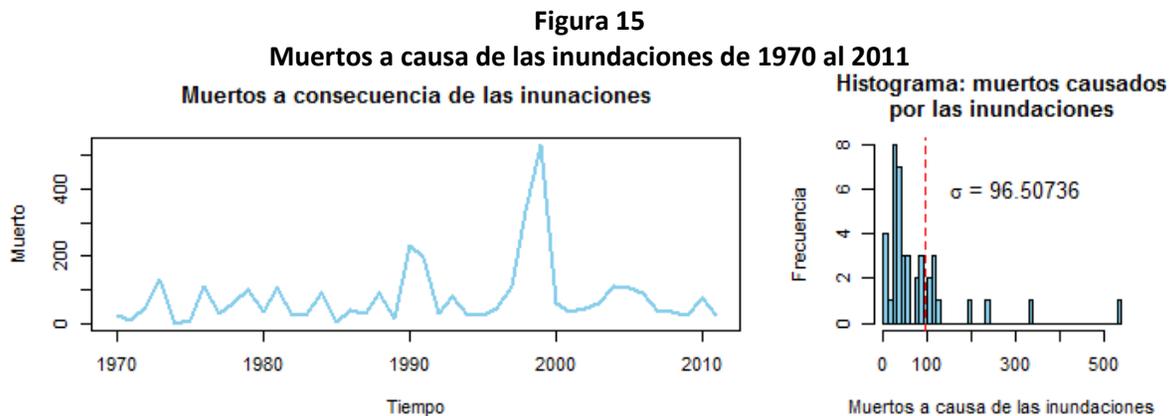
Estado	μ	σ	λ	x_0	No. Afectados Umbral 1	No. Afectados Umbral 2	No. Afectados Umbral 3
México	-1.9056	9.9886	0.0701	1.51	8	7	7
Tabasco	1.1921	12.0763	0.0877	-0.4	10	9	8
Veracruz	-0.4050	5.8443	0.1228	-5.067	11	10	10
Nayarit	0.1908	7.7119	0.1053	-0.3	9	9	9
Tamaulipas	-0.6892	4.0369	0.1929	-1.19	10	9	8

Fuente: Elaboración propia

Se aprecia del cuadro 8, al compararse con el cuadro 5, en lo que respecta a los afectados por sequía, que el estado de México aparece en ambos cuadros. Lo anterior implica que este estado está expuesto a cambios drásticos en su clima. De acuerdo con las simulaciones el número de afectados es mayor para el caso de inundaciones. Se recomienda un seguimiento exhaustivo para implementar medidas preventivas para este estado en lo que respecta a las inundaciones y a las sequías.

3.2.2.2 Muertos por las inundaciones

Siguiendo con el uso del modelo de Merton para las inundaciones se realizó el estudio para los fallecimientos a causa de las inundaciones. Los datos registrados se consignan en la figura 15.



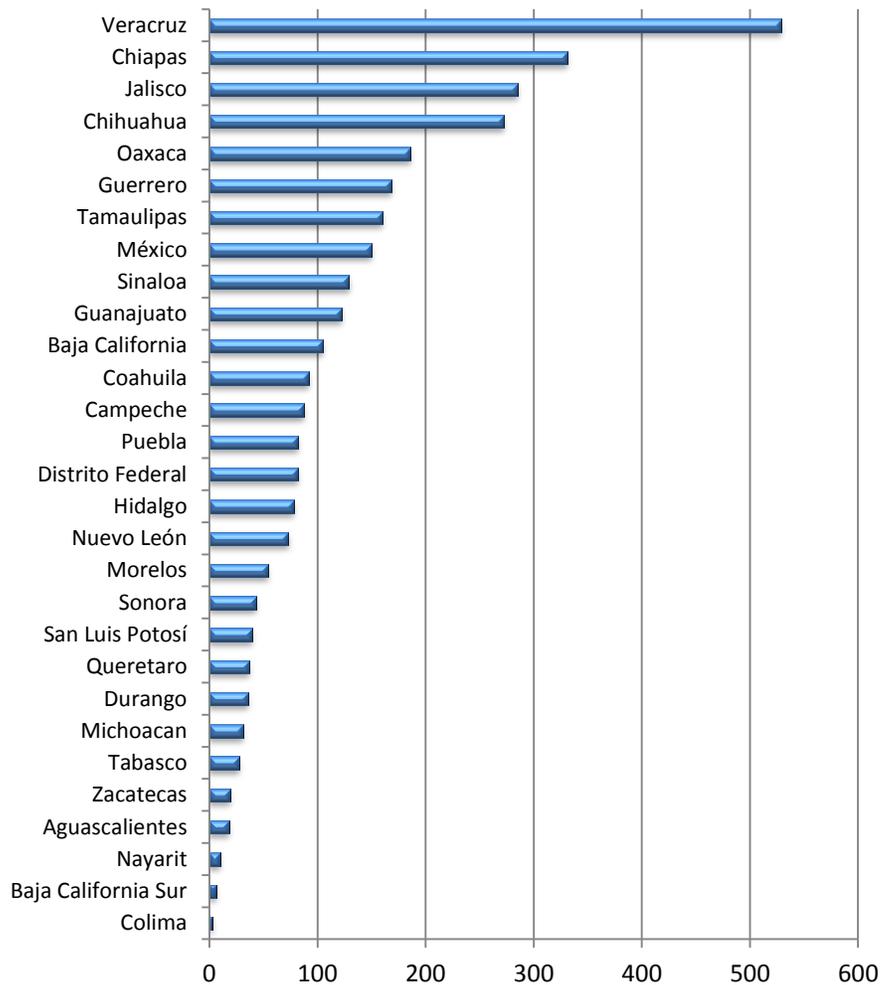
Fuente: DesInventar. Generador de tabla de referencias cruzadas para México. Se considera el evento de inundaciones. <http://online.desinventar.org/> Consultado el 17 de junio de 2013.

La gráfica anterior se divide en dos secciones para su interpretación: la primera se considera a partir del año de 1970 hasta el año 1999 y la segunda a partir del año 2000 a 2011. En la primera sección se observan variaciones súbitas hasta el año 1999, año en el que se presentaron numerosas muertes a consecuencia del desbordamiento del río Coatzacoalcos; y en la segunda sección se observa un suavizamiento de la curva que

indica una disminución en el número de muertos. El anterior comportamiento se ve reflejado en el histograma junto a la gráfica de la figura 15.

Los estados de Veracruz, Chiapas, Jalisco, Chihuahua, Oaxaca, Guerrero, Tamaulipas, México, Sinaloa y Guanajuato tienen el mayor número de muertos a causa de las inundaciones en el periodo de estudio y representan el 71.66% del total de muertos en la República Mexicana; razón por la cual se eligen para simular los valores del SPI (figura 16).

Figura 16
Muertos en la República Mexicana a causa de las inundaciones de 1970-2011



Fuente: DesInventar. Generador de tabla de referencias cruzadas para México. Se consideran el evento de inundaciones. <http://online.desnventar.org/>. Consultado el 12 de junio de 2013

Al aplicar el modelo de Merton con los parámetros obtenidos del SPI-1 mes en julio se generó el cuadro 9 que presenta los valores del modelo de Merton y las cantidades de muertos para cada estado.

Cuadro 9
Valor de los parámetros para SPI- 1 mes y el número de muertos con distintos umbrales

Estado	μ	σ	λ	x_0	No. Muertos Umbral 1	No. Muertos Umbral 2	No. Muertos Umbral 3
Veracruz	-0.405	5.8443	0.1228	-5.067	10	10	10
Chiapas	0.8649	19.8708	0.05263	-0.33	8	8	8
Jalisco	-0.4796	6.3526	0.0877	-0.51	7	8	9
Chihuahua	-0.4501	7.9797	0.0702	1.18	8	8	9
Oaxaca	-0.8289	8.2131	0.0877	-0.61	8	8	8
Guerrero	-0.1756	3.3070	0.1754	0.87	8	9	9
Tamaulipas	-0.6892	4.0369	0.1929	-1.19	9	9	9
México	-1.9056	9.9886	0.0701	1.51	7	8	8
Sinaloa	-0.5062	8.0755	0.0877	0.54	7	9	9
Guanajuato	-2.24	15.5008	0.0526	1.18	8	9	10

Fuente: Elaboración propia

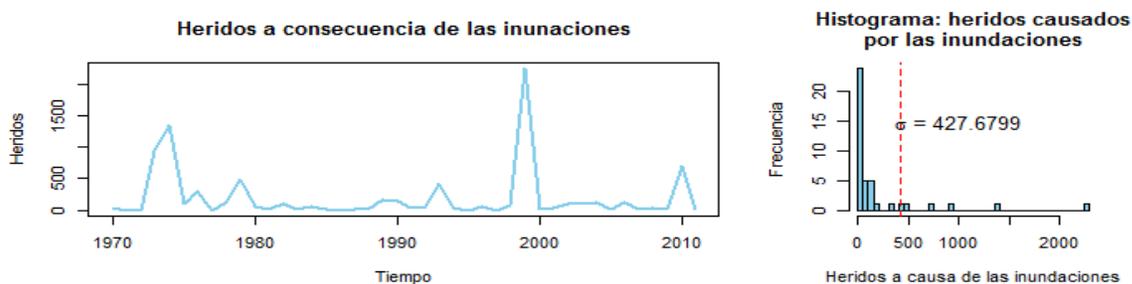
Resulta notable que el estado de Chihuahua se encuentre en esta clasificación de afectados, ya que también aparece en la sección de sequías. El evento que dio origen a la inclusión fue una tromba registrada en 1990 con 200 afectados.

Se destaca de los resultados anteriores que las estadísticas arrojan datos pertenecientes a estados que usualmente no se consideran afectados por inundaciones, es decir, en el caso presente el estado de Chihuahua, considerado un estado árido, presentó un número considerable de afectados por inundaciones.

3.2.2.3 Heridos por las inundaciones

En la figura 17 se muestra el número de heridos a consecuencia de las inundaciones.

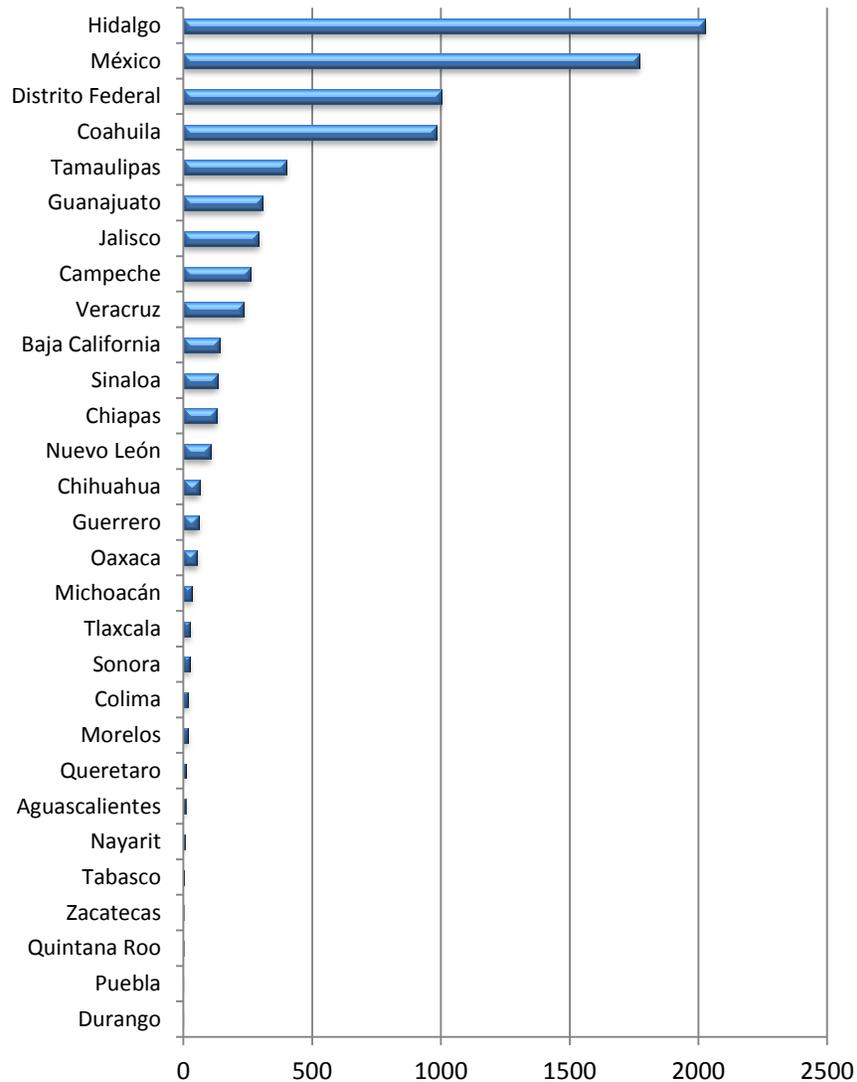
Figura 17
Heridos a causa de las inundaciones de 1970 al 2011



Fuente: DesInventar. Generador de tabla de referencias cruzadas para México. Se consideran el evento de inundaciones. <http://online.desinventar.org/> Consultado el 17 de junio de 2013.

Los estados seleccionados en este caso representan el 71.40% del total de heridos de la República Mexicana y se especifican en la figura 18. El resultado de esta selección se puede ver en el cuadro 10.

Figura 18
Heridos en la República Mexicana a causa de las inundaciones de 1970-2011



Fuente: DesInventar. Generador de tabla de referencias cruzadas para México. Se considera el evento de inundaciones. <http://online.desinventar.org/>. Consultado el 12 de junio de 2013

El estado de México aparece nuevamente en los análisis por inundaciones (como en afectados y en muertos); esto subraya su vulnerabilidad a este tipo de catástrofes meteorológicas.

Cuadro 10.

Valor de los parámetros para SPI- 1 mes y el número de heridos con distintos umbrales

Estado	μ	σ	λ	x_0	No. Heridos Umbral 1	No. Heridos Umbral 2	No. Heridos Umbral 3
Hidalgo	-2.6441	10.3551	0.0351	-0.78	8	8	8
México	-1.9056	9.9886	0.0701	1.51	9	9	10
Distrito Federal	0.9787	17.7738	0.0351	0.33	8	9	10
Coahuila	-0.7779	2.6179	0.2807	0.96	8	8	8

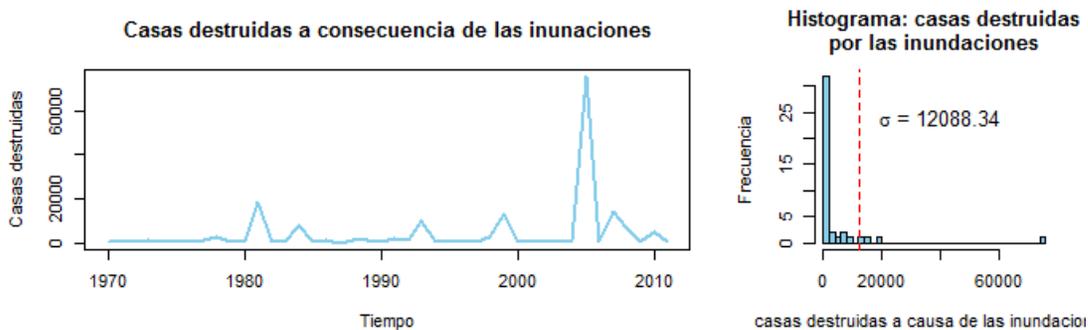
Fuente: Elaboración propia

3.2.2.4 Casas destruidas

Un aspecto importante de las inundaciones son los daños causados a las viviendas; como consecuencia, los reportes de los daños ocurridos registran usualmente las cifras de casas destruidas. Lo anterior da la pauta para que se incluya este efecto en el presente estudio.

La figura 19 muestra el número de casas destruidas en el periodo comprendido entre 1970 y 2011. Es evidente que en el 2007 hubo una mayor incidencia de viviendas inhabitables debido al desbordamiento del río Grijalva.

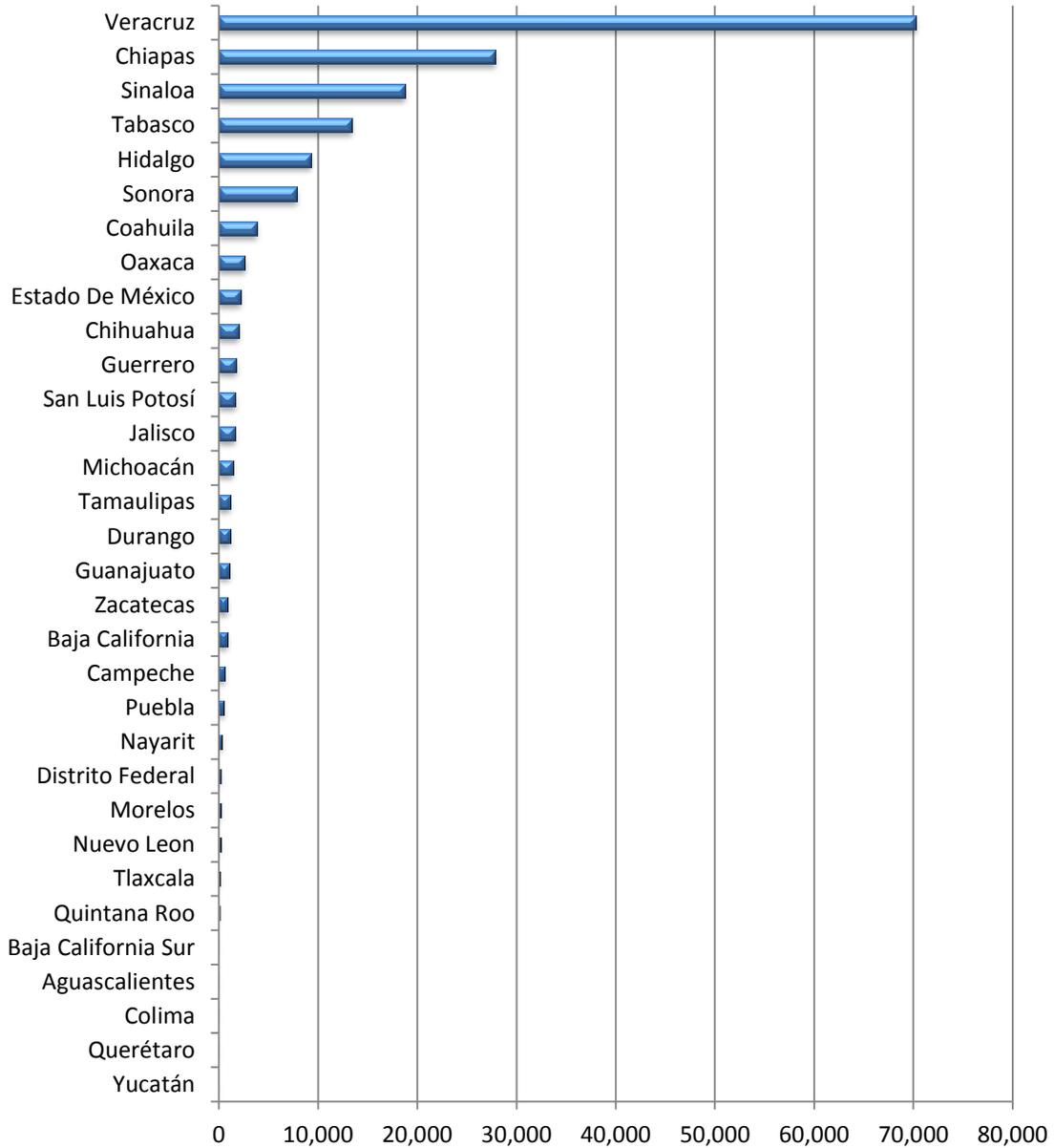
Figura 19
Casas destruidas a causa de las inundaciones de 1970 al 2011



Fuente: DesInventar. Generador de tabla de referencias cruzadas para México. Se considera el evento de inundaciones. <http://online.desinventar.org/> Consultado el 17 de junio de 2013.

Los datos de frecuencia consignados en la Figura 20 hacen ver que los estados de Veracruz, Chiapas, Sinaloa y Tabasco poseen el mayor número de casas destruidas por inundaciones (representan el 75.93% del total de las cifras reportadas).

Figura 20
Casas destruidas en la República Mexicana a causa de las inundaciones de 1970-2011



Fuente: DesInventar. Generador de tabla de referencias cruzadas para México. Se considera el evento de inundaciones. <http://online.desnventar.org/>. Consultado el 12 de junio de 2013

Aplicando el modelo de Merton para el SPI-1 mes en julio se genera el cuadro 11, donde se presentan los valores de las simulaciones y las cantidades de casas destruidas para cada estado.

Cuadro 11**Valor de los parámetros para SPI- 1 mes y el número de casas destruidas con distintos umbrales**

Estado	μ	σ	λ	x_0	No. Casas destruidas Umbral 1	No. Casas destruidas Umbral 2	No. Casas destruidas Umbral 3
Veracruz	-0.4050	5.8443	0.1228	-5.067	10	10	9
Chiapas	0.8649	19.8708	0.0526	-0.33	9	8	8
Sinaloa	-0.5062	8.0755	0.0877	0.54	9	9	8
Tabasco	1.1921	12.0763	0.0877	-0.4	10	9	9

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con este trabajo la simulación mostró que tanto el estado de México como Veracruz aparecen en tres de los cuatro aspectos estudiados. Lo anterior podría indicar cierta vulnerabilidad de estos estados ante las inundaciones. En segundo lugar los estados de Tabasco y Chiapas aparecen en dos de las cuatro consecuencias estudiadas en esta sección.

Un punto importante a tomar en cuenta, en el estudio de inundaciones, es el número de registros disponibles en las bases de datos originales cuando se comparan con los registros de las sequías. Los registros para las inundaciones son mayores que para las sequías. Por ejemplo, si se toma el caso de las sequías se observa que se reporta una cantidad aproximada de 1'600,000 afectados (ver figura 8, p. 57); mientras que para las inundaciones este registro asciende a 3'000,000 de afectados aproximadamente (ver figura 14, p. 64). Lo anterior podría parecer contradictorio si se analiza el número de heridos: aproximadamente 60,000 en sequías (figura 12, p. 61), mientras que para las inundaciones 2,000 (figura 18, p. 68); no obstante, el número de muertos: aproximadamente 30 en sequías y 500 en inundaciones, figuras 10 y 16 respectivamente, habla de la naturaleza inesperada de las inundaciones, pues es más probable que las personas perezcan, mientras que en las sequías la probabilidad de resultar herido es mayor.

Conclusiones

La naturaleza esencial entre las tasas de cambio del precio del activo subyacente y las tasas de cambio del SPI (*Standard Precipitation Index*) permitió establecer una relación entre ellas para la aplicación del modelo de saltos de difusión de Merton a los fenómenos hidrológicos de las sequías e inundaciones.

A partir de esta relación se construyeron tres escenarios con distintos umbrales. El segundo y tercer umbral son parecidos, de lo cual se puede concluir que el segundo umbral es determinante para la interpretación de los datos.

Dado que los valores estimados para las consecuencias de los fenómenos en cada simulación son muy semejantes, es necesario destacar que esto no significa que poseen el mismo impacto debido a que son consecuencias independientes.

El modelo de Merton está diseñado para calcular los precios futuros de un activo subyacente. Al realizar una analogía con el índice del SPI se obtiene el número promedio de saltos y de aquí la posibilidad de predecir las consecuencias de las catástrofes. De acuerdo con los resultados obtenidos se puede observar que no existe una correspondencia entre los valores estadísticos históricos con los valores estimados del modelo de Merton. Esto podría deberse a la amplitud del intervalo del periodo de estudio (un mes); por lo que sería deseable un registro de monitoreo más frecuente (diario) y enfocado a una zona determinada.

Desde un punto de vista general, y de acuerdo a la aplicación del modelo de Merton en este trabajo, se propone *grosso modo* que puede ser predictivo de la vulnerabilidad de algunas regiones que se estudiaron en este trabajo.

De acuerdo con los datos estudiados en esta tesis se observó que el fenómeno hidrológico más devastador se presenta con las inundaciones en comparación con las sequías; por lo que se propone que se enriquezcan los programas de contingencia ambiental para desastres por inundación.

De acuerdo con el periodo estudiado: 2007 – 2011, el estado de Chihuahua resultó ser uno de los más vulnerables a las sequías. En la actualidad esta situación pudo haber cambiado debido a la implementación de programas preventivos o cambios climatológicos. Por otro lado, los estados de Veracruz y México resultaron ser los más afectados como consecuencia de las inundaciones.

Es importante destacar que la aplicación de cualquier modelo predictivo tiene que ser apoyada con datos confiables. Esto es muy relevante para México ya que las bases de

datos estadísticos suelen ser escasas o inexistentes. Un florecimiento entre los estudios sociales y los modelos actuariales sólo podrá ser llevado a cabo exitosamente apoyado en bases de datos confiables. Al respecto se pueden mencionar el protocolo de Kyoto y el de Montreal que para su aplicación se tuvieron que contar con este tipo de datos estadísticos.

Anexo A

Construcción de la Integral de Itô

Se desea encontrar la solución en general a las ecuaciones de la forma

$$\frac{dX}{dt} = b(t, X_t) + \sigma(t, X_t) \cdot \text{"ruido"} \quad (\text{A.1})$$

dónde b y σ son funciones dadas. Para el caso cuando el ruido es 1-dimensional. Se busca algún proceso estocástico W_t para representar el término de ruido, de manera que

$$\frac{dX}{dt} = b(t, X_t) + \sigma(t, X_t) \cdot W_t \quad (\text{A.2})$$

Se asume que W_t tiene, al menos aproximadamente, estas propiedades:

- (i) $t_1 \neq t_2 \Rightarrow W_{t_1}$ y W_{t_2} son independientes.
- (ii) $\{W_t\}$ es estacionaria, es decir, la distribución (*conjunta*) de $\{W_{t_1+t}, \dots, W_{t_k+t}\}$ no depende de t .
- (iii) $E[W_t] = 0$ para todo t .

Sin embargo, no existe ningún proceso estocástico que cumpla con (i) y (ii): Tal W_t no puede tener trayectorias continuas. Si $E[W_t^2] = 1$, entonces la función $(t, \omega) \rightarrow W_t(\omega)$ no puede ser medible, con respecto a la σ -álgebra $B \times F$, donde B es la σ -álgebra de Borel en $[0, \infty)$.

No obstante, es posible representar W_t como un proceso estocástico generalizado llamado el "*proceso de ruido blanco*". El proceso *generalizado* significa que puede ser construido como una medida de probabilidad en el espacio S^1 de distribuciones en $[0, \infty)$, y no como una medida de probabilidad en el espacio mucho más pequeño $\mathbb{R}^{[0, \infty)}$.

Se evita este tipo de construcción y se reescribe la ecuación (A.2) en una forma que sugiere una sustitución de W_t en un proceso estocástico adecuado. Sea $0 = t_0 < t_1 < \dots < t_m = t$ y considerar una versión discreta de (A.2):

$$X_{k+1} - X_k = b(t_k, X_k) \Delta t_k + \sigma(t_k, X_k) W_k \Delta t_k \quad (\text{A.3})$$

Dónde:

$$X_j = X(t_j), \quad W_k = W_{t_k}, \quad \Delta t_k = t_{k+1} - t_k$$

Se sustituye la notación W_k y se reemplaza $W_k \Delta t_k$ por $\Delta V_k = V_{t_{k+1}} - V_{t_k}$, donde $\{V_t\}_{t \geq 0}$ es un proceso estocástico adecuado. Los supuestos (i), (ii) y (iii) en W_t sugieren que V_t debe tener *incrementos independientes estacionarias con media 0*. Resulta que el proceso sólo con tales trayectorias continuas es el movimiento Browniano B_t . Así que ponemos $V_t = B_t$ y obtener a partir de (A.3):

$$X_k = X_0 + \sum_{j=0}^{k-1} b(t_j, X_j) \Delta t_j + \sum_{j=0}^{k-1} \sigma(t_j, X_j) \Delta B_j \quad (\text{A.4})$$

Cuando el límite de la parte derecha de (A.4) existe, en cierto sentido, cuando $\Delta t_j \rightarrow 0$, a continuación, mediante la aplicación de la notación de integración usual debemos obtener

$$X_k = X_0 + \int_0^t b(s, X_s) ds + \int_0^t \sigma(s, X_s) dB_s \quad (\text{A.5})$$

y nos gustaría adoptar como una convención que (A.2) en realidad significa que $X_t = X_t(\omega)$ es un proceso estocástico satisfaciendo (A.5).

Se prueba la existencia de la integral $\int_0^t f(s, \omega) dB_s(\omega)$

donde $B_s(\omega)$ es 1-dimensional movimiento Browniano de partida en el origen, para una amplia clase de funciones $f : [0, \infty) \times \Omega \rightarrow \mathbb{R}$.

Supongamos $0 \leq S < T$ y $f(t, \omega)$ está dado. Se desea definir

$$\int_S^T f(t, \omega) dB_t(\omega) \quad (\text{A.6})$$

Se empieza con una definición para una clase simple de las funciones f y luego se extenderla por algún procedimiento de aproximación. Por lo tanto, se asume que f que tiene la forma

$$\phi(t, \omega) = \sum_{j \geq 0} e_j(\omega) \cdot I_{[j \cdot 2^{-n}, (j+1) \cdot 2^{-n})}^{(t)} \quad (\text{A.7})$$

donde I denota la función indicadora³¹ y n es un número natural. Para la éste familia de funciones se define:

$$\int_S^T \phi(t, \omega) dB_t(\omega) = \sum_{j \geq 0} e_j(\omega) [B_{t_{j+1}} - B_{t_j}](\omega) \quad (\text{A.8})$$

Dónde:

$$t_k = t_k^{(n)} = \begin{cases} k \cdot 2^{-n} & \text{si } S \leq k \cdot 2^{-n} \leq T \\ S & \text{si } k \cdot 2^{-n} < S \\ T & \text{si } k \cdot 2^{-n} > T \end{cases}$$

Sin embargo, sin ninguna hipótesis adicional sobre la función $e_j(\omega)$ dificulta esto lleva a dificultades para calcular la integral, es decir, las variaciones de las trayectorias de B_t son demasiadas grandes para que podamos definir la integral (A.6) en el sentido de Riemann-Stieltjes. De hecho, se puede demostrar que la trayectoria $t \rightarrow B_t$ del movimiento Browniano B_t está muy lejos de la diferenciabilidad, casi seguramente. En particular, la variación total de la trayectoria es infinita casi seguramente.

En general, para aproximar una función dada $f(t, \omega)$ por

$$\sum_j f(t_j^*, \omega) \cdot I_{[t_j, t_{j+1})}^{(t)}$$

donde los puntos t_j^* pertenecen a los intervalos (t_j, t_{j+1}) , y definimos $\int_S^T f(t, \omega) dB_t(\omega)$

como el límite de $\sum_j f(t_j^*, \omega) [B_{t_{j+1}} - B_{t_j}](\omega)$ con $n \rightarrow \infty$. Sin embargo, existe una diferencia con t_j^* que elijamos, en comparación con la integral de Riemann-Stieltjes. Las siguientes dos opciones han resultado ser lo más útil:

1) $t_j^* = t_j$ (el punto extremo izquierdo), que conduce a la *integral Itô*, denotado por:

$$\int_S^T f(t, \omega) dB_t(\omega),$$

2) $t_j^* = (t_j + t_{j+2})/2$ (el punto medio), lo que conduce a la *integral Stratonovich*, denotado por:

³¹ Función indicadora : $I_{\Omega}^{(x)} = \begin{cases} 0 & x \notin \Omega \\ 1 & x \in \Omega \end{cases}$

$$\int_s^T f(t, \omega) \circ dB_t(\omega)$$

En cualquier caso, uno debe limitarse a una clase especial de funciones $f(t, \omega)$ en (A.6), también si tienen la forma particular (A.7), con el fin de obtener una razonable definición de la integral. Se presentará la elección de Itô $t_j^* = t_j$. El procedimiento de aproximación que se ha indicado anteriormente se resolverá plenamente a condición de que f tiene la propiedad de que cada una de las funciones $\omega \rightarrow f(t_j, \omega)$ sólo depende del comportamiento de $B_s(\omega)$ hasta el tiempo t_j . Esto conduce a los siguientes conceptos importantes:

Definición A.1. Sea $B_t(\omega)$ un movimiento Browniano n -dimensional. Entonces se define $\mathcal{F}_t = \mathcal{F}_t^{(n)}$ ser la σ -álgebra generada por las variables aleatorias $B_s(\cdot)$; $s \leq t$. En otras palabras, \mathcal{F}_t es la más pequeña de σ -álgebra que contiene todos los conjuntos de

$$\{\omega; B_{t_1}(\omega) \in F_1, \dots, B_{t_k}(\omega) \in F_k\}$$

donde $t_j \leq t$ y $F_j \subset \mathbb{R}^n$ son conjuntos de Borel, $j \leq k = 1, 2, \dots$: (Suponemos que todos los conjuntos de medida cero se incluyen en \mathcal{F}_t).

A menudo se piensa en \mathcal{F}_t como la trayectoria de la B_s hasta el momento t . Una función $h(\omega)$ será \mathcal{F}_t -medible si y sólo si h se puede escribir como el límite de sumas de funciones de la forma

$$g_1(B_{t_1})g_2(B_{t_2}) \cdots g_k(B_{t_k}),$$

donde g_1, \dots, g_k están delimitadas las funciones continuas y $t_j \leq t$ para $j \leq k$, $k = 1, 2, \dots$. Intuitivamente h es \mathcal{F}_t -medible; el valor de $h(\omega)$ puede ser elegido de los valores de $B_s(\omega)$ para $s \leq t$. Por ejemplo, $h_1(\omega) = B_{t/2}(\omega)$ es \mathcal{F}_t -medible, mientras que $h_2(\omega) = B_{2t}(\omega)$ no lo es.

Nótese que $\mathcal{F}_s \subset \mathcal{F}_t$ para $s \leq t$ (es decir $\{\mathcal{F}_t\}$ va en aumento) y por eso $\mathcal{F}_t \subset \mathcal{F}$ para toda t .

Definición A.2 Sea $\{\mathcal{N}_t\}_{t \geq 0}$ ser una familia creciente de σ -álgebras de sub-conjuntos de Ω . Un proceso de $g(t, \omega): [0, \infty) \times \Omega \rightarrow \mathbb{R}^n$ se llama \mathcal{N}_t -adaptado si para cada $t \geq 0$ la función

$$\omega \rightarrow g(t, \omega)$$

Es \mathcal{N}_t -medible.

Así, el proceso $h_1(t, \omega) = B_{t/2}(\omega)$ es \mathcal{F}_t -adaptado, mientras que $h_2(t, \omega) = B_{2t}(\omega)$ no lo es. Ahora se describe clase de funciones para las que la Integral de Itô estará definida:

Definición C.3. Sea $\mathcal{V} = \mathcal{V}(S, T)$ la familia de funciones

$$f(t, \omega) : [0, \infty) \times \Omega \rightarrow \mathbb{R}$$

Tales que:

- (i) $(t, \omega) \rightarrow f(t, \omega)$ es $\mathcal{B} \times \mathcal{F}$ -medible, donde \mathcal{B} denota la σ -álgebra de Borel en $[0, \infty)$.
- (ii) $f(t, \omega)$ es \mathcal{F}_t -adaptado.
- (iii) $E \left[\int_s^T f(t, \omega)^2 dt \right] < \infty$.

La Integral de Itô

Para funciones $f \in \mathcal{V}$ la Integral de Itô

$$\mathcal{I}[f](\omega) = \int_s^T f(t, \omega) dB_t(\omega)$$

donde B_t es 1-dimensional movimiento browniano.

Se define $\mathcal{I}[\phi]$ para una clase simple de funciones ϕ . Para cada $f \in \mathcal{V}$ puede ser aproximada por ϕ 's y se usa este parámetro para definir $\int f dB$ como el límite de $\int \phi dB$ cuándo $\phi \rightarrow f$.

La construcción de la integral de Itô se detalla: una función $\phi \in \mathcal{V}$ se llama elemental si tiene la forma

$$\phi(t, \omega) = \sum_j e_j(\omega) \cdot \mathcal{X}_{[t_j, t_{j+1})}(t) \tag{A.9}$$

Cada función e_j debe ser \mathcal{F}_{t_j} -medible, debido a que $\phi \in \mathcal{V}$

Para las funciones elementales $\phi(t, \omega)$ que definen la integral de acuerdo con (A.8), es decir,

$$\int_s^T \phi(t, \omega) dB_t(\omega) = \sum_{j \geq 0} e_j(\omega) [B_{t_{j+1}} - B_{t_j}](\omega) \tag{A.10}$$

Lema C.4 (La isometría de Itô). Si $\phi(t, \omega)$ es acotada y elemental entonces

$$E \left[\left(\int_S^T \phi(t, \omega) dB_t(\omega) \right)^2 \right] = E \left[\int_S^T \phi(t, \omega)^2 dt \right] \quad (\text{A.11})$$

Prueba:

Sea $\Delta B_j = B_{t_{j+1}} - B_{t_j}$. Entonces

$$E[e_i e_j \Delta B_i \Delta B_j] = \begin{cases} 0 & \text{si } i \neq j \\ E[e_j^2] \cdot (t_{j+1} - t_j) & \text{si } i=j \end{cases}$$

usando que $e_i e_j \Delta B_i$ y ΔB_j son independientes si $i < j$. Asimismo

$$E \left[\left(\int_S^T \phi dB \right)^2 \right] = \sum_{i,j} E[e_i e_j \Delta B_i \Delta B_j] = \sum_j E[e_j^2] \cdot (t_{j+1} - t_j)$$

La idea ahora es utilizar la isometría (A.11) para ampliar la definición de funciones elementales a funciones en \mathcal{V} . Esto se hace en varios pasos:

Paso 1. Sea $g \in \mathcal{V}$ es acotada y $g(\cdot, \omega)$ continua para cada ω . Entonces existen funciones elementales $\phi_n \in \mathcal{V}$ tal que

$$E \left[\int_S^T (g - \phi_n)^2 dt \right] \rightarrow 0 \quad \text{cuando } n \rightarrow \infty.$$

Prueba.

Se define $\phi_n(t, \omega) = \sum_j g(t_j, \omega) \cdot \mathcal{X}_{[t_j, t_{j+1})}(t)$. Entonces ϕ_n es elemental para $g \in \mathcal{V}$, y

$\int_S^T (g - \phi_n)^2 dt \rightarrow 0$ para $n \rightarrow \infty$, para cada ω , ya que $g(\cdot, \omega)$ es continua para cada ω .

Por lo tanto $E \left[\int_S^T (g - \phi_n)^2 dt \right] \rightarrow 0$ para $n \rightarrow \infty$, por la convergencia acotada.

Paso 2. Sea $h \in \mathcal{V}$ acotada. Entonces existen funciones acotadas $g_n \in \mathcal{V}$ de tal manera

que $g_n(\cdot, \omega)$ es continua para toda ω y $E \left[\int_S^T (h - g_n)^2 dt \right] \rightarrow 0$

Prueba.

Supongamos $|h(t, \omega)| \leq M$ para todo (t, ω) . Para cada una n sea ψ_n una función continua no negativa en \mathbb{R} tal que

$$(i) \psi_n(x) = 0 \text{ para } x \leq -\frac{1}{n} \text{ y } x \geq 0$$

$$y \quad (ii) \int_{-\infty}^{\infty} \psi_n(x) dx = 1$$

$$\text{Se define: } g_n(t, \omega) = \int_0^t \psi_n(s-t) h(s, \omega) ds$$

Entonces $g_n(\cdot, \omega)$ es continua para cada ω y $|g_n(t, \omega)| \leq M$. Puesto que $h \in \mathcal{V}$ se puede demostrar que $g_n(t, \cdot)$ es \mathcal{F}_t -medible para todo t .

$$\text{Adem\u00e1s, } \int_s^T (g_n(s, \omega) - h(s, \omega))^2 ds \text{ para } n \rightarrow \infty, \text{ para cada } \omega,$$

desde $\{\psi_n\}_n$ constituye una identidad aproximada. Y por la convergencia acotada.

$$E \left[\int_s^T (h(t, \omega) - g_n(t, \omega))^2 dt \right] \rightarrow 0 \text{ cuando } n \rightarrow \infty$$

como se afirm\u00f3.

Paso 3. Sea $f \in \mathcal{V}$. Entonces existe una secuencia $\{h_n\} \subset \mathcal{V}$ tal que h_n es acotada para

$$\text{cada } n \text{ y } E \left[\int_s^T (f - h_n)^2 dt \right] \rightarrow 0 \text{ para } n \rightarrow \infty$$

Prueba.

$$\text{Sea } h_n(t, \omega) = \begin{cases} -n & \text{si } f(t, \omega) < -n \\ f(t, \omega) & \text{si } -n < f(t, \omega) < n \\ n & \text{si } f(t, \omega) > n \end{cases}$$

Entonces la conclusi\u00f3n es consecuencia de la convergencia dominada. Esto completa el procedimiento de aproximaci\u00f3n.

Para completar la definici\u00f3n de la integral de It\u00f4

$$\int_s^T f(t, \omega) dB_t(\omega) \text{ para } f \in \mathcal{V}$$

Si $f \in \mathcal{V}$ elegida, por los pasos 1-3, las familias de funciones elementales $\phi_n \in \mathcal{V}$ tales que

$$E \left[\int_s^T |f - \phi_n|^2 dt \right] \rightarrow 0.$$

Se define:
$$\mathcal{I} [f](\omega) := \int_S^T f(t, \omega) dB_t(\omega) := \lim_{n \rightarrow \infty} \int_S^T \phi_n(t, \omega) dB_t(\omega)$$

El límite existe como un elemento de $L^2(P)$, desde $\left\{ \int_S^T \phi_n(t, \omega) dB_t(\omega) \right\}$ forma una sucesión de Cauchy en $L^2(P)$, por (A.11).

Se resume de la siguiente manera:

Definición A.5 (La Integral de Itô). Sea $f \in \mathcal{V}(S, T)$. Entonces la Integral de Itô de f (de S a T) es definida por

$$\int_S^T f(t, \omega) dB_t(\omega) = \lim_{n \rightarrow \infty} \int_S^T \phi_n(t, \omega) dB_t(\omega) \quad (\text{límite en } L^2(P)) \quad (\text{A.12})$$

Dónde: $\{\phi_n\}$ es una sucesión de funciones elementales tales que

$$E \left[\int_S^T (f(t, \omega) - \phi_n(t, \omega))^2 dt \right] \rightarrow 0 \quad \text{para } n \rightarrow \infty \quad (\text{A.13})$$

Es preciso notar que para cada secuencia $\{\phi_n\}$ satisface (A.13) existen los pasos 1-3 anteriormente. Además, por (A.11) el límite de (A.12) existe y no depende en la elección real de $\{\phi_n\}$, siempre que (A.13) se mantenga. Además, a partir (A.11) y (A.12) se obtiene el siguiente resultado importante.

Corolario C.6 (La isometría de Itô).

$$E \left[\left(\int_S^T f(t, \omega) dB_t \right)^2 \right] = E \left[\int_S^T f^2(t, \omega) dt \right] \quad \forall f \in \mathcal{V}(S, T) \quad (\text{A.14})$$

Corolario C.7. Si $f(t, \omega) \in \mathcal{V}(S, T)$ y $f_n(t, \omega) \in \mathcal{V}(S, T)$ para $n=1, 2, \dots$ y

$$E \left[\int_S^T (f_n(t, \omega) - f(t, \omega))^2 dt \right] \rightarrow 0 \quad \text{para } n \rightarrow \infty$$

Entonces,

$$\int_S^T f(t, \omega) dB_t(\omega) \rightarrow \int_S^T f(t, \omega) dB_t(\omega) \quad \text{en } L^2(P) \text{ para } n \rightarrow \infty.$$

Anexo B

Metodología del índice de precipitación estandarizado SPI

El SPI es calculado en base a la suposición de la cantidad de la precipitación tiene una distribución probabilística *Gamma* (α, λ), por lo que al utilizar estos índices para ajustarlos a una distribución de probabilidad normal se le nombra como estandarización o normalización de la precipitación. Los valores son representativos de la variabilidad de la precipitación con respecto a sus antecedentes, en donde los valores extremos que exceden ± 2.0 para determinado periodo indican el déficit o exceso de precipitación McKee en el año 1993.

Los mapas muestran patrones espaciales de 1, 3, 6, 9, 12 y 24 meses, en donde las características para periodos largos o cortos se clasifica como: SPI - 1 mes, indica las condiciones de humedad del suelo; SPI - 3 meses, es una estimación de la precipitación estacional; SPI - 6, 9, 12 y 24 meses, indican los impactos en los niveles de reserva de agua.

La estructura del SPI permite determinar la anomalía de una sequía o un evento extremo mojado en una escala de tiempo determinado para cualquier lugar en el país que tenga un historial precipitación.

Thom (1966) muestra que la distribución gamma modela las series de tiempo de precipitación climatológica. La función de densidad de probabilidad gamma está definida como:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{\lambda^\alpha x^{\alpha-1} e^{-\lambda x}}{\Gamma(\alpha)} & \text{si } x \in (0, \infty) \\ \text{e.o.c} & \text{si } x \notin (0, \infty) \end{cases}; \text{ para } \alpha > 0 \text{ y } \lambda > 0.$$

Dónde:
 α : es un parámetro de forma
 λ : es un parámetro de escala
 $x > 0$ x es la cantidad de precipitación

$$\Gamma(\alpha) : \text{ es la función gamma. } \Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} y^{\alpha-1} e^{-y} dy,$$

Por ejemplo, la Figura A.1 se muestra la función de densidad de una variable aleatoria que se distribuye gamma con parámetros $\alpha = 2$ y $\lambda = 2$; $\alpha = 1$ y $\lambda = 2$; $\alpha = 3$ y $\lambda = 2$; $\alpha = 5$ y $\lambda = 1$;

$\alpha=9$ y $\lambda=0.5$. El cálculo de la SPI implica ajustar una función de densidad de probabilidad gamma para una distribución de frecuencia dada de los totales de precipitación para una estación. Los parámetros α y λ de la función de densidad de probabilidad Gamma se estiman para cada estación, para cada escala de tiempo de interés (1 mes, 2 meses, 3 meses, 6 meses, 9 meses, 12 meses y 24 meses), y para cada mes del año. De Thom (1966), las soluciones de máxima verosimilitud se utilizan para estimar de manera óptima α y λ :

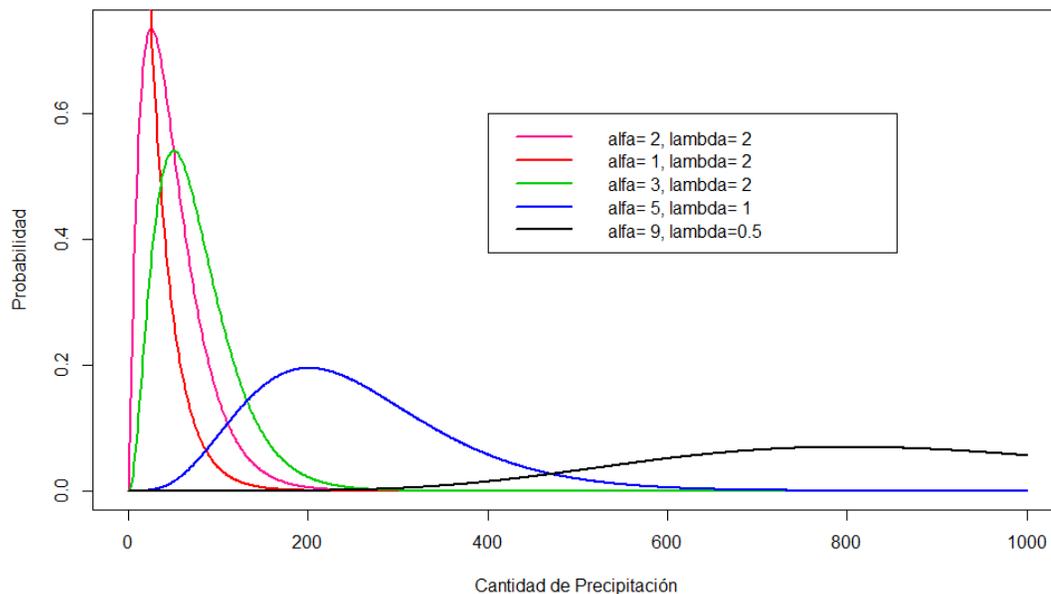
$$\hat{\alpha} = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right); \quad \hat{\lambda} = \frac{\bar{x}}{\hat{\alpha}}$$

Dónde: $A = Ln(\bar{x}) - \frac{\sum Ln(x)}{n}$
 n = número de observaciones de precipitación

Los parámetros resultantes se utilizan entonces para encontrar la probabilidad acumulada de un evento de precipitación observada para el mes dado y escala de tiempo para la estación en cuestión. La probabilidad acumulada es dada por:

$$G(x) = \int_0^x g(x)dx = \frac{\hat{\lambda}^{\hat{\alpha}}}{\Gamma(\hat{\alpha})} \int_0^x x^{\hat{\alpha}-1} e^{-\hat{\lambda}x} dx$$

Figura B.1
Comparación de la distribución de densidad de una variable aleatoria que se distribuye Gamma con distintos parámetros
Distribución Gamma



Fuente: Elaboración propia. Se utiliza paquetería R.

Sea $t = x / \hat{\lambda}$, con esta transformación se convierte en la función gamma incompleta:

$$G(x) = \frac{1}{\Gamma(\hat{\alpha})} \int_0^x t^{\hat{\alpha}-1} e^{-t} dt$$

Dado que la función gamma es indefinida en $x=0$ y una distribución de la precipitación puede contener ceros, la probabilidad acumulada se convierte en:

$$H(x) = q + (1 - q)G(x)$$

Donde q es la probabilidad de cero. Si m es el número de ceros en una serie de tiempo de precipitación, Thom (1966) afirma que q puede ser estimado por m/n . Thom (1966) utiliza las tablas de la función gamma incompleta para determinar la probabilidad acumulativa $G(x)$. McKee et al. (1993) utilizan un método analítico junto con el código de software sugerido desde Press et al. (1988) para determinar la probabilidad acumulada.

La probabilidad acumulada, $H(x)$, se transforma en la variable aleatoria normal estándar Z con media cero y varianza de uno, que es el valor del SPI. Esta es una transformación que es simétrica respecto de 0, con la cual Panofsky y Brier (1958) tiene la función esencial de la transformación de una variable aleatoria de una distribución; para este caso gamma, a una variable aleatoria con una distribución de la forma prescrita; normal estándar, de tal manera que la probabilidad de estar menos de un valor dado de la variable aleatoria será la misma que la probabilidad de ser menor que el valor correspondiente de la variable aleatoria transformado.

Para reproducir el procedimiento para todas las estaciones en todas las escalas de tiempo y para cada mes del año, el valor Z o SPI se obtiene más fácilmente computacionalmente utilizando una aproximación proporcionada por Abramowitz y Stegun (1965) que convierte la probabilidad acumulada a la variable aleatoria normal estándar Z ahora SPI:

$$Z = SPI = - \left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right) \quad \text{para } 0 < H(x) \leq 0.5$$

$$Z = SPI = + \left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3} \right) \quad \text{para } 0.5 < H(x) < 1.0$$

Dónde:

$$t = \begin{cases} \sqrt{\text{Ln} \left(\frac{1}{(H(x))^2} \right)} & \text{para } 0 < H(x) \leq 0.5 \\ \sqrt{\text{Ln} \left(\frac{1}{(1-H(x))^2} \right)} & \text{para } 0.5 < H(x) < 1.0 \end{cases} ; y;$$

$$c_0 = 2.515517 \quad d_1 = 1.432788$$

$$c_1 = 0.802853 \quad d_2 = 0.189269$$

$$c_2 = 0.010328 \quad d_3 = 0.001308$$

El SPI representa una puntuación “z”, o el número de desviaciones estándar por encima o por debajo de un evento que es a partir de la media. Sin embargo, esto no es exactamente cierto para las escalas de tiempo cortas ya que la distribución original de precipitación está sesgada. Sin embargo, en la función de densidad de una variable aleatoria normal, muestra que durante el periodo de referencia $P(|SPI| < 1) = 0.6828$, para el que se estiman los parámetros gamma, el SPI tendrá una distribución normal con un valor esperado de cero y una varianza de uno. Katz y Glantz (1986) afirman que requiere un índice para tener un valor esperado fija y la varianza es deseable con el fin de hacer comparaciones de los valores de índice entre diferentes estaciones y regiones significativas.

El SPI se normaliza a una ubicación de la estación, ya que representa la distribución de frecuencia de la precipitación, así como la variación de acompañamiento en la estación. Además, el SPI se normaliza en el tiempo, ya que puede ser calculado en cualquier número de escalas de tiempo, dependiendo de los impactos de interés para el analista. Además, sin importar la ubicación o escala de tiempo, el SPI representa una probabilidad acumulada en relación con el periodo de base para los que se estimaron los parámetros de Gamma. El cuadro A.1 es una tabla de SPI, su correspondiente probabilidad acumulada y su la categoría de la sequía.

Cuadro B.1
Probabilidad acumulada y categoría según el valor de SPI

Valores SPI	Probabilidad acumulada	Categoría de la sequía
-3.0	0.0014	
-2.5	0.0062	
-2.0	0.0228	-2.0 o menos Extremadamente seco
-1.5	0.0668	-1.5 a -1.99 Severamente seco
-1.0	0.1587	-1.0 a -1.49 Moderadamente seco
-0.5	0.3085	-0.01 a -0.99 Casi normal
0	0.5000	Normal
0.5	0.6915	0.01 a 0.99 Casi normal
1.0	0.8413	1.0 a 1.49 Moderadamente húmedo
1.5	0.9332	1.5 a 1.99 Muy húmedo
2.0	0.9772	2.0 o más Extremadamente húmedo
2.5	0.9938	
3.0	0.9986	

Fuente: Elaboración propia, utilizando los datos de SPI

Anexo C

Tablas

Cuadro C.1
Estaciones de monitoreo de la República Mexicana

No. Estación	Latitud	Longitud	Nombre de estación
1001	21.870	-102.300	Aguascalientes
2072	31.883	-116.600	Ensenada
3005	22.880	-109.910	Cabo Sn. Lucas
3030	23.583	-109.550	La Ribera
3035	26.000	-111.330	Loreto-Mulege
3049	23.817	-110.050	San Antonio
3056	23.050	-109.667	Sn. J. Del Cabo
3061	27.280	-112.250	Santa Rosalia
3066	23.433	-110.220	Todos Santos
3074	24.150	-110.367	La Paz
3132	24.958	-111.700	Cd. Constitución-Buenavista
4003	19.850	-90.550	Campeche
4004	18.180	-91.050	Candelaria
4008	19.350	-90.720	Champotón
4013	19.530	-90.530	Hopelchen-Bolenchen
5024	25.450	-102.167	Parras
5030	27.517	-100.617	P. Venus Carranza
5033	27.930	-101.233	Sabinas
5040	25.570	-103.450	Torreón
5047	26.883	-101.417	Monclova
5048	25.450	-100.983	Saltillo
6018	19.050	-104.333	Manzanillo
6040	19.233	-103.733	Colima
7039	16.650	-93.150	El Boquerón
7102	16.750	-93.550	Las Flores
7164	14.933	-92.267	Tapachula
7166	14.950	-92.120	Talismán
7175	16.033	-93.267	Villa Flores
7202	16.750	-93.120	Tuxtla Gutiérrez (Dge)
7205	16.250	-92.117	Comitán
8007	27.050	-107.650	Batopilas (Dge)
8029	27.133	-104.930	Cd. Jiménez-Sierra Mojada
8040	28.633	-106.067	Chihuahua

No. Estación	Latitud	Longitud	Nombre de estación
8043	27.400	-108.533	Chinipas
8078	26.933	-105.667	Hidalgo del Parral
8107	30.400	-107.920	Nuevo Casas Grandes-Casas Grandes
8142	28.950	-107.850	Temosachic
9048	19.400	-99.200	Tacubaya
10012	24.783	-103.667	Cuencame
10017	24.033	-104.667	Durango
10021	25.580	-105.020	El Palmito(P. L. Cárdenas)
10049	25.250	-104.110	Nazas
10090	24.500	-104.750	Canatlan
10156	25.350	-105.717	Tepehuanes
11009	20.533	-100.817	Celaya
11024	21.020	-101.250	Guanajuato
11028	20.683	-101.350	Irapuato
11082	21.217	-100.217	Villa Victoria
12002	16.833	-99.933	Acapulco
12033	17.550	-99.500	Chilpancingo
12099	17.570	-101.370	San Jerónimo-La Unión
12119	17.783	-98.750	Olinala
13022	20.130	-98.750	Pachuca
13074	20.483	-99.217	Ixmiquilpan
13084	19.917	-99.317	Presa Requena
14066	20.667	-103.383	Guadalajara
15126	19.300	-99.667	Toluca
16080	19.700	-101.180	Morelia
16144	20.000	-102.283	Zamora
16152	19.700	-100.567	Cd. Hidalgo
17005	18.817	-98.967	Cuatla Smn
17028	18.683	-98.800	Jonacatepec-Zacatepec
18001	22.500	-105.367	Acaponeta
18039	21.517	-104.883	Tepic
19010	26.100	-99.620	Cerralvo- Las Enramadas
19012	25.950	-100.167	Cienega De Flores
19022	25.783	-99.183	General Bravo
19025	25.967	-100.017	Higueras
19048	25.200	-99.830	Montemorelos
19052	25.667	-100.300	Monterrey
20039	16.583	-95.100	Ixtepec
20042	17.867	-96.200	Jacatepec

No. Estación	Latitud	Longitud	Nombre de estación
20078	17.067	-96.733	Oaxaca
20092	15.667	-96.517	Puerto Ángel
20149	16.333	-95.233	Tehuantepec
20152	18.250	-96.400	Temascal
20298	17.800	-97.767	Huahuapan de León
21024	18.517	-98.570	Chietla
21065	19.033	-98.200	Puebla
21118	20.183	-98.050	Huachinango
22063	20.583	-100.383	Querétaro
23005	18.483	-88.300	Chetumal
24070	22.150	-100.967	San Luis Potosí
25015	24.800	-107.400	Culiacán
25019	26.717	-108.317	Choix
25023	26.433	-108.617	El fuerte
25044	26.900	-108.367	Huites
25045	23.950	-106.620	Ixpalino
25062	23.200	-106.417	Mazatlán
25081	24.480	-107.133	Sanalona (SIC, Sinaloa)
25110	25.367	-107.550	Badiraguato
26020	27.500	-109.933	Cd. Obregón
26031	28.967	-109.630	Novillo li-El Águila-La Estrella
26039	27.983	-110.767	Empalme
26040	29.100	-110.967	Hermosillo Of
26059	30.367	-109.680	Nacozari-Moctezuma (R)
26069	30.450	-109.383	Presa La Angostura
26091	27.217	-109.120	Presa Cortines-Quiriego
26092	30.867	-111.530	Presa Cuauhtemoc-Atil
27044	17.550	-92.950	Teapa
27083	17.983	-92.933	Villahermosa
28001	24.067	-98.383	Abasolo
28012	22.717	-98.970	Presa Saca de Agua-Elena-Mante
28028	24.100	-99.130	El Barretal
28070	24.000	-98.780	Padilla
28086	24.850	-98.167	San Fernando
28092	23.770	-98.200	Soto La Marina
28110	22.217	-97.867	Tampico
28165	23.767	-99.133	Ciudad Victoria
29002	19.417	-98.150	Apizaco
29031	19.300	-98.230	Tlaxcala

No. Estación	Latitud	Longitud	Nombre de estación
30066	19.150	-96.950	Huatusco
30075	19.550	-96.920	Jalapa
30120	18.850	-97.100	Orizaba-Coscomatepec
30192	19.200	-96.133	Veracruz
30229	20.950	-97.400	Tuxpan
31019	20.967	-89.600	Mérida
31023	21.267	-89.617	Progreso
31042	20.700	-88.217	Valladolid
32031	22.783	-102.567	Zacatecas
32115	23.633	-103.650	Sombrerete-Chalchihuites
32121	23.700	-102.520	Guadalupe-Nieves
24010	22.200	-101.000	Charcas
30027	18.100	-94.400	Coatzacoalcos
14032	22.130	-103.250	Colotlan
26034	26.940	-109.690	Etchojoa
28038	24.230	-99.550	Hidalgo
2033	32.420	-115.290	Mexicali
26053	27.560	-109.960	P.A. Obregoa (SIC Obregón)
20082	16.500	-94.400	Ostuta
24062	22.010	-100.050	Río Verde
2069	32.270	-116.400	Valle de las Palmas

Fuente: <http://www.ncdc.noaa.gov/temp-and-precip/drought/nadm/indices.php>. Datos basados en estación, el índice de sequía: índice de precipitación estandarizado, archivo tipo metadatos, se considera solo estaciones localizadas en México.

Cuadro C.2
Valor promedio de SPI-1 mes para la República Mexicana

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Promedio 1954	-0.0052	0.1524	0.0073	0.5202	0.6111	0.3152	0.0945	-0.1380	-0.1558	0.3836	-0.2018	-0.5357
Promedio 1955	0.4172	-0.0378	-0.0652	-0.1961	-0.1867	-0.4371	0.7628	0.4056	0.5503	0.4175	0.1347	-0.0002
Promedio 1956	-0.1580	-0.0185	0.0182	0.4316	0.9476	0.3902	-0.1330	-0.4292	-0.2359	-0.5702	0.0443	-0.0577
Promedio 1957	-0.0164	0.5586	0.5639	0.4674	0.2747	-0.2056	-0.6617	-0.4608	-0.1797	0.1837	-0.2762	-0.0536
Promedio 1958	0.9598	0.5572	0.5366	0.0596	0.4756	0.6860	0.3380	-0.0561	0.9109	1.1111	1.0812	0.4785
Promedio 1959	0.1667	0.4646	0.0453	1.1370	0.1686	0.5114	0.0314	0.1058	-0.6392	0.8614	0.0240	0.0573
Promedio 1960	0.4626	-0.0327	-0.0027	0.1492	-0.1321	-0.5070	0.1221	0.3571	-0.4829	0.3684	0.0362	0.3390
Promedio 1961	0.8203	-0.0643	0.2731	0.1358	-0.1695	0.5442	0.2998	-0.3855	-0.2108	-0.1448	0.4325	0.0099
Promedio 1962	0.0298	-0.3039	0.1444	0.5608	-0.1866	0.3252	-0.5733	-0.4848	0.1992	0.2519	0.0236	0.2130
Promedio 1963	-0.2084	0.0211	0.2836	0.1693	0.2986	-0.0255	0.4898	-0.1679	0.2188	-0.1382	0.1352	0.5886
Promedio 1964	0.2290	-0.0925	0.4875	0.0966	0.6997	0.1434	-0.0209	-0.6389	0.2431	-0.1758	0.2683	0.3950
Promedio 1965	0.2433	0.7474	0.1798	0.3858	0.0834	-0.0646	-0.3283	0.3659	-0.1661	0.0810	0.0878	0.9602
Promedio 1966	0.4453	0.7745	0.6083	0.8284	0.5927	0.3781	-0.0316	0.3514	-0.1016	0.2613	-0.4248	-0.2115
Promedio 1967	0.5139	0.0556	0.6239	0.4543	0.0094	0.1789	-0.5965	0.6139	0.4392	0.2171	0.2093	0.3861
Promedio 1968	0.4353	0.9964	0.9438	0.7652	0.3509	0.1077	0.0390	-0.2065	-0.0437	-0.0128	0.2533	0.4023
Promedio 1969	0.2763	0.2689	0.4227	0.1436	-0.0871	-0.4250	0.0710	0.5548	-0.1057	0.0633	0.0741	0.1396
Promedio 1970	-0.0002	0.7186	0.1158	-0.1307	-0.1067	0.4982	0.3283	-0.0150	0.7267	-0.5092	-0.3188	-0.5224
Promedio 1971	-0.0770	-0.3005	0.0445	-0.0493	0.2504	0.4683	-0.3089	0.5227	0.3009	0.6938	0.0971	0.1434
Promedio 1972	0.2869	-0.0705	0.5392	0.3118	0.9141	0.6852	0.2021	-0.2405	-0.2822	0.1430	0.8323	0.0165
Promedio 1973	0.2575	1.0146	-0.1027	0.3185	0.2960	0.4572	0.2228	0.7384	-0.1403	0.1817	-0.2008	-0.0688
Promedio 1974	0.2093	-0.1226	0.5639	0.2600	0.2718	0.0669	0.1894	-0.4657	0.4227	-0.5371	0.2321	0.2069
Promedio 1975	0.3202	0.0928	0.0427	-0.1607	0.3616	-0.1615	0.3533	0.0810	-0.0095	-0.2229	-0.3605	-0.0063
Promedio 1976	-0.0377	0.0018	0.1758	0.6808	0.3320	0.2865	0.5956	-0.1378	0.2085	0.4858	1.0048	0.4042
Promedio 1977	0.2172	0.0967	-0.0080	0.4341	0.1789	0.1560	-0.4498	0.1563	-0.4867	0.1464	-0.0149	0.0608
Promedio 1978	0.0748	0.6195	0.7734	0.0254	0.3365	0.1616	0.1782	-0.1575	0.4770	0.5280	-0.0065	0.2687
Promedio 1979	0.3349	0.4124	0.2530	0.5786	0.2952	-0.1846	-0.1188	0.0372	-0.0361	-0.9563	-0.2096	0.7886
Promedio 1980	0.5245	0.4191	-0.0358	0.2168	0.1695	-0.4261	-0.3773	0.4850	0.0486	0.0310	0.3520	0.0569
Promedio 1981	1.0998	0.5362	0.7431	0.9273	0.5347	0.6921	0.2637	0.2158	-0.0912	0.4563	-0.4279	-0.0239
Promedio 1982	-0.2000	0.4183	0.2180	0.6163	0.6583	-0.7418	-0.3927	-0.9130	-0.3817	-0.1187	0.5020	0.9229
Promedio 1983	0.6470	0.8845	1.0055	-0.0823	0.2935	-0.4770	0.3843	0.2429	0.2952	0.1008	0.5188	0.1276
Promedio 1984	0.9941	0.1141	-0.0057	-0.2613	0.9461	0.5508	0.7521	0.1595	0.1989	-0.3536	-0.0839	0.7710
Promedio 1985	0.4620	0.1734	0.4450	0.9475	0.3048	0.5558	0.2230	-0.2111	-0.3516	0.2701	0.1465	0.1711
Promedio 1986	-0.2149	0.2506	0.0217	0.6210	0.7518	0.5592	-0.0172	-0.3461	-0.0524	0.3393	0.3810	0.4677
Promedio 1987	0.0330	0.4126	0.3579	0.4530	0.3794	0.1492	0.4872	-0.2083	-0.1473	-0.8855	-0.0948	0.0212
Promedio 1988	0.2510	0.0832	0.5692	0.4027	-0.2514	0.2723	0.3092	0.5581	-0.1466	-0.4106	-0.5508	-0.0116
Promedio 1989	0.1957	0.3233	-0.0248	0.2760	0.0027	-0.3195	-0.2073	0.4473	-0.1882	-0.2521	0.4733	0.7463
Promedio 1990	0.1614	0.5917	0.5146	0.4543	0.3937	0.0507	0.6813	0.0714	0.1587	0.4827	0.1668	0.1503

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Promedio 1991	0.1497	0.5583	-0.0533	-0.0849	0.0746	0.1856	0.2927	-0.5347	0.3821	0.0235	0.4774	1.0575
Promedio 1992	1.5686	0.8851	0.7553	0.7153	0.7696	-0.4805	0.0465	0.0167	-0.1170	0.1544	0.5951	0.2155
Promedio 1993	0.6158	0.3370	0.2526	0.2084	0.0928	0.7217	-0.3376	-0.1132	0.4147	-0.3692	0.3508	-0.1339
Promedio 1994	0.3250	0.0945	0.3905	0.3501	0.0036	0.1288	-0.6553	0.0523	-0.2649	0.0521	0.3064	0.3991
Promedio 1995	0.1340	0.3018	0.3278	0.1990	0.2778	-0.2030	-0.2239	0.6275	-0.0295	-0.2527	0.1496	0.3911
Promedio 1996	-0.3303	-0.1769	0.1396	0.2265	0.0243	0.2628	-0.1565	0.4820	-0.0714	0.1098	0.0973	-0.1574
Promedio 1997	0.2432	0.3232	1.0548	1.2632	0.6694	-0.0561	-0.2933	-0.6545	-0.0440	0.3005	0.7286	0.2542
Promedio 1998	-0.2567	0.1771	0.2454	-0.2056	-0.6546	-0.3524	-0.1758	0.4089	0.7420	0.4341	0.4759	-0.3786
Promedio 1999	-0.4049	-0.2130	0.2702	0.0738	-0.0888	0.4874	0.5147	-0.0136	-0.1668	-0.1306	-0.3467	-0.0724
Promedio 2000	-0.2680	-0.0958	0.2286	0.0766	0.7723	0.7511	-0.6767	-0.0644	-0.3328	0.3920	0.3133	-0.0770
Promedio 2001	-0.0007	0.3160	0.6345	0.5760	0.3610	-0.0329	0.0727	-0.1160	0.1137	-0.1677	-0.1289	0.0170
Promedio 2002	-0.0648	0.6155	0.0479	0.0167	-0.0758	0.0355	-0.1392	-0.6547	0.4966	0.2441	0.5420	-0.2968
Promedio 2003	0.0186	0.1073	0.2301	0.0337	0.0272	0.1515	-0.0482	0.0278	0.6024	0.6680	-0.0547	-0.3692
Promedio 2004	0.6387	0.1779	1.1198	0.6026	0.4818	0.3105	0.0927	-0.1701	0.3095	0.3924	0.0737	-0.3405
Promedio 2005	0.2357	1.0430	0.4271	-0.0177	0.1912	-0.6902	0.2621	-0.0552	-0.5798	0.5246	-0.2656	-0.2647
Promedio 2006	0.0573	-0.2347	0.1961	0.1495	0.5831	-0.1959	0.0091	0.1187	0.4398	0.4559	0.2268	0.2668
Promedio 2007	0.4946	0.5908	0.1912	0.2827	0.2685	0.0442	0.1418	0.2978	0.1926	-0.1501	-0.0409	-0.2275
Promedio 2008	0.0448	0.0871	-0.0119	0.3584	0.0963	0.0770	0.6613	0.6195	0.3936	-0.1340	-0.5486	-0.4545
Promedio 2009	-0.0239	0.0230	0.0944	0.0463	0.5151	0.2116	-0.6064	-0.3496	0.2505	0.5030	0.0366	0.3279
Promedio 2010	0.7222	1.5059	0.1575	0.7492	-0.0850	0.0675	0.9261	-0.1448	0.5750	-1.1444	-0.6406	-0.6998
Promedio 2011	-0.0593	-0.2505	-0.0901	-0.0011	-0.3800	-0.0827	0.3961	-0.2289	-0.7237	-0.3529	0.1403	-0.1171
Promedio 2012	0.0947	1.0098	0.2675	0.2447	0.0864	0.0923	-0.0483	0.3143	-0.2028	-0.4148	-0.1782	-0.3402

Fuente: <http://www.ncdc.noaa.gov/temp-and-precip/drought/nadm/indices.php>. Datos basados en estación, el índice de sequía: índice de precipitación estandarizado, archivo tipo datos, se considera solo estaciones localizadas en México, los años 1954-2012.

Cuadro C.3
Valor promedio de SPI-2 mes para la República Mexicana

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Promedio 1954	-0.0183	-0.1128	-0.2538	0.2111	0.4898	0.4736	0.1602	-0.0481	-0.2147	-0.0075	0.1398	-0.7342
Promedio 1955	-0.1845	0.1439	-0.4436	-0.6264	-0.5339	-0.6308	0.2428	0.7610	0.6673	0.7028	0.3041	-0.1703
Promedio 1956	-0.3305	-0.3638	-0.3631	0.0614	0.8090	0.6964	0.0564	-0.4447	-0.4471	-0.6208	-0.6632	-0.2131
Promedio 1957	-0.2390	0.1247	0.4764	0.5250	0.1863	-0.1952	-0.6732	-0.8044	-0.4806	-0.0452	-0.0074	-0.4367
Promedio 1958	0.6114	0.9042	0.4696	0.1779	0.2006	0.6688	0.6007	0.1931	0.6557	1.2407	1.3172	0.8892
Promedio 1959	0.1661	0.1527	0.1045	0.7480	0.6392	0.3659	0.2483	0.0281	-0.3465	0.1052	0.6742	-0.1041
Promedio 1960	0.1270	0.1966	-0.4051	-0.2604	-0.3089	-0.6941	-0.3565	0.2346	-0.0886	-0.1910	0.2330	0.0695
Promedio 1961	0.5352	0.4820	-0.1340	-0.0274	-0.2795	0.2698	0.4347	-0.0370	-0.4245	-0.3387	0.0204	0.1848

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Promedio 1962	-0.1945	-0.4234	-0.4532	0.2739	-0.0808	0.0592	-0.2133	-0.7727	-0.2164	0.2070	0.0752	-0.0038
Promedio 1963	-0.1583	-0.4270	-0.0480	-0.0405	0.0793	-0.0721	0.3004	0.1870	0.0814	0.0647	-0.1558	0.3618
Promedio 1964	0.3656	-0.0972	0.0145	0.0511	0.4068	0.3195	-0.0545	-0.5086	-0.2384	0.0364	-0.0930	0.2315
Promedio 1965	0.2469	0.4220	0.4039	0.1178	0.0402	-0.1884	-0.3846	0.0198	0.1211	-0.1574	0.0064	0.6302
Promedio 1966	0.7654	0.5163	0.7027	0.6898	0.6849	0.4525	0.1508	0.2047	0.1248	0.0182	-0.0535	-0.6111
Promedio 1967	0.1830	0.2770	0.2809	0.4640	0.0056	-0.0444	-0.3690	0.1352	0.6402	0.4073	0.1998	0.2968
Promedio 1968	0.4092	0.6781	1.0675	1.0055	0.5377	0.0529	0.0983	-0.2141	-0.2234	-0.1061	-0.0279	0.2568
Promedio 1969	0.2470	0.1486	0.2323	0.0179	-0.2498	-0.5561	-0.3042	0.4544	0.2370	-0.1364	-0.0319	-0.0226
Promedio 1970	-0.1154	0.2151	0.3368	-0.3692	-0.4227	0.2278	0.4125	0.1228	0.4788	0.3628	-0.7224	-0.7735
Promedio 1971	-0.6394	-0.4964	-0.5407	-0.4261	-0.0855	0.3992	0.0598	0.1744	0.5034	0.6223	0.5599	-0.0353
Promedio 1972	0.1260	-0.0445	0.0672	0.2023	0.7117	0.8555	0.4561	-0.0417	-0.3681	-0.1610	0.4735	0.5670
Promedio 1973	0.0023	0.5684	0.5327	-0.0214	0.1263	0.3913	0.3334	0.5931	0.3825	-0.0883	-0.0602	-0.4357
Promedio 1974	-0.1256	-0.1680	0.1419	0.2265	0.1233	0.0139	0.1694	-0.1825	0.0359	0.0233	-0.4290	0.1552
Promedio 1975	0.1790	0.1152	-0.2570	-0.5370	0.0267	-0.1001	0.1111	0.2457	0.0085	-0.1674	-0.4815	-0.4264
Promedio 1976	-0.2921	-0.2458	-0.1136	0.3231	0.3845	0.2793	0.5984	0.3995	0.0369	0.4142	0.8472	0.8079
Promedio 1977	0.1959	0.0111	-0.2750	0.1036	0.0914	0.0897	-0.3238	-0.1661	-0.2405	-0.3530	-0.0073	-0.2439
Promedio 1978	-0.1489	0.2067	0.6920	0.2931	0.0688	0.1386	0.1109	-0.0612	0.1472	0.6207	0.3679	-0.0070
Promedio 1979	0.1967	0.3508	0.2009	0.3383	0.3092	-0.1572	-0.3536	-0.1021	-0.0214	-0.5706	-1.1345	0.2753
Promedio 1980	0.7221	0.5021	0.0151	-0.1658	-0.0170	-0.3598	-0.7050	0.0829	0.3186	-0.0257	0.0224	0.0948
Promedio 1981	0.7514	1.0086	0.5948	0.8515	0.7555	0.7152	0.5580	0.2586	0.0080	0.1249	0.2064	-0.5400
Promedio 1982	-0.3304	-0.0168	0.0954	0.3214	0.5747	-0.3627	-0.8523	-0.8540	-0.9139	-0.3825	0.1952	0.7534
Promedio 1983	0.8177	0.8577	1.0091	0.3505	0.0914	-0.3236	-0.1022	0.4028	0.2973	0.2016	0.2230	0.2833
Promedio 1984	0.7917	0.7677	-0.2537	-0.6336	0.5515	0.8339	0.7620	0.5657	0.2258	-0.0328	-0.4744	0.3538
Promedio 1985	0.5970	0.2454	0.1075	0.6782	0.5696	0.4547	0.4240	-0.0466	-0.4469	-0.1943	0.1883	0.0509
Promedio 1986	-0.1871	-0.1998	-0.1368	0.2944	0.7395	0.7136	0.2754	-0.3111	-0.2870	0.0706	0.3319	0.4308
Promedio 1987	0.1858	0.0273	0.3358	0.2533	0.2863	0.1367	0.3273	0.1524	-0.3089	-0.6452	-1.0173	-0.2402
Promedio 1988	0.0120	-0.0626	0.1522	0.3508	-0.2042	-0.0408	0.2840	0.5292	0.2512	-0.3808	-0.7717	-0.5796
Promedio 1989	-0.0531	0.0477	-0.0698	-0.0820	-0.0901	-0.4661	-0.4098	0.1060	0.2048	-0.3965	-0.1279	0.6545
Promedio 1990	0.4323	0.2569	0.5023	0.3395	0.2771	0.0727	0.4627	0.4730	0.0892	0.2784	0.4020	0.0220
Promedio 1991	0.0248	0.1923	0.1327	-0.5055	-0.2752	0.0377	0.3033	-0.0765	-0.0546	0.3192	0.2236	0.8488
Promedio 1992	1.7091	1.5561	0.8972	0.7463	0.7567	-0.1071	-0.3650	0.0094	-0.1312	-0.0820	0.2201	0.5354
Promedio 1993	0.3705	0.4395	0.0830	-0.0411	-0.0944	0.5199	0.1836	-0.3739	0.2155	0.1273	-0.1912	0.0316
Promedio 1994	-0.0388	0.0594	0.0204	0.1902	-0.0459	-0.0345	-0.5604	-0.4144	-0.1871	-0.2886	0.1154	0.2580
Promedio 1995	0.2529	0.0723	0.1659	-0.0206	0.0659	-0.2083	-0.4376	0.2775	0.5011	-0.1895	-0.2822	0.1510
Promedio 1996	-0.1011	-0.6971	-0.3339	-0.0739	-0.1586	0.0878	-0.0307	0.2632	0.2430	-0.0275	0.0200	-0.2562
Promedio 1997	-0.1199	0.1154	0.8003	1.2308	1.0080	0.0995	-0.3711	-0.6844	-0.4687	0.1394	0.5455	0.5220
Promedio 1998	-0.1669	-0.2439	-0.0196	-0.3883	-0.9603	-0.7789	-0.4458	0.1551	0.7320	0.8008	0.4232	-0.0478
Promedio 1999	-0.9019	-0.7903	-0.2805	-0.1670	-0.2770	0.2395	0.5169	0.2963	-0.1381	-0.2814	-0.4308	-0.5796
Promedio 2000	-0.5303	-0.5840	-0.2652	-0.1315	0.4709	0.8809	0.0473	-0.4961	-0.3660	-0.0150	0.3465	-0.0173

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Promedio 2001	-0.3174	-0.0647	0.4605	0.5740	0.3535	0.0023	-0.1133	-0.0813	-0.0376	-0.0591	-0.3685	-0.3309
Promedio 2002	-0.2017	0.1065	0.2555	-0.3325	-0.3208	-0.2177	-0.1572	-0.6040	-0.0431	0.4377	0.3188	0.2418
Promedio 2003	-0.3288	-0.1220	-0.0392	-0.2328	-0.1988	-0.0129	-0.0851	-0.0504	0.3788	0.7755	0.4794	-0.5069
Promedio 2004	0.2471	0.5659	0.8004	0.8463	0.5575	0.3891	0.1604	-0.1073	0.0639	0.4219	0.2783	-0.3261
Promedio 2005	-0.2325	0.5671	0.8249	-0.0660	-0.1153	-0.5370	-0.1577	0.1896	-0.4520	-0.1898	0.2441	-0.6892
Promedio 2006	-0.3630	-0.3419	-0.3813	-0.0931	0.3264	-0.0127	-0.2923	0.0260	0.3048	0.5253	0.3625	0.1563
Promedio 2007	0.2197	0.5263	0.2350	-0.0351	0.0716	0.0608	-0.0252	0.3102	0.3107	0.0619	-0.1696	-0.4164
Promedio 2008	-0.7444	-0.1536	-0.3051	-0.0438	0.0107	-0.0012	0.5054	0.8445	0.6616	0.1928	-0.4577	-1.0081
Promedio 2009	-0.9945	-0.2817	-0.2083	-0.3390	0.2066	0.2543	-0.4781	-0.7274	-0.0699	0.4099	0.4402	0.0714
Promedio 2010	0.5061	1.0747	1.1180	0.4635	0.1250	-0.1431	0.6119	0.7244	0.3564	-0.0224	-1.5861	-1.2073
Promedio 2011	-0.7461	-0.4944	-0.6379	-0.4678	-0.6360	-0.3303	0.2291	0.1325	-0.7076	-0.8533	-0.3230	-0.2297
Promedio 2012	-0.2174	0.4325	0.6306	0.0350	-0.0494	-0.0448	-0.0352	0.2153	0.0528	-0.4947	-0.5697	-0.4026

Fuente: <http://www.ncdc.noaa.gov/temp-and-precip/drought/nadm/indices.php>. Datos basados en estación, el índice de sequía: índice de precipitación estandarizado, archivo tipo datos, se considera solo estaciones localizadas en México, los años 1954-2012.

Cuadro C.4
Valor promedio de SPI-3 mes para la República Mexicana

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Promedio 1954	-0.0339	-0.0499	-0.3371	-0.0252	0.3139	0.4630	0.3415	0.0180	-0.1780	-0.0713	-0.1348	-0.1228
Promedio 1955	-0.3234	-0.2888	-0.0935	-0.8374	-0.8226	-0.8268	0.0549	0.3967	0.9006	0.7485	0.6292	0.1125
Promedio 1956	-0.3255	-0.4803	-0.5575	-0.1655	0.5483	0.6833	0.3585	-0.2234	-0.4337	-0.7255	-0.6380	-0.7637
Promedio 1957	-0.2527	-0.0730	0.1639	0.4605	0.3633	-0.1992	-0.6063	-0.8715	-0.7506	-0.3211	-0.1469	-0.1417
Promedio 1958	0.2711	0.6505	0.9079	0.1939	0.3584	0.5385	0.5992	0.4362	0.6774	0.9842	1.4080	1.2277
Promedio 1959	0.6470	0.2043	-0.0505	0.7369	0.4058	0.5870	0.1597	0.2230	-0.3021	0.1257	0.0383	0.6882
Promedio 1960	0.0414	-0.0102	-0.0466	-0.4453	-0.5413	-0.7497	-0.4663	-0.1420	-0.0671	0.0450	-0.2259	0.2664
Promedio 1961	0.3564	0.3283	0.4074	-0.2379	-0.3877	0.1596	0.2492	0.1404	-0.1589	-0.4908	-0.2220	-0.0848
Promedio 1962	0.1265	-0.4606	-0.5141	-0.0775	-0.1833	0.0848	-0.3612	-0.5092	-0.4600	-0.1559	0.0986	0.0901
Promedio 1963	-0.2213	-0.2552	-0.3501	-0.1572	-0.0714	-0.1386	0.2745	0.1159	0.3270	-0.0361	0.0266	0.0281
Promedio 1964	0.3003	0.1322	-0.0202	-0.2295	0.3823	0.2102	0.1298	-0.4817	-0.2744	-0.3367	0.0707	-0.0792
Promedio 1965	0.1430	0.3580	0.2398	0.2979	-0.1453	-0.1754	-0.4351	-0.0990	-0.0923	0.1030	-0.1789	0.4685
Promedio 1966	0.5662	0.7842	0.5217	0.8086	0.6087	0.5223	0.2361	0.2828	0.0681	0.2033	-0.1355	-0.1308
Promedio 1967	-0.1702	0.0629	0.4200	0.2186	0.0680	0.0030	-0.4767	0.1135	0.3183	0.6110	0.3879	0.2861
Promedio 1968	0.2851	0.6391	0.8548	1.0938	0.8880	0.2370	0.1037	-0.0860	-0.1949	-0.2589	-0.1006	0.0023
Promedio 1969	0.2008	0.1886	0.1380	0.0048	-0.3214	-0.6117	-0.4341	0.1014	0.2411	0.2470	-0.1355	-0.0273
Promedio 1970	-0.1856	0.1977	0.0519	-0.0464	-0.4955	0.0658	0.2220	0.2668	0.4966	0.2195	0.2431	-1.0166
Promedio 1971	-0.8464	-0.9049	-0.6242	-0.7421	-0.3430	0.2592	0.0411	0.3281	0.2681	0.6788	0.5577	0.4289

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Promedio 1972	-0.0059	-0.0787	0.0959	-0.0841	0.5633	0.7611	0.6075	0.2964	-0.2041	-0.2710	0.0405	0.3358
Promedio 1973	0.4702	0.3716	0.2867	0.5071	-0.0405	0.2938	0.2635	0.6602	0.3394	0.3277	-0.2015	-0.2081
Promedio 1974	-0.4026	-0.3466	0.0037	-0.0558	0.1352	-0.0369	0.1405	-0.1373	0.1125	-0.2445	0.1649	-0.4208
Promedio 1975	0.1731	0.0723	-0.0757	-0.6107	-0.1546	-0.2321	0.1333	0.0767	0.1833	-0.1085	-0.2834	-0.5630
Promedio 1976	-0.5723	-0.3118	-0.2947	0.1825	0.1672	0.3483	0.5558	0.4522	0.4264	0.2222	0.6582	0.7979
Promedio 1977	0.5948	0.0643	-0.1943	-0.1057	-0.0657	0.0603	-0.3339	-0.1328	-0.4298	-0.1980	-0.4284	-0.1301
Promedio 1978	-0.3533	0.0073	0.3439	0.3627	0.2348	0.0314	0.1247	-0.0735	0.1758	0.3435	0.5542	0.3463
Promedio 1979	0.0527	0.2680	0.2198	0.3652	0.1891	-0.1127	-0.3423	-0.3005	-0.1341	-0.3774	-0.6921	-0.5375
Promedio 1980	0.4130	0.7159	0.2784	-0.1350	-0.1811	-0.4123	-0.6398	-0.2460	0.0463	0.2336	-0.0254	-0.0794
Promedio 1981	0.6602	0.7511	0.9968	0.7584	0.7772	0.8252	0.6130	0.4995	0.0759	0.1804	-0.0260	0.0528
Promedio 1982	-0.6671	-0.1575	-0.1414	0.1952	0.3976	-0.3061	-0.5320	-1.2277	-0.8745	-0.8125	-0.2033	0.5433
Promedio 1983	0.7480	1.0352	0.9602	0.5214	0.3551	-0.3589	-0.0875	0.0677	0.4150	0.2502	0.2723	0.0972
Promedio 1984	0.7784	0.6310	0.6098	-0.7585	0.2946	0.6445	0.9799	0.6453	0.5415	0.0480	-0.1003	-0.1190
Promedio 1985	0.3575	0.4372	0.2493	0.4648	0.4520	0.6270	0.3661	0.1795	-0.3041	-0.3225	-0.2156	0.1045
Promedio 1986	-0.1923	-0.1765	-0.4298	0.2205	0.5461	0.7213	0.4777	0.0117	-0.2689	-0.1301	0.1173	0.4055
Promedio 1987	0.2536	0.1426	0.0779	0.3119	0.1738	0.1365	0.2961	0.1220	-0.0203	-0.6762	-0.7187	-1.0452
Promedio 1988	-0.2163	-0.1299	0.0036	0.0705	-0.1721	0.0130	0.0758	0.4879	0.3177	0.0445	-0.5783	-0.8260
Promedio 1989	-0.4642	-0.0695	-0.1664	-0.1191	-0.3030	-0.5355	-0.5124	-0.0987	-0.0009	0.0133	-0.2842	0.1318
Promedio 1990	0.4525	0.4573	0.2277	0.4239	0.2458	0.0860	0.4719	0.3383	0.3804	0.2269	0.2605	0.3618
Promedio 1991	-0.0464	0.1514	-0.0864	-0.2123	-0.4611	-0.1401	0.2223	0.0028	0.1461	-0.0391	0.3876	0.6167
Promedio 1992	1.4949	1.7023	1.5640	0.8906	0.8348	-0.0278	-0.0973	-0.2905	-0.1003	-0.0808	-0.0228	0.3155
Promedio 1993	0.5684	0.3128	0.2923	-0.0722	-0.2437	0.4094	0.0593	0.1078	-0.0020	0.0157	0.1880	-0.3594
Promedio 1994	0.1035	-0.1508	-0.0412	-0.0124	-0.0866	-0.0631	-0.6433	-0.3995	-0.5005	-0.2338	-0.1814	0.2031
Promedio 1995	0.1966	0.1998	-0.0093	-0.0042	-0.0436	-0.2959	-0.4154	0.0323	0.2627	0.3489	-0.1745	-0.2595
Promedio 1996	-0.1567	-0.2742	-0.7621	-0.3885	-0.3241	-0.0162	-0.1375	0.2704	0.1301	0.2697	-0.0472	-0.2072
Promedio 1997	-0.2201	-0.1148	0.5870	1.0664	1.0495	0.4141	-0.2294	-0.6808	-0.5220	-0.2146	0.2971	0.5392
Promedio 1998	0.2427	-0.2201	-0.3842	-0.4048	-0.9486	-0.9340	-0.7336	-0.1448	0.5332	0.7881	0.8140	0.1817
Promedio 1999	-0.4091	-1.0907	-0.7264	-0.5091	-0.4507	0.1577	0.3529	0.3542	0.1088	-0.2204	-0.4618	-0.6220
Promedio 2000	-0.8510	-0.7293	-0.6091	-0.4430	0.3898	0.7388	0.2583	-0.0783	-0.6522	-0.1226	-0.0117	0.1517
Promedio 2001	-0.1748	-0.2515	0.1157	0.4642	0.4062	0.0698	-0.0673	-0.2210	0.0271	-0.1574	-0.1530	-0.5009
Promedio 2002	-0.3924	-0.0339	-0.0402	0.0002	-0.5068	-0.3373	-0.3201	-0.5629	-0.1354	-0.0112	0.4983	0.2136
Promedio 2003	0.0338	-0.3860	-0.1166	-0.2289	-0.3263	-0.1246	-0.1774	-0.0431	0.2628	0.5475	0.6929	0.2253
Promedio 2004	0.1513	0.2324	0.8624	0.7045	0.7770	0.4763	0.2419	-0.0043	0.0576	0.2023	0.3899	0.0635
Promedio 2005	-0.2384	0.1990	0.5287	0.5532	-0.1421	-0.6717	-0.1893	-0.1847	-0.1812	-0.1699	-0.3197	0.0169
Promedio 2006	-0.6627	-0.6065	-0.3767	-0.4656	0.1845	-0.0810	-0.1025	-0.2204	0.1969	0.3842	0.4780	0.3359
Promedio 2007	0.1881	0.3191	0.3331	0.0574	-0.0871	0.0109	-0.0422	0.1982	0.3442	0.2366	0.0004	-0.3520
Promedio 2008	-0.8957	-0.7385	-0.4244	-0.1983	-0.2183	-0.0165	0.4049	0.4026	0.8325	0.5436	0.0464	-0.7215
Promedio 2009	-1.3838	-1.0958	-0.3784	-0.4856	-0.0191	0.1201	-0.2905	-0.9798	-0.3704	0.1329	0.4111	0.3629
Promedio 2010	0.3141	0.9143	0.8927	1.1894	0.0221	-0.0033	0.4405	0.5534	0.7595	-0.1106	-0.2075	-1.9686

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Promedio 2011	-1.1899	-0.9442	-0.7139	-0.7876	-0.9017	-0.4454	0.0288	0.0637	-0.2533	-0.7927	-0.7062	-0.4758
Promedio 2012	-0.2283	0.2055	0.2804	0.3902	-0.1990	-0.0791	-0.1236	0.1483	0.0171	-0.1843	-0.6004	-0.7080

Fuente: <http://www.ncdc.noaa.gov/temp-and-precip/drought/nadm/indices.php>. Datos basados en estación, el índice de sequía: índice de precipitación estandarizado, archivo tipo datos, se considera solo estaciones localizadas en México, los años 1954-2012.

Cuadro C.5
Valor promedio de SPI-6 mes para la República Mexicana

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Promedio 1954	-0.2991	-0.3878	0.1436	-0.0363	0.2056	0.2357	0.2505	0.1895	0.0823	0.1387	-0.0695	-0.2383
Promedio 1955	-0.1105	-0.1014	0.0035	-0.6897	-0.7118	-0.7047	-0.2559	0.0599	0.4539	0.6103	0.6760	0.8310
Promedio 1956	0.5470	0.3780	-0.2161	-0.4694	0.0478	0.2528	0.1883	-0.0410	-0.0919	-0.2928	-0.5455	-0.7492
Promedio 1957	-0.7819	-0.6577	-0.5100	0.0308	0.0124	-0.1461	-0.4442	-0.6800	-0.7173	-0.6261	-0.7136	-0.7043
Promedio 1958	-0.2308	0.0752	0.3204	0.2870	0.4600	0.7510	0.6049	0.4491	0.7892	1.0794	1.1942	1.0794
Promedio 1959	1.0686	1.2858	0.9848	0.7388	0.2202	0.3228	0.3264	0.2624	0.0260	0.1577	0.1569	0.0480
Promedio 1960	0.1821	0.1147	0.5673	-0.2107	-0.2666	-0.5508	-0.6978	-0.3395	-0.4703	-0.2960	-0.2367	0.0345
Promedio 1961	0.1707	-0.0058	0.3723	0.0640	-0.0967	0.2385	0.0721	-0.0711	-0.1605	-0.1654	0.0028	-0.1856
Promedio 1962	-0.4173	-0.3222	-0.2886	0.0155	-0.4144	-0.0709	-0.4006	-0.6304	-0.4089	-0.3906	-0.3375	-0.4079
Promedio 1963	-0.2664	-0.0339	-0.1114	-0.3068	-0.2600	-0.3637	0.1586	0.0708	0.1866	0.1268	0.1145	0.2230
Promedio 1964	0.0055	0.0262	-0.1116	-0.0102	0.2580	-0.0172	-0.0171	-0.2832	-0.1812	-0.1915	-0.3015	-0.3174
Promedio 1965	-0.2930	0.1044	-0.0780	0.1140	0.0372	-0.1741	-0.3661	-0.1801	-0.2128	-0.2192	-0.1805	0.1075
Promedio 1966	0.2976	0.2264	0.5453	0.7627	0.8599	0.5129	0.3926	0.4399	0.2736	0.2458	0.0983	-0.0258
Promedio 1967	0.0867	-0.1463	0.0692	-0.0177	-0.0263	0.0016	-0.4030	0.0713	0.2206	0.2180	0.3133	0.4316
Promedio 1968	0.7164	0.6343	0.6271	0.8081	0.8374	0.6571	0.5305	0.1815	-0.0459	-0.1602	-0.1693	-0.2192
Promedio 1969	-0.2228	-0.0756	-0.0189	0.0645	-0.1913	-0.6246	-0.4569	-0.0752	-0.1058	-0.1012	-0.0254	0.2422
Promedio 1970	0.2191	-0.0655	-0.0678	-0.2897	-0.3117	-0.0661	0.1495	0.0115	0.3595	0.2543	0.2935	0.1015
Promedio 1971	-0.0770	-0.1266	-1.2063	-1.1808	-0.8942	-0.1762	-0.2355	0.1335	0.2664	0.4780	0.4787	0.3617
Promedio 1972	0.5673	0.4067	0.3214	-0.0845	0.2551	0.4800	0.4411	0.3997	0.1771	0.2417	0.2402	-0.0289
Promedio 1973	-0.1683	0.1315	0.3685	0.5065	0.2058	0.4943	0.4726	0.5607	0.4018	0.3714	0.3242	0.1754
Promedio 1974	0.1872	-0.3301	-0.2233	-0.3952	-0.2245	-0.1627	0.0457	-0.1152	0.0383	-0.1128	-0.0233	-0.0377
Promedio 1975	-0.1358	0.0753	-0.4921	-0.2320	-0.0703	-0.3693	-0.0653	-0.0064	0.0455	0.0208	-0.0626	-0.0340
Promedio 1976	-0.3336	-0.4344	-0.6114	-0.2877	-0.1652	0.0526	0.5162	0.4361	0.5306	0.5648	0.6994	0.6568
Promedio 1977	0.3808	0.5298	0.5371	0.3010	-0.1259	-0.1840	-0.4539	-0.2238	-0.4042	-0.3628	-0.3846	-0.4772
Promedio 1978	-0.3755	-0.5065	-0.0413	-0.1746	0.0141	0.0970	0.2375	-0.0126	0.1071	0.3170	0.2909	0.3684
Promedio 1979	0.3980	0.5808	0.2958	0.1994	0.2111	-0.0241	-0.3050	-0.2745	-0.2550	-0.5248	-0.5860	-0.3530
Promedio 1980	-0.1447	-0.1533	-0.2784	0.2203	0.2545	-0.3541	-0.6526	-0.3137	-0.2342	-0.2223	-0.2512	-0.0198
Promedio 1981	0.4483	0.3075	0.4389	0.8242	0.8364	1.1207	0.7858	0.7371	0.4879	0.4898	0.3600	0.0693

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Promedio 1982	-0.0471	-0.1952	-0.0295	-0.2772	0.1021	-0.4632	-0.4585	-0.8649	-0.8502	-0.9432	-1.0025	-0.5032
Promedio 1983	-0.2842	0.2492	0.7742	0.7576	0.6311	0.0595	0.1748	0.1160	0.0812	0.1364	0.1967	0.3824
Promedio 1984	0.4460	0.3828	0.3421	0.2833	0.4601	0.6226	0.6919	0.6633	0.6992	0.6289	0.4000	0.4348
Promedio 1985	0.1919	0.1416	-0.1086	0.5185	0.5633	0.5489	0.4309	0.2807	0.0348	-0.0260	-0.0153	-0.2279
Promedio 1986	-0.4422	-0.3987	-0.2044	-0.1128	0.2029	0.4104	0.4271	0.1764	0.1397	0.1590	0.0446	-0.1067
Promedio 1987	-0.1061	0.1045	0.2851	0.2080	0.0852	-0.0093	0.3074	0.0905	-0.0366	-0.2726	-0.3045	-0.3922
Promedio 1988	-0.7063	-0.7602	-0.8128	-0.2056	-0.3523	-0.2052	0.0517	0.3486	0.2091	0.0208	0.0352	0.0556
Promedio 1989	-0.0520	-0.5208	-0.8005	-0.5197	-0.3139	-0.5019	-0.5756	-0.2833	-0.2993	-0.3708	-0.2492	-0.0011
Promedio 1990	0.1254	-0.0673	0.0995	0.4969	0.3899	-0.0158	0.4866	0.3718	0.3240	0.3623	0.3597	0.4895
Promedio 1991	0.2102	0.3014	0.2527	-0.2233	-0.2687	-0.1475	0.1777	-0.1720	0.0715	0.1509	0.2585	0.3958
Promedio 1992	0.7108	1.1312	1.3478	1.5250	1.5605	0.9305	0.2341	0.0437	-0.1310	-0.1367	-0.2432	0.0349
Promedio 1993	0.1327	0.1846	0.3733	0.2887	-0.0177	0.4603	0.0417	-0.0452	0.1298	0.0410	0.1598	-0.1503
Promedio 1994	-0.0080	0.0528	-0.2983	-0.0070	-0.3277	-0.2559	-0.6858	-0.4524	-0.5514	-0.5644	-0.4157	-0.3192
Promedio 1995	-0.0770	-0.1256	0.0943	0.1036	0.0930	-0.3374	-0.4001	-0.0261	0.0448	-0.0070	-0.0311	0.1290
Promedio 1996	0.2247	-0.3265	-0.5045	-0.4080	-0.6208	-0.4249	-0.3036	0.1239	0.0623	0.1022	0.1376	0.0460
Promedio 1997	0.1302	-0.1892	0.1275	0.5519	0.5867	0.4011	0.1363	-0.1693	-0.2468	-0.3220	-0.2899	-0.2095
Promedio 1998	-0.1686	0.1733	0.2601	-0.1311	-0.9941	-1.0448	-0.8265	-0.5422	0.0045	0.1900	0.3991	0.5176
Promedio 1999	0.5809	0.4650	-0.1668	-0.7559	-1.1661	-0.3047	0.1552	0.1548	0.0736	0.0642	0.0405	-0.1560
Promedio 2000	-0.5193	-0.7158	-0.7488	-0.9991	-0.2430	0.3183	0.0626	-0.0186	-0.2100	0.0261	-0.1018	-0.4607
Promedio 2001	-0.2608	-0.1896	0.0936	0.0202	-0.0123	-0.0581	0.0267	-0.1335	-0.0467	-0.1752	-0.2421	-0.1958
Promedio 2002	-0.3442	-0.2077	-0.4536	-0.5108	-0.5094	-0.4080	-0.3688	-0.8071	-0.3542	-0.2678	-0.1029	-0.0795
Promedio 2003	-0.0348	0.3616	0.0652	-0.1772	-0.5439	-0.2955	-0.2190	-0.2108	0.1436	0.3238	0.3613	0.2901
Promedio 2004	0.4855	0.6758	0.6607	0.4631	0.5760	0.7004	0.4663	0.2627	0.2308	0.3007	0.2483	0.0669
Promedio 2005	0.1010	0.4258	0.3553	0.0652	0.0917	-0.1304	0.0431	-0.3303	-0.5429	-0.3087	-0.3565	-0.1645
Promedio 2006	-0.4136	-0.5663	-0.1604	-0.8275	-0.3571	-0.4059	-0.2809	-0.1722	0.0433	0.1503	0.0876	0.2590
Promedio 2007	0.3481	0.4147	0.3323	0.1609	0.1311	0.0051	-0.0619	0.1472	0.2750	-0.1196	-0.5397	0.2389
Promedio 2008	-0.3043	-0.5700	-0.8614	-0.8419	-0.8247	-0.2727	-0.1160	0.2504	0.3453	-0.1019	-0.5231	0.5510
Promedio 2009	-0.1567	-0.5897	-1.1779	-1.4842	-1.2348	-0.2255	-0.8494	-1.0114	-0.6657	-0.8181	-0.8781	-0.1180
Promedio 2010	0.2010	0.7363	0.7578	0.7939	0.2659	0.5125	0.8257	0.4931	0.5954	-0.1017	-0.1019	0.2550
Promedio 2011	-0.4249	-0.5400	-1.9935	-1.4792	-1.4287	-0.8224	-0.2493	-0.2326	-0.4366	-0.4766	-0.2791	-0.3331
Promedio 2012	-0.7195	-0.5261	-0.2047	0.0614	-0.1392	-0.1693	-0.0264	0.0272	-0.0584	-0.1968	-0.2356	-0.3177

Fuente: <http://www.ncdc.noaa.gov/temp-and-precip/drought/nadm/indices.php>. Datos basados en estación, el índice de sequía: índice de precipitación estandarizado, archivo tipo datos, se considera solo estaciones localizadas en México, los años 1954-2012.

Cuadro C.6
Valor promedio de SPI-9 mes para la República Mexicana

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Promedio 1954	-0.5958	-0.5152	-0.4159	-0.2986	-0.1847	0.3258	0.1860	0.0977	0.0033	0.1172	0.0813	-0.0069
Promedio 1955	0.0811	-0.0865	-0.1970	-0.2699	-0.3868	-0.5605	-0.2002	0.0314	0.4481	0.4333	0.4473	0.4368
Promedio 1956	0.4452	0.5043	0.6568	0.4131	0.4736	0.1830	-0.0442	-0.2370	-0.2677	-0.3904	-0.3820	-0.3841
Promedio 1957	-0.3865	-0.5479	-0.6239	-0.5873	-0.4850	-0.5513	-0.5577	-0.7374	-0.6327	-0.5172	-0.6053	-0.6947
Promedio 1958	-0.5672	-0.5401	-0.3723	-0.1964	0.0851	0.4745	0.5593	0.5377	0.9291	1.0855	1.1879	1.1453
Promedio 1959	1.1244	1.1333	0.9977	1.1394	1.2280	0.9501	0.4448	0.2468	-0.0338	0.2843	0.1922	0.2815
Promedio 1960	0.2355	0.2399	0.0366	0.0490	-0.0984	-0.0520	-0.3680	-0.1693	-0.3919	-0.4195	-0.3989	-0.3297
Promedio 1961	-0.1689	-0.1206	0.1151	0.0492	-0.2275	0.2389	0.2424	0.0276	-0.0788	-0.2708	-0.1487	-0.1549
Promedio 1962	-0.1294	-0.0696	-0.2768	-0.4219	-0.3985	-0.1392	-0.2780	-0.6332	-0.4724	-0.4183	-0.4060	-0.3777
Promedio 1963	-0.4612	-0.3736	-0.4665	-0.3021	-0.0728	-0.2229	0.0154	-0.0535	0.0438	0.0436	0.0473	0.1264
Promedio 1964	0.1474	0.1064	0.1611	-0.0987	0.0935	-0.0017	0.0516	-0.2584	-0.2433	-0.2614	-0.2005	-0.2074
Promedio 1965	-0.1832	-0.2551	-0.2836	-0.2279	0.0086	-0.1939	-0.3635	-0.1457	-0.2286	-0.1836	-0.2548	-0.0313
Promedio 1966	-0.0209	0.0698	0.1832	0.4315	0.3961	0.6142	0.5462	0.6517	0.3408	0.3755	0.2384	0.1815
Promedio 1967	0.1761	0.0654	0.0561	0.1274	-0.1575	-0.1006	-0.4771	0.0174	0.2306	0.2175	0.2679	0.3275
Promedio 1968	0.3209	0.4768	0.6055	0.9204	0.7718	0.6376	0.5830	0.3813	0.2166	0.1423	0.0464	-0.0924
Promedio 1969	-0.1489	-0.1577	-0.2178	-0.2373	-0.2152	-0.5218	-0.4168	-0.0622	-0.1141	-0.1128	-0.1498	-0.0850
Promedio 1970	-0.1176	0.0366	0.2297	0.1756	-0.2899	-0.0756	0.0402	0.0217	0.3098	0.2088	0.1070	0.0274
Promedio 1971	0.0218	0.0580	-0.0868	-0.2588	-0.2667	-0.6458	-0.5286	-0.1599	0.0530	0.3170	0.3485	0.3580
Promedio 1972	0.3991	0.3925	0.3245	0.4945	0.4914	0.5857	0.3218	0.2508	0.0870	0.1748	0.3432	0.3133
Promedio 1973	0.3064	0.2950	0.0457	-0.0577	0.0863	0.5773	0.5460	0.7104	0.5593	0.5437	0.2832	0.2319
Promedio 1974	0.2655	0.2330	0.1598	0.1273	-0.2955	-0.3461	-0.1696	-0.2451	0.0108	-0.1530	-0.0123	-0.0559
Promedio 1975	-0.0467	-0.0729	-0.1173	-0.2913	0.0171	-0.3636	0.0903	-0.0573	-0.0398	-0.1060	-0.1194	-0.1426
Promedio 1976	-0.1436	-0.1537	-0.1044	-0.2692	-0.3255	-0.2791	0.2592	0.2816	0.4130	0.5583	0.6906	0.7105
Promedio 1977	0.6311	0.6106	0.5492	0.3047	0.3931	0.3306	-0.1578	-0.2687	-0.4917	-0.4500	-0.4548	-0.4439
Promedio 1978	-0.4985	-0.4227	-0.3994	-0.2899	-0.3783	-0.0827	0.0023	-0.0698	0.1920	0.3898	0.3135	0.3016
Promedio 1979	0.3934	0.3794	0.3858	0.4118	0.5280	0.0560	-0.1777	-0.0948	-0.1465	-0.4689	-0.5502	-0.4541
Promedio 1980	-0.3884	-0.3296	-0.2215	-0.1722	-0.2698	-0.6470	-0.4942	-0.0700	-0.1608	-0.2362	-0.2622	-0.2655
Promedio 1981	-0.0133	0.0192	0.2983	0.5990	0.5217	0.8474	0.9128	0.8782	0.7279	0.6419	0.5490	0.4470
Promedio 1982	0.3146	0.2552	0.0305	0.0398	0.0746	-0.2248	-0.6786	-0.9550	-0.8826	-0.8928	-0.7533	-0.5235
Promedio 1983	-0.5148	-0.5886	-0.2121	-0.1645	0.2455	0.2111	0.4258	0.4046	0.2850	0.2303	0.2022	0.0833
Promedio 1984	0.2816	0.2798	0.4481	0.2473	0.4106	0.5439	0.8035	0.7037	0.7189	0.4372	0.4310	0.5876
Promedio 1985	0.6786	0.4889	0.4067	0.2837	0.2800	0.3897	0.5762	0.4557	0.0736	0.0500	0.0811	0.0721
Promedio 1986	-0.1123	-0.1124	-0.3463	-0.3930	-0.1007	0.3447	0.2247	0.0141	0.0116	0.1403	0.1595	0.2041
Promedio 1987	0.1341	0.0344	-0.1159	-0.0854	0.0833	0.1970	0.2723	0.0954	-0.0873	-0.2806	-0.3341	-0.3436
Promedio 1988	-0.3392	-0.3718	-0.3655	-0.6557	-0.7859	-0.5556	-0.0805	0.2489	0.1704	0.0185	-0.0465	-0.0276
Promedio 1989	-0.0186	0.0949	0.0305	-0.1238	-0.6173	-0.8245	-0.6858	-0.2964	-0.3281	-0.4367	-0.3958	-0.2637
Promedio 1990	-0.2436	-0.1433	0.0077	0.1755	-0.0119	0.0229	0.5045	0.4158	0.2960	0.4098	0.3829	0.4056

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Promedio 1991	0.3543	0.3839	0.4498	0.1354	0.1217	0.1694	0.2214	-0.0352	0.0706	0.1070	0.1299	0.3142
Promedio 1992	0.7017	0.7941	0.8384	0.8408	1.2303	1.0118	0.9568	0.7823	0.4466	0.0571	0.0379	0.0063
Promedio 1993	0.0576	-0.0717	0.1151	0.0642	0.0268	0.4789	0.2528	0.1124	0.2387	0.0151	0.0466	0.0094
Promedio 1994	0.0391	0.0894	-0.1397	-0.0140	-0.0387	-0.3414	-0.5156	-0.4970	-0.5547	-0.5817	-0.4925	-0.4072
Promedio 1995	-0.4090	-0.3398	-0.3421	-0.1079	-0.0820	-0.1036	-0.1952	0.1207	0.0261	-0.0041	-0.0419	-0.0311
Promedio 1996	-0.1064	-0.1544	-0.0183	0.1216	-0.4266	-0.4360	-0.3764	-0.0489	-0.0783	-0.0054	0.0284	-0.0291
Promedio 1997	-0.0022	0.0513	0.1579	0.4212	0.2617	0.1727	-0.0087	-0.2542	-0.1396	-0.0447	0.0647	-0.0313
Promedio 1998	-0.2839	-0.3530	-0.2980	-0.2766	-0.2318	-0.4738	-0.6924	-0.5742	-0.0715	0.1216	0.1351	0.0452
Promedio 1999	0.0291	0.1569	0.3488	0.4423	0.2206	-0.2236	-0.0798	-0.1492	-0.1205	-0.0374	-0.0558	-0.1251
Promedio 2000	-0.1983	-0.1517	-0.2783	-0.6280	-0.4758	-0.0452	-0.2885	-0.2683	-0.3671	-0.1073	-0.0483	-0.1061
Promedio 2001	-0.0823	-0.1954	-0.4439	-0.1529	-0.0649	0.0286	-0.1220	-0.2673	-0.0519	-0.0809	-0.1556	-0.2468
Promedio 2002	-0.3364	-0.3228	-0.2442	-0.3806	-0.4242	-0.6730	-0.6583	-0.8783	-0.4104	-0.3385	-0.2953	-0.2750
Promedio 2003	-0.2823	-0.1383	-0.1111	-0.0695	0.1635	-0.1336	-0.2836	-0.3297	0.0672	0.2748	0.2498	0.1844
Promedio 2004	0.2993	0.3843	0.5024	0.6382	0.8172	0.6369	0.3690	0.2649	0.4165	0.4117	0.4101	0.2462
Promedio 2005	0.2139	0.2949	-0.1366	-0.1798	-0.0681	-0.1772	-0.0879	-0.1047	-0.2814	-0.1598	-0.4428	-0.5360
Promedio 2006	-0.5134	-0.5644	-0.6278	-0.8603	-0.8171	-0.3470	-0.5506	-0.3959	-0.0799	0.0421	0.0833	0.0891
Promedio 2007	0.1386	0.0763	0.1991	0.2530	0.3402	0.1603	0.0154	0.2256	0.3130	-0.1334	-0.5663	-0.5556
Promedio 2008	-0.9742	-1.0220	-0.2733	-0.3898	-0.5987	-0.7145	-0.6177	-0.2800	0.2159	-0.1666	-0.6224	-0.6517
Promedio 2009	-1.4952	-1.4709	-0.3367	-0.2969	-0.9389	-1.2388	-1.8901	-1.9123	-0.8022	-0.9427	-0.9354	-0.8730
Promedio 2010	-1.5069	-1.3284	-0.5404	0.4941	-0.0602	-0.1359	0.0233	0.4071	0.8649	0.1552	-0.1536	-0.2129
Promedio 2011	-0.7010	-0.6525	-0.2571	-0.5680	-1.1379	-1.8566	-0.9335	-0.4826	-0.5820	-0.6300	-0.5137	-0.5036
Promedio 2012	-0.4733	-0.2642	-0.2432	-0.5400	-0.5410	-0.2636	-0.0364	0.0297	-0.0329	-0.1167	-0.2872	-0.3393

Fuente: <http://www.ncdc.noaa.gov/temp-and-precip/drought/nadm/indices.php>. Datos basados en estación, el índice de sequía: índice de precipitación estandarizado, archivo tipo datos, se considera solo estaciones localizadas en México, los años 1954-2012.

Cuadro C.7
Valor promedio de SPI-12 mes para la República Mexicana

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Promedio 1954	-0.6234	-0.6631	-0.6855	-0.5928	-0.3868	-0.1428	-0.0595	-0.0912	0.0957	0.0844	0.0292	-0.0697
Promedio 1955	0.0576	0.0427	0.0298	-0.0458	-0.2680	-0.5042	-0.1529	0.0016	0.3323	0.3617	0.3978	0.4391
Promedio 1956	0.2870	0.2942	0.2945	0.3567	0.5604	0.7299	0.4555	0.1598	-0.2498	-0.5278	-0.5430	-0.5558
Promedio 1957	-0.4744	-0.3869	-0.3055	-0.2738	-0.4355	-0.6382	-0.8243	-0.8878	-0.8828	-0.6155	-0.6510	-0.6473
Promedio 1958	-0.4721	-0.4686	-0.4461	-0.5163	-0.4607	-0.1203	0.1624	0.3009	0.7691	1.0330	1.2197	1.2632
Promedio 1959	1.1451	1.1236	1.0603	1.1736	1.1145	1.0401	0.9570	1.0130	0.4571	0.3693	0.1868	0.2148
Promedio 1960	0.3495	0.2848	0.2778	0.1302	0.0915	-0.2465	-0.1855	-0.1046	-0.0657	-0.2577	-0.2453	-0.2792
Promedio 1961	-0.2882	-0.2833	-0.2433	-0.2428	-0.2730	0.0883	0.1995	-0.0727	-0.0263	-0.1624	-0.0724	-0.0822

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Promedio 1962	-0.2044	-0.2162	-0.2359	-0.1590	-0.1510	-0.2239	-0.5255	-0.6069	-0.4527	-0.3339	-0.4413	-0.4393
Promedio 1963	-0.4683	-0.4371	-0.4216	-0.4708	-0.3617	-0.4412	-0.0936	0.0122	0.0312	-0.0567	-0.0523	0.0107
Promedio 1964	0.0670	0.0552	0.0763	0.0677	0.1505	0.1878	-0.0373	-0.2070	-0.2137	-0.2095	-0.1990	-0.2655
Promedio 1965	-0.2620	-0.1637	-0.1922	-0.1401	-0.2846	-0.3239	-0.4175	-0.0888	-0.2527	-0.2105	-0.2425	-0.0473
Promedio 1966	-0.0077	0.0008	0.0433	0.1007	0.1989	0.3192	0.4196	0.4232	0.4612	0.5020	0.4391	0.2327
Promedio 1967	0.2923	0.2121	0.2247	0.1771	0.0343	-0.0358	-0.2010	-0.0672	0.1516	0.1214	0.2107	0.3502
Promedio 1968	0.3255	0.4373	0.5029	0.5224	0.5996	0.6189	0.7845	0.5259	0.3330	0.2617	0.2394	0.1583
Promedio 1969	0.1451	0.0407	-0.0916	-0.1688	-0.2526	-0.4763	-0.4654	-0.1066	-0.1447	-0.1039	-0.1449	-0.0954
Promedio 1970	-0.1210	-0.0715	-0.0951	-0.1401	-0.1441	0.1397	0.2066	-0.0562	0.2441	0.1346	0.1019	-0.0044
Promedio 1971	-0.0145	-0.1142	-0.1452	-0.1292	-0.0679	-0.0371	-0.2213	-0.0248	-0.2220	0.0809	0.1211	0.1855
Promedio 1972	0.2602	0.2720	0.3230	0.3476	0.4704	0.5099	0.6427	0.4391	0.2146	0.1189	0.2517	0.2584
Promedio 1973	0.2654	0.4018	0.3613	0.3567	0.2374	0.2223	0.2268	0.5953	0.6871	0.6211	0.4552	0.3978
Promedio 1974	0.4027	0.2052	0.2215	0.2058	0.1959	0.0537	0.1061	-0.3255	-0.0960	-0.2721	-0.1229	-0.0808
Promedio 1975	-0.0719	-0.0578	-0.1089	-0.1566	-0.1017	-0.1717	-0.0707	0.0844	-0.1151	-0.0041	-0.1520	-0.2070
Promedio 1976	-0.2567	-0.2143	-0.2177	-0.1158	-0.1340	-0.0259	0.1111	0.0539	0.2029	0.3816	0.5730	0.6136
Promedio 1977	0.6348	0.6130	0.6056	0.5511	0.5198	0.4637	0.0502	0.1655	-0.1175	-0.2645	-0.4739	-0.5256
Promedio 1978	-0.5592	-0.4714	-0.3661	-0.4188	-0.3497	-0.3374	-0.1405	-0.3296	0.0976	0.2498	0.2506	0.3285
Promedio 1979	0.4231	0.3905	0.3248	0.3943	0.3616	0.2417	0.1248	0.2147	-0.0075	-0.3477	-0.3822	-0.3398
Promedio 1980	-0.3580	-0.3193	-0.3409	-0.4022	-0.3952	-0.4473	-0.5205	-0.3223	-0.3473	-0.1423	-0.0726	-0.1802
Promedio 1981	-0.0311	-0.0451	0.0296	0.1585	0.2314	0.5751	0.7598	0.6911	0.6148	0.7445	0.6719	0.6611
Promedio 1982	0.4598	0.4410	0.3899	0.3377	0.3445	-0.1036	-0.2762	-0.7013	-0.7967	-1.0126	-0.8165	-0.5729
Promedio 1983	-0.4593	-0.3880	-0.2783	-0.3927	-0.4667	-0.3872	-0.1239	0.2159	0.3962	0.4259	0.4113	0.2732
Promedio 1984	0.3620	0.2706	0.1515	0.1361	0.3116	0.6012	0.7061	0.6586	0.6661	0.5784	0.4989	0.6294
Promedio 1985	0.5376	0.5367	0.5568	0.7220	0.5706	0.5992	0.4121	0.3064	0.0533	0.1931	0.2146	0.0841
Promedio 1986	-0.0261	-0.0030	-0.0328	-0.0972	0.0188	0.0185	-0.0626	-0.1395	-0.0085	0.0371	0.0474	0.0936
Promedio 1987	0.1344	0.1446	0.1801	0.1454	0.0331	-0.0423	0.0911	0.0797	0.0490	-0.2527	-0.3173	-0.3910
Promedio 1988	-0.3258	-0.3767	-0.3348	-0.3320	-0.4286	-0.3730	-0.4418	-0.1298	-0.0926	-0.0207	-0.0679	-0.0545
Promedio 1989	-0.0135	0.0207	-0.0461	-0.0817	-0.0452	-0.2223	-0.4273	-0.5006	-0.5414	-0.5149	-0.3841	-0.2867
Promedio 1990	-0.3073	-0.2862	-0.2327	-0.1905	-0.1029	-0.0283	0.3273	0.1865	0.2722	0.4420	0.4123	0.3842
Promedio 1991	0.3977	0.4115	0.3792	0.3036	0.2625	0.3733	0.2697	0.1040	0.2005	0.1171	0.1747	0.2873
Promedio 1992	0.6495	0.6677	0.7407	0.8195	0.9199	0.7452	0.6395	0.7847	0.6207	0.6310	0.6273	0.4910
Promedio 1993	0.2013	0.1497	0.0828	0.0081	-0.1586	0.2259	0.1030	0.0634	0.2948	0.1498	0.1446	0.0963
Promedio 1994	0.0171	-0.0177	-0.0011	0.0300	0.0285	-0.2081	-0.3544	-0.3028	-0.6158	-0.5180	-0.5327	-0.3945
Promedio 1995	-0.4351	-0.4144	-0.4148	-0.4052	-0.3159	-0.4111	-0.2883	-0.0297	0.1016	0.1036	0.0463	-0.0408
Promedio 1996	-0.1052	-0.1691	-0.1856	-0.1852	-0.2369	-0.0689	-0.0050	-0.0958	-0.1217	-0.0951	-0.0915	-0.1819
Promedio 1997	-0.1005	-0.0552	0.0792	0.2487	0.3461	0.2314	0.1713	-0.2438	-0.2257	-0.1364	-0.0257	0.0592
Promedio 1998	0.0054	0.0171	-0.1173	-0.3562	-0.5885	-0.6698	-0.6485	-0.2992	0.0954	0.1330	0.0803	-0.0211
Promedio 1999	-0.0221	-0.0930	-0.1080	-0.0658	0.0192	0.2706	0.4845	0.3665	-0.0881	-0.1756	-0.2899	-0.2782
Promedio 2000	-0.2768	-0.2483	-0.2558	-0.2711	-0.0984	-0.0019	-0.3485	-0.4380	-0.4912	-0.3360	-0.2324	-0.2407

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Promedio 2001	-0.1840	-0.1322	-0.0955	-0.0139	-0.1209	-0.3976	-0.1668	-0.2287	-0.0079	-0.1736	-0.2533	-0.2384
Promedio 2002	-0.2447	-0.2202	-0.2802	-0.3930	-0.4714	-0.4205	-0.5277	-0.7406	-0.5941	-0.5404	-0.3916	-0.3381
Promedio 2003	-0.3447	-0.3239	-0.2903	-0.2789	-0.2343	-0.1949	-0.1743	0.0302	0.1076	0.2086	0.1468	0.1166
Promedio 2004	0.2679	0.2769	0.3997	0.4666	0.5513	0.5911	0.6250	0.5950	0.4325	0.3530	0.3677	0.3756
Promedio 2005	0.3297	0.4491	0.0099	-0.0713	-0.1334	-0.3937	-0.3057	-0.2888	-0.2666	-0.1832	-0.2646	-0.2801
Promedio 2006	-0.3474	-0.6227	-0.9718	-0.9379	-0.8525	-0.7286	-0.8895	-0.8625	-0.0742	-0.1472	-0.0882	0.0034
Promedio 2007	0.0689	0.0774	0.0367	0.0425	0.0408	0.1470	0.2419	0.4234	0.3388	-0.1369	-0.5188	-0.5103
Promedio 2008	-0.9560	-1.0393	-1.0531	-1.0617	-1.4881	-0.6948	-0.8641	-0.3333	-0.3155	-0.6836	-1.1071	-0.7559
Promedio 2009	-1.5422	-1.5547	-1.5343	-1.5996	-2.6712	-1.1693	-1.5905	-1.6453	-1.7324	-1.9108	-1.8064	-0.9800
Promedio 2010	-1.6018	-1.3551	-1.7170	-1.6211	-2.0656	-0.8902	-0.3954	-0.2175	-0.1939	-0.5706	-0.2538	0.0392
Promedio 2011	-0.4390	-0.6705	-1.0622	-1.1763	-0.8193	-0.4295	-1.0514	-1.1827	-1.7209	-1.2088	-0.7052	-0.6150
Promedio 2012	-0.5856	-0.4513	-0.4270	-0.3742	-0.3045	-0.3054	-0.4092	-0.2402	-0.1044	-0.1104	-0.2575	-0.2938

Fuente: <http://www.ncdc.noaa.gov/temp-and-precip/drought/nadm/indices.php>. Datos basados en estación, el índice de sequía: índice de precipitación estandarizado, archivo tipo datos, se considera solo estaciones localizadas en México, los años 1954-2012.

Cuadro C.8
Valor promedio de SPI-24 mes para la República Mexicana

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Promedio 1954	-0.5202	-0.5261	-0.5611	-0.5976	-0.5572	-0.6590	-0.6430	-0.5988	-0.5895	-0.3898	-0.4817	-0.5654
Promedio 1955	-0.3639	-0.3917	-0.4303	-0.4584	-0.4675	-0.4636	-0.1513	-0.0645	0.3081	0.3219	0.3106	0.2715
Promedio 1956	0.2436	0.2336	0.2163	0.2042	0.2539	0.2548	0.2397	0.1274	0.0970	-0.0598	-0.0537	-0.0483
Promedio 1957	-0.1248	-0.0713	-0.0117	0.0517	0.1149	0.1252	-0.2373	-0.4287	-0.7216	-0.7388	-0.7713	-0.7509
Promedio 1958	-0.7014	-0.6192	-0.5445	-0.5939	-0.6967	-0.5761	-0.4519	-0.3352	0.0520	0.3717	0.4823	0.5168
Promedio 1959	0.5188	0.5102	0.4744	0.5383	0.5374	0.6655	0.7735	0.8930	0.7931	0.9005	0.9259	0.9633
Promedio 1960	1.0526	1.0075	0.9634	0.9625	0.8983	0.6330	0.5681	0.6468	0.2657	0.0792	-0.0551	-0.0501
Promedio 1961	0.0873	0.0558	0.0585	-0.0651	-0.1066	-0.0824	0.0084	-0.1294	-0.0621	-0.2705	-0.2133	-0.2636
Promedio 1962	-0.3172	-0.3186	-0.3094	-0.2489	-0.2792	-0.0941	-0.2293	-0.4576	-0.2869	-0.3118	-0.3284	-0.3470
Promedio 1963	-0.4223	-0.4208	-0.4210	-0.4017	-0.3527	-0.4870	-0.4519	-0.4019	-0.2649	-0.2654	-0.3283	-0.2924
Promedio 1964	-0.2683	-0.2645	-0.2426	-0.2880	-0.1368	-0.1905	-0.1001	-0.1378	-0.1833	-0.2157	-0.1815	-0.2086
Promedio 1965	-0.1452	-0.0935	-0.1033	-0.0852	-0.1163	-0.1239	-0.3412	-0.2056	-0.3241	-0.3002	-0.3015	-0.2077
Promedio 1966	-0.2086	-0.1358	-0.1302	-0.0590	-0.0733	-0.0050	0.0044	0.2275	0.1458	0.2189	0.1637	0.1194
Promedio 1967	0.1945	0.1430	0.1745	0.1729	0.1507	0.1877	0.1367	0.2004	0.3647	0.3814	0.4028	0.3553
Promedio 1968	0.3926	0.4455	0.5120	0.4940	0.4671	0.4001	0.4214	0.2636	0.2675	0.2054	0.2589	0.2873
Promedio 1969	0.3183	0.3369	0.3150	0.2836	0.2827	0.1552	0.2829	0.3182	0.1871	0.1592	0.1117	0.0725
Promedio 1970	0.0439	-0.0020	-0.1201	-0.2127	-0.3089	-0.2571	-0.2107	-0.1359	0.1014	0.0426	-0.0208	-0.0857
Promedio 1971	-0.1018	-0.1445	-0.1724	-0.1891	-0.1630	0.0690	-0.0225	-0.0827	-0.0114	0.1263	0.1265	0.0754

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Promedio 1972	0.1507	0.0944	0.1022	0.1177	0.2645	0.3179	0.2868	0.2641	-0.0152	0.1488	0.2534	0.3033
Promedio 1973	0.3606	0.4702	0.4783	0.4989	0.5148	0.5016	0.6060	0.6826	0.5864	0.4805	0.4523	0.4367
Promedio 1974	0.4754	0.4695	0.4764	0.4639	0.3817	0.2361	0.2602	0.2011	0.3970	0.2185	0.2251	0.2224
Promedio 1975	0.2552	0.1330	0.1242	0.0883	0.1230	-0.0552	0.0484	-0.1627	-0.1299	-0.1815	-0.1814	-0.1704
Promedio 1976	-0.2009	-0.1707	-0.2122	-0.1636	-0.1502	-0.1186	0.0336	0.1020	0.0765	0.2625	0.3039	0.3242
Promedio 1977	0.2927	0.2970	0.2919	0.3205	0.2758	0.3063	0.1303	0.1650	0.0514	0.0827	0.0920	0.1123
Promedio 1978	0.0722	0.1080	0.1651	0.0886	0.1259	0.0977	-0.0648	-0.0637	0.0048	-0.0110	-0.1344	-0.0971
Promedio 1979	-0.0389	-0.0172	-0.0036	0.0153	0.0212	-0.0612	-0.0266	-0.0627	0.0824	-0.0477	-0.0567	0.0204
Promedio 1980	0.0740	0.0476	-0.0091	0.0015	-0.0234	-0.1402	-0.2715	-0.0501	-0.1898	-0.2993	-0.2763	-0.3305
Promedio 1981	-0.2543	-0.2371	-0.1931	-0.1433	-0.0934	0.1276	0.2536	0.2908	0.2361	0.4531	0.4492	0.3648
Promedio 1982	0.3073	0.2854	0.2977	0.3415	0.3958	0.3577	0.3445	0.0622	-0.0248	-0.0440	0.0070	0.1532
Promedio 1983	0.0380	0.0733	0.1111	0.0113	-0.0399	-0.2905	-0.2588	-0.2677	-0.1527	-0.2292	-0.1550	-0.1405
Promedio 1984	-0.0875	-0.0994	-0.1102	-0.1925	-0.1583	0.1590	0.4172	0.5986	0.7527	0.6905	0.6233	0.6011
Promedio 1985	0.5834	0.5251	0.4783	0.5874	0.5968	0.7840	0.7410	0.6290	0.4898	0.5080	0.4740	0.4772
Promedio 1986	0.3466	0.3510	0.3496	0.4389	0.4198	0.4123	0.2396	0.1221	0.0289	0.1539	0.1878	0.1270
Promedio 1987	0.0930	0.1135	0.1075	0.0424	0.0494	-0.0287	0.0111	0.0031	0.0348	-0.1237	-0.1577	-0.1664
Promedio 1988	-0.1657	-0.1913	-0.1564	-0.1742	-0.3060	-0.3701	-0.2410	-0.0289	-0.0483	-0.1716	-0.2337	-0.2881
Promedio 1989	-0.2655	-0.2511	-0.2741	-0.2871	-0.3408	-0.3928	-0.5830	-0.4123	-0.3989	-0.3198	-0.2614	-0.2062
Promedio 1990	-0.2143	-0.1737	-0.1902	-0.1908	-0.1138	-0.1852	-0.0630	-0.2325	-0.2241	-0.0307	0.0241	0.0632
Promedio 1991	0.0419	0.0743	0.0850	0.0726	0.1020	0.2183	0.3807	0.1707	0.2880	0.3599	0.3747	0.4395
Promedio 1992	0.6996	0.7300	0.7648	0.7723	0.8680	0.7408	0.6018	0.5925	0.5335	0.4939	0.5267	0.5111
Promedio 1993	0.5769	0.5620	0.5925	0.5977	0.5592	0.6770	0.5220	0.5873	0.6043	0.5187	0.5165	0.3909
Promedio 1994	0.1212	0.0596	0.0162	-0.0317	-0.1705	-0.0463	-0.1995	-0.1715	-0.2055	-0.2367	-0.2455	-0.1911
Promedio 1995	-0.2629	-0.2673	-0.2640	-0.2511	-0.2123	-0.4477	-0.4592	-0.2386	-0.2958	-0.2361	-0.2952	-0.2627
Promedio 1996	-0.4078	-0.4217	-0.4535	-0.4692	-0.4758	-0.3802	-0.2254	-0.0809	0.0233	0.0532	0.0052	-0.1233
Promedio 1997	-0.1551	-0.1808	-0.1025	0.0145	0.0606	0.0985	0.1071	-0.2340	-0.2161	-0.1390	-0.0786	-0.0758
Promedio 1998	-0.0580	-0.0006	0.0043	-0.0469	-0.1377	-0.2508	-0.2689	-0.3610	-0.0811	-0.0145	0.0219	0.0133
Promedio 1999	-0.0186	-0.0444	-0.1433	-0.2818	-0.3965	-0.2288	-0.0436	0.0748	0.0194	-0.0038	-0.1234	-0.1827
Promedio 2000	-0.2214	-0.2855	-0.3026	-0.2598	-0.0442	0.2798	0.1406	-0.0473	-0.4474	-0.3689	-0.3989	-0.4025
Promedio 2001	-0.2994	-0.2580	-0.2378	-0.1904	-0.1258	-0.2461	-0.3420	-0.3868	-0.2686	-0.3107	-0.3135	-0.3013
Promedio 2002	-0.2977	-0.2500	-0.2680	-0.2745	-0.4190	-0.5772	-0.4703	-0.6070	-0.3497	-0.4459	-0.4256	-0.3861
Promedio 2003	-0.4414	-0.4167	-0.4348	-0.4824	-0.5214	-0.4892	-0.5447	-0.4833	-0.3548	-0.1792	-0.1285	-0.1735
Promedio 2004	-0.0490	-0.0595	0.0405	0.1006	0.1888	0.2420	0.3132	0.4375	0.3019	0.3851	0.3520	0.3282
Promedio 2005	0.4254	0.5030	0.1540	-0.2232	0.1813	0.0686	0.1238	0.1286	-0.1636	-0.5604	-0.1993	-0.2035
Promedio 2006	-0.3047	-0.3351	-1.1621	-1.5855	-1.1960	-1.3759	-1.4314	-1.3697	-0.9646	-1.3118	-0.5279	-0.4539
Promedio 2007	-0.4984	-0.5458	-0.9496	-0.9348	-0.9176	-0.8229	-0.8347	-0.6981	-0.2044	-0.2936	0.1374	0.1671
Promedio 2008	-0.2550	-0.5898	-1.3841	-1.3760	-1.4374	-1.3141	-1.1372	-0.9872	-0.6541	-0.7044	-0.7393	-0.3677
Promedio 2009	-1.2171	-1.6278	-2.4111	-2.0587	-1.6759	-1.6511	-1.7861	-1.9334	-1.5526	-1.4389	-1.4382	-1.0264
Promedio 2010	-1.3856	-1.1904	-1.1801	-0.7469	-0.3514	-0.3591	0.0987	-0.0284	-0.0284	-0.1588	-0.1592	-0.1642

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Promedio 2011	-0.1325	-0.1349	-0.1328	-0.1380	-0.2288	-0.2364	0.4284	0.4847	0.2017	0.0366	0.0467	0.0054
Promedio 2012	-0.0542	-0.1660	-0.1702	-0.2290	-0.1991	-0.2473	-0.6055	-0.5334	-0.7788	-0.6369	-0.6030	-0.5599

Fuente: <http://www.ncdc.noaa.gov/temp-and-precip/drought/nadm/indices.php>. Datos basados en estación, el índice de sequía: índice de precipitación estandarizado, archivo tipo datos, se considera solo estaciones localizadas en México, los años 1954-2012.

Glosario

Inundación

Anegamiento o cubrimiento con agua de un terreno donde se localicen poblaciones, cultivos, bienes o infraestructura. Inundaciones por olas marinas en zonas litorales se reportarán con el término marejada.

Lluvias

Precipitación pluvial. Incluye lluvias puntuales, persistentes o torrenciales en una región específica, así como periodos largos de precipitaciones.

Marejada

Llegada de grandes olas al litoral, causado por huracanes, vendavales, tempestades; por coincidencia entre la dirección de los vientos y periodos de marea alta o por aumentos del nivel medio del mar durante el fenómeno El Niño. En algunos lugares se llama creciente (o puja) a la subida de las mareas hasta los niveles máximos quincenales y cordonazo a los máximos anuales. Excluye los reportes asociados con tsunami o maremoto.

Ola de calor

Aumento de la temperatura en una región con efectos sobre poblaciones humanas, cultivos, bienes y servicios.

Sismo

Se denomina sismo o terremoto a las sacudidas bruscas del terreno causadas por el movimiento de las placas tectónicas.

Tempestad

Lluvia acompañada de vientos fuertes y/o de descargas eléctricas (rayos, relámpagos). En general y también en razón de connotaciones regionales, puede no ser posible diferenciar entre tempestad y vendaval.

Tornado

Columna de vientos fuertes en remolino en forma de embudo que llega a la tierra desde nubes cumulonimbos. Puede incluir lluvia, granizo y rayos.

Vendaval

Perturbación atmosférica que genera vientos fuertes y destructivos, generalmente sin lluvia. Excluye: tornado y ciclón.

Lámina de precipitación

La precipitación que ocurre en una zona no es constante y el escurrimiento que se genera depende en gran medida de la extensión donde tiene lugar y de sus características como el tamaño, su pendiente, el tipo de suelo, la cobertura vegetal

Bibliografía

1. Aguilar, Fabiola D., "Fondo Federal para el Apoyo en Emergencias y/o Desastres Naturales en los Municipios: El FONDEN". Revista hacienda municipal. 2009 <http://132.248.9.4:8991/hevila/Revistahaciendamunicipal/2009/no107/6.pdf>
2. Aparicio, F. "Apuntes de Hidrología de superficie", UNAM, División de Ingeniería Civil Topográfica y Geodésica, Departamento de Ingeniería Hidráulica, México 1987.
3. B. Du ,. X. Xi, Y. Kang,. L. Weng. "Natural Disaster", WFSICCM World Federation of Societies of Intensive and Critical Care Medicine, Section X, Springer Milan, pp 379-390. 2009.
4. Castorena, G., Sánchez, Florescano. "Análisis histórico de las sequías en México". México. Comisión del Plan Nacional Hidráulico, Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, 1980.
5. Comisión Nacional del Agua. "Situación del agua en México" México 2001.
6. Domínguez, R., et al. "Sequias", serie fascículos, no. 3, segunda edición, CENAPRED, México. 2007.
7. Debby Guha-Sapir, Femke Vos, Regina Below, Sylvain Ponserre. "Annual Disaster Sttatistical Review 2011 The numbers and trends" Université catholique de Louvain.Brussels, Belgium 2012 .
http://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/2012.07.05.ADSR_2011.pdf
8. Gamerman, D. and H. Lopes (2006). "Markov Chain Monte Carlo: Stochastic simulation for Bayesian inference." Boca Raton; New York: Chapman & Hall/CRC: 49 - 58.
9. Gilks, R., Richardson, et al. (1998). "Markov Chain Monte Carlo in Practice." Boca Raton: Chapman & Hall/CRC.
10. Gobierno de los Estados Unidos Mexicanos, Presidente de la Republica. "Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012", México 2007.

11. Hayes, Michael J. "Drought Indices". Climate Impacts Specialist, National Drought Mitigation Center. Department of Civil & Environmental Engineering. The University of UTAH, 1999. <http://www.civil.utah.edu/~cv5450/swsi/indices.htm>
12. Kass, R. E. and L. Wasserman (1996). "The Selection of Prior Distributions by Formal Rules." Journal of American Statistical Association 91: 1343 - 1370.
13. McKeen, Thomas B. "The relationship of drought frequency and duration to time scales" Department of atmospheric science. Eight Conference on Applied Climatology, 1993.
<http://ccc.atmos.colostate.edu/relationshipofdroughtfrequency.pdf>
14. McCullagh, P . (1983). "Quasi-Likelihood Functions" Annals of Statistics 11(1): 59 - 67.
15. Nelder, J. and R. Wedderburn (1972). "Generalized linear models." JRSS series A 135(3): 370-384.
16. Ospina Arango, Juan David. "Estimación de un modelo de difusión con saltos con distribución de error generalizada asimétrica usando algoritmos evolutivos", Universidad de Colombia. 2009.
17. Qiaozhen Mu, Maosheng Zhao, et. al "A remotely sensed global terrestrial drought severity index". American Meteorological Society. 2013.
18. Reyes Ch. L., "Identificación y análisis de sequías", Tesis de Maestría, División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería, UNAM, México 1996.
19. Robert, C. and G. Casella (2004). "Monte Carlo Statistical Methods." New York [etc.] : Springer, cop. 2004.
20. Rubinstein, R. and D. Kroese (2008). "Simulation and the Monte Carlo Method." John Wiley and Sons.
21. R, D. C. T. (2008). "R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>."

22. Salas Salinas, Antonio, et al. "Inundaciones", serie Fascículos, no. 3, segunda edición, CENAPRED, México 2007.
23. Scollnik, D. (2003). "Implementation of Four Models for Outstanding Liabilities in WinBUGS: A Discussion of a Paper by Ntzoufras and Dellaportas (2002)." Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada (NSERC): 1 - 21.
24. Secretaria de Gobernación. "Diagnóstico de peligros e identificación de riesgos de desastres en México Atlas Nacional de Riesgos de la República Mexicana". Centro Nacional de Prevención de Desastres. México. 2001.
25. Secretaria de Gobernación. "Características e impacto socioeconómico de los principales desastres ocurridos en la república mexicana en el año 2010". Centro Nacional de Prevención de Desastres. México. 2010.
26. Spiegelhalter, D., A. Thomas, et al. (1996). "BUGS 0.5: Bayesian inference using Gibbs sampling." MRC Biostatistics Unit, Cambridge, U.K.
27. Spiegelhalter, D., A. Thomas, et al. (1996). "WinBUGS User Manual." <http://www.mrc-bsu.cam.ac.uk/bugs/winbugs/manual14.pdf>
28. Villamil, Jaime. "Modelos de valoración de opciones europeas en tiempo continuo" Cuadernos de economía, no. 44, Bogotá 2006.
29. Walsh, B. (2004). "Markov Chain Monte Carlo and Gibbs Sampling." Lecture Notes for EEB 581, version 26: 1 - 24.
30. Palmer, Wayne C. " Meteorological Drought" Office of Climatology, Washington,U.S. 1965.
31. Wedderburn, R. W. M. (1974). "Quasi-likelihood functions, generalized linear models and the Gauss—Newton method." *Biometrika* 61(3): 439 - 447.
32. William M. Alley. "The Palmer Drought Severity Index: Limitations and Assumptions". U.S. Geological Survey, Restonm, 1984.

Referencias

1. Contreras Servín, Carlos. “Las sequías en México durante el siglo XIX” http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112005000100008&lng=es&nrm=iso&tlng=es
2. Domínguez Mora, Ramón. “Las inundaciones en la Ciudad de México. Problemática y Alternativas de Solución” Revista Digital Universitaria. 2000. <http://www.revista.unam.mx/vol.1/num2/proyec1/> (Consultado 7 abril 2013)
3. Fernández-Eguiarte A., J. Zavala-Hidalgo, R. Romero-Centeno. “Atlas Climático Digital de México (versión 2.0)”. Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM y Servicio Meteorológico Nacional, CONAGUA.2011. <http://uniatmos.atmosfera.unam.mx>
4. Gay García Carlo. “México: una visión hacia el siglo XXI. El cambio climático en México”. Instituto Nacional de Ecología, Universidad Nacional Autónoma de México, US Country Studies Program. México,2000, p 220. http://www.atmosfera.unam.mx/editorial/libros/cambio_climatico/
5. Hernández Cerda, María Engracia., Valdez Madero, Gonzalo. “Sequía meteorológica”. INE. Instituto Nacional de ECOLOGÍA. 2007. <http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/437/hernandez.html>
6. Hernández, Juan. Vieyra, Antonio. “Riesgo por inundaciones en asentamientos precarios del periurbano. Morelia, una ciudad media mexicana. ¿El desastre nace o se hace?”. Revista de Geografía Norte Gande. <http://www.scielo.cl/pdf/rgeong/n47/art03.pdf>
7. Hernández Unzón, Alberto, Bravo Lujan, Cirilo. “Huracán Pauline [05 Octubre – 10 Octubre]”, Subdirección General Técnica, Servicio Meteorologico Nacional. <http://smn.cna.gob.mx/ciclones/tempo1997/pacifico/pauline.pdf>
8. INEGI. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Marco Geoestadístico Municipal 2009. <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/geoestadistica/default.aspx>
9. INEGI. “Principales resultados del Censo de Población y Vivienda 2010”. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. http://www.inegi.org.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/censos/poblacion/2010/princi_result/tamps/28_principales_resultados_cpv2010.pdf

Páginas web

1. Centro de Ciencias de la Atmosfera, Universidad Nacional Autónoma de México.
<http://uniatmos.atmosfera.unam.mx/ACDM/>
2. Centro Nacional de Prevención de Desastres Cartel de Ceniza Volcánica-
http://www.cenapred.unam.mx/es/Publicaciones/publicaciones/2012/publicacione_sVolcan/cartelCeniza.pdf (Consultado 6 abril 2013)
3. Centro de instrumentación y registro sísmico, A. C., “EL SISMO DEL 19 DE SEPTIEMBRE DE 1985” http://www.cires.org.mx/1985_es.php (Consultado 25 de marzo de 2013)
4. Colegio de Postgraduados.
<http://www.cm.colpos.mx/meteoro/progde/palm/seq1.htm> (Consultado 2 de marzo 2013)
5. DesInvetar. <http://www.desinventar.org/es/>
6. Instituto Mexicano de Tecnología de Agua <http://www.imta.mx/index.php> (Consultado 27 abril 2013)
7. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). “Las sequías en México” http://www.imta.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=177:las-sequias-en-mexico&catid=52:enciclopedia-del-agua&Itemid=106 (Consultado 7 abril 2013)
8. National Climatic Data Center, North America Drought Monitor <http://www.ncdc.noaa.gov/temp-and-precip/drought/nadm/index.php>
9. Servicio Meteorológico Nacional (Mexican National Meteorological Service) <http://smn.cna.gob.mx/> (9 de abril de 2013)