

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA
SECCIÓN DE FÍSICA**



TRABAJO DE GRADO:

**“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA SEQUÍA
METEOROLÓGICA DURANTE LA ESTACION LLUVIOSA EN LA
ZONA ORIENTAL DE EL SALVADOR”**

PRESENTADO POR:

**JORGE ALBERTO ARAUJO BATRES
MILTON JONATHAN GUEVARA LEMUS**

PARA OPTAR AL GRADO DE:

LICENCIATURA EN FÍSICA

DOCENTE DIRECTOR:

LICDA. TELMA ELIZABETH JIMENEZ MURILLO

**CIUDAD UNIVERSITARIA ORIENTAL, FEBRERO DE 2017
SAN MIGUEL EL SALVADOR CENTRO AMERICA**

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
AUTORIDADES UNIVERSITARIAS**

MS.c ROGER ARMANDO ARIAS
RECTOR

DR. MANUEL DE JESUS JOYA
VICE-RECTOR ACADÉMICO

MS.c CRISTOBAL HERNAN RIOS
SECRETARIO GENERAL

FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL

ING. JOAQUÍN ORLANDO MACHUCA
DECANO

LICENCIADO JORGE ALBERTO ORTEZ HERNÁNDEZ
SECRETARIO

LIC. EDWIN JEOVANNY TREJOS CABRERA
ADMINISTRADOR ACADÉMICO:

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA

LIC. JOSE ALCIDES MARTINEZ

**JEFE DEL DEPARTAMENTO DE CIENCIAS NATURALES Y
MATEMÁTICAS**

LICDA. TELMA ELIZABETH JIMENEZ MURILLO

DOCENTE DIRECTOR

LICDA. GLORIA ELIZABETH LARIOS DE NAVARRO

TRIBUNAL CALIFICADOR

LIC. OSCAR ARMANDO CALDERON

TRIBUNAL CALIFICADOR

LICDA. BLANCA MIRIAN RAMOS DE ROSALES

COORDINADORA DE LA CARRERA LICENCIATURA EN FÍSICA

MSc. OSCAR ULISES LIZAMA VIGIL

COORDINADOR GENERAL DE PROCESOS DE GRADUACION

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICAS

**TRABAJO DE GRADUACIÓN PREVIO A LA OPCIÓN AL GRADO DE:
LICENCIADO EN FÍSICA**

TÍTULO:

“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA SEQUÍA METEOROLÓGICA
DURANTE LA ESTACION LLUVIOSA EN LA ZONA ORIENTAL DE EL
SALVADOR”

PRESENTADO POR:

JORGE ALBERTO ARAUJO BATRES
MILTON JONATHAN GUEVARA LEMUS

TRABAJO DE GRADO APROBADO POR:

LICDA. TELMA ELIZABETH JIMENEZ MURILLOS

DOCENTE DIRECTOR

CIUDAD UNIVERSITARIA ORIENTAL, MAYO DE 2017

TRABAJO DE GRADUACIÓN APROBADO POR:

LICDA. TELMA ELIZABETH JIMENEZ MURILLOS
DOCENTE DIRECTOR

LICDA. GLORIA ELIZABETH LARIOS DE NAVARRO
TRIBUNAL CALIFICADOR

LIC. OSCAR ARMANDO CALDERON
TRIBUNAL CALIFICADOR

MSc. OSCAR ULISES LIZAMA VIGIL
COORDINADOR GENERAL DE PROCESOS DE GRADUACION

AGRDECIMIENTOS

Agradecemos principalmente a Dios todo poderoso que nos ha dado la vida y nos ha permitido llegar hasta esta etapa de formación académica.

Agradecemos a nuestros padres que nos han sabido conducir por el camino del bien, mediante sus esfuerzos y sacrificios; y se han esmerado por nuestro porvenir.

Agradecemos a nuestro docente director, que permaneció con nosotros apoyándonos durante el transcurso de este trabajo y nos brindó sus conocimientos y sus ideas para desarrollar este trabajo.

Agradecemos a todos los maestros y licenciados que ha depositado su confianza en nosotros y nos han transmitido sus conocimientos y nos han brindado su apoyo para que de esa manera pudiéramos lograr nuestros objetivos y metas.

Agradecemos a todas las personas (hermanos, amigos, etc.) que de alguna forma han sido participes en nuestra formación, ya sea, moralmente o económicamente.

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedicamos a nuestros padres, los cuales, han sido esos pilares fundamentales en la edificación de nuestra vida; pues has mostrado ser capaces e incondicionales y han dado el todo por el todo. A ellos sea el mérito.

A nuestros hermanos y amigos que nos han apoyado durante nuestra carrera y han sido indispensables para la consumación de nuestras metas e ideales.

A la comunidad científica que ha plasmado sus huellas en las páginas de la historia; y han construido un monumento al saber, sentando las bases teóricas para que nuevos investigadores edifique sobre ellas sus ensayos.

Y a la madre naturaleza; la cual nos brinda la lluvia y a la vez nos priva de ella; pues, al no haber sequía, no habríamos realizado este estudio concerniente a la sequía.

INDICE DE GENERAL

CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1 Antecedentes del fenómeno	1
1.2 Enunciado del problema.....	3
1.3 Objetivos	3
1.3.1 Objetivo general:.....	3
1.3.2 Objetivos específicos:.....	3
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	5
2.1 Bases Teóricas.....	5
2.1.1 Definición y tipos de sequía.....	5
2.1.2 Conceptualización y caracterización de la sequía.....	12
2.1.3 Descripción de la canícula.....	15
2.1.4 Incidencia del fenómeno “EL NIÑO” y otros modos de variabilidad climática sobre la sequía meteorológica.	16
2.1.5 Zonas afectadas por sequía en El Salvador.....	22
2.1.6 Métodos cuantitativos de caracterización de la sequía.....	25
2.1.7 Métodos de cuantificación de la sequía meteorológica.....	28
CAPITULO III: MARCO METODOLOGICO	45

3.1 Ubicación del estudio.....	45
3.2 Nivel de la investigación.....	45
3.3 Diseño de la investigación	45
3.4 Unidades de análisis.....	46
3.4. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos	46
3.5 Técnicas de procesamiento y análisis de datos	46
CAPITULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	50
4. 1 Índice de precipitación pluviométrica.....	51
4.2 Frecuencia mensual de sequía.....	77
4.3 Frecuencia de ocurrencia de eventos secos anuales en porcentaje	81
4.4 Magnitud de anomalías de sequía mensuales.....	88
4.5 Magnitud de anomalías de sequía anual.....	92
4.5 Comparación entre eventos secos con episodios del fenómeno El Niño/La Niña.....	97
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	102
BIBLIOGRAFÍA	104
ANEXOS	110

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Esquema de variabilidad climática.	12
Figura 2: Esquema que muestra la región de EL NIÑO 3.4	21
Figura 3: Esquema que muestra las anomalías de temperatura para el ONI.....	22
Figura 4: Mapa preliminar de tipos de sequía en El Salvador	24
Figura 5: Mapa de sequía de 1997 respecto a cultivos dañados, DGEA MAG.....	24
Figura 6: Ubicación de las estaciones meteorológicas con más del 80 % de datos	47

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación del spi por categorías y su probabilidad de ocurrencia.....	41
Tabla 2: Frecuencia promedio de ocurrencia mensual en porcentaje de sequía para los departamentos de Cabañas, San Vicente, La Paz y La Unión	77
Tabla 3: Frecuencia promedio de ocurrencia mensual en porcentaje de sequía para los departamentos de Usulután, San Miguel y Morazan	78
Tabla 4: Frecuencia de ocurrencia porcentual de episodios de sequía anual. Departamentos de Cabañas, San Vicente y La Paz.....	81
Tabla 5: Frecuencia de ocurrencia porcentual de episodios de sequía anual. Departamentos de La Unión, Usulután	82
Tabla 6: Frecuencia de ocurrencia porcentual de episodios de sequía anual. Departamentos de San Miguel y Morazán	83
Tabla 7: Magnitud de anomalías de sequía mensual en porcentaje para los departamentos de Cabañas, San Vicente, La Paz y La Unión.....	88
Tabla 8: Magnitud de anomalías de sequía mensual en porcentaje para los departamentos de Usulután, San Miguel y Morazan.....	89
Tabla 9: Magnitud de anomalías de sequía anuales para los departamentos de Cabañas, San Vicente y La Paz	92

Tabla 10: Magnitud de anomalías de sequía anuales para La Unión y Usulután	93
Tabla 11: Magnitud de anomalías de sequía anuales para San Miguel y Morazán	94
Tabla 12: Relación entre años con eventos secos y años con episodios El Niño/La Niña para Cabañas, San Vicente, La Paz y La Unión.....	97
Tabla 13: Relación entre años con eventos secos y años con episodios El Niño/La Niña para Usulután, San Miguel y Morazán.....	98

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Índice SPI de la estación B-03.....	51
Gráfico 2: Índice SPI de la estación B-05.....	51
Gráfico 3: Índice SPI de la estación B-08.....	52
Gráfico 4: Índice SPI de la estación V-03.....	53
Gráfico 5: Índice SPI de la estación V-04.....	53
Gráfico 6: Índice SPI de la estación V-10.....	54
Gráfico 7: Índice SPI de la estación V-06.....	54
Gráfico 8: Índice SPI de la estación V-16.....	55
Gráfico 9: Índice SPI de la estación P-03.....	56
Gráfico 10: Índice SPI de la estación P-08.....	57
Gráfico 11: Índice SPI de la estación P-16.....	57
Gráfico 12: Índice SPI de la estación N-06.....	59
Gráfico 13: Índice SPI de la estación N-11.....	59
Gráfico 14: Índice SPI de la estación N-09.....	60
Gráfico 15: Índice SPI de la estación N-15.....	60
Gráfico 16: Índice SPI de la estación N-10.....	61

Gráfico 17: Índice SPI de la estación U-04.....	63
Gráfico 18: Índice SPI de la estación U-14.....	63
Gráfico 19: Índice SPI de la estación U-10.....	64
Gráfico 20: Índice SPI de la estación U-11.....	64
Gráfico 21: Índice SPI de la estación U-23.....	65
Gráfico 22: Índice SPI de la estación U-09.....	65
Gráfico 23: Índice SPI de la estación U-24.....	66
Gráfico 24: Índice SPI de la estación U-08.....	66
Gráfico 25: Índice SPI de la estación M-04.....	68
Gráfico 26: Índice SPI de la estación M-05.....	68
Gráfico 27: Índice SPI de la estación M-23.....	69
Gráfico 28: Índice SPI de la estación M-07.....	69
Gráfico 29: Índice SPI de la estación M-15.....	70
Gráfico 30: Índice SPI de la estación M-16.....	70
Gráfico 31: Índice SPI de la estación M-18.....	71
Gráfico 32: Índice SPI de la estación Z-08.....	73
Gráfico 33: Índice SPI de la estación Z-12.....	73

Gráfico 34: Índice SPI de la estación Z-13 74

Gráfico 35: Índice SPI de la estación Z-09 74

RESUMEN

El presente estudio trata acerca de la caracterización de la sequía pluviométrica en la zona oriental de El Salvador y departamentos aledaños, fenómeno que ocurre a lo largo de la estación lluviosa; en la cual suceden múltiples eventos secos.

Para realizar esta caracterización se analizaron los datos de precipitación de 35 estaciones meteorológicas representativas, de una serie temporal de 44 años; desde 1971 hasta 2014. Debido a que la serie de datos no era homogénea se empleó una técnica de aproximación de datos, aplicando regresión lineal. Se emplearon varios parámetros, entre los cuales se tienen: la magnitud, la intensidad y la frecuencia de la sequía meteorológica. Se calculó el índice de sequía pluviométrica, y se hizo una relación entre los años con eventos secos y años con presencia del fenómeno El Niño ó La Niña. Los resultados obtenidos a través de este estudio fueron los siguientes: los meses que presentan mayor ocurrencia de eventos secos de mayor a menor son agosto, julio y mayo. También se observó que no existe un patrón de continuidad espacial ni temporal para este fenómeno, independiente de la altitud.

En los años con presencia del fenómeno El Niño/La Niña; se observó que los años que presentan mayor frecuencia de ocurrencia de eventos secos son los años en los que no hay episodios de El Niño ó La niña; luego, ocurren más eventos secos en años con episodios de EL Niño, seguido de años con episodios de La Niña.

PALABRAS CLAVE: Sequía meteorológica, tipología, estación lluviosa, precipitación, magnitud, anomalía de precipitación, intensidad, frecuencia, variabilidad climática.

INTRODUCCIÓN

La sequía es un fenómeno climático de mucha relevancia debido al impacto negativo que causa en las poblaciones que la sufren. En este fenómeno interactúan una serie de factores oceánicos, atmosféricos y climáticos, así como factores de índole edáficos, fisiográficos, ambientales, económicos y sociales. Existen diferentes tipos de sequías, las cuales se clasifican de acuerdo a los factores o procesos que las causan o debido a los efectos que estas producen. Se pueden diferenciar al menos dos tipologías de sequías, la primera, propuesta por geógrafos, entre las cuales se distinguen tres tipos: la sequía de precipitación, sequía de esorrentía y la sequía acuífera; y una segunda tipología: sequía meteorológica, sequía hidrológica y la sequía agrícola. El presente estudio se enfoca en la sequía meteorológica, la cual se define como una disminución en las lluvias durante un período específico y en relación a un promedio histórico.

En la presente investigación se aborda el tema de la sequía meteorológica estudiada desde una perspectiva física del fenómeno. Se desarrolla un análisis sobre su comportamiento durante la estación lluviosa, con el fin de caracterizarla. Para ello, se analizan los datos de precipitación diaria de las estaciones meteorológicas correspondientes a las zonas oriental y paracentral del país, proporcionados por el Ministerio de Medio Ambiente, a través de herramientas estadísticas. Para realizar este análisis se calcularon tres parámetros: la magnitud, la intensidad y la frecuencia de los eventos secos. El estudio consta de cinco capítulos, cada uno de los cuales se describe a continuación:

En el capítulo I (Planteamiento del problema) Se mencionan los estudios previos realizados sobre el tema de la sequía. Se describe el planteamiento del problema; y se muestran los objetivos que se esperaba alcanzar.

El capítulo II (Marco teórico) se reúne toda la información bibliográfica que guarda relación con el tema de investigación, la cual sirve como base teórica para establecer un enfoque conciso y bien sustentado del fenómeno.

El capítulo III (Marco metodológico) trata sobre la estrategia y los métodos que se emplearon para llevar a cabo esta investigación. En este se detallan los procedimientos estadísticos necesarios para realizar una caracterización precisa de la sequía, a través de los métodos de cuantificación más apropiados. Aquí se menciona el tipo de investigación al que corresponde, su ubicación, su nivel de profundidad y las unidades de análisis.

En el capítulo IV (Análisis de resultados) se presentan los gráficos del índice de sequía pluviométrica de cada estación estudiada; se presentan las tablas de frecuencia en porcentaje mensual y anual, las tablas de anomalías de sequía y las tablas de comparación entre los años con eventos secos y los años con aparición del fenómeno El Niño ó La Niña.

En este capítulo se desarrolla un análisis minucioso de comportamiento del fenómeno de la sequía para cada estación meteorológica a partir de los gráficos y de las tablas presentadas; también se realiza una interpretación de los resultados obtenidos.

En el capítulo V se presentan las conclusiones y las recomendaciones para posteriores investigaciones sobre temas afines.

CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Antecedentes del fenómeno

La sequía meteorológica es un fenómeno climático que afecta a la estación lluviosa. En El Salvador la sequía más conocida es la sequía de verano conocida como canícula; la cual se le considera debida a las fluctuaciones en la intensidad y la ubicación de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) del Pacífico Este. La intensificación de los vientos alisios durante Julio y Agosto y el forzamiento orográfico de las montañas sobre Centro América resultan en precipitación máxima a lo largo de la costa del Caribe y precipitación mínima a lo largo de la Costa pacífica de Centro América. Pueden ocurrir múltiples episodios de sequía a largo de la estación lluviosa.

Se han realizado varios estudios sobre el tema de la sequía a nivel internacional como a nivel regional y local. A continuación, se citan algunos de estos estudios.

El estudio Magaña et al, (1999) les permitió determinar que existe una distribución bimodal en el ciclo anual de la precipitación sobre la parte centro-sur de México, Centro América y partes del Caribe, con máximas durante Junio y septiembre-Octubre y un mínimo relativo durante Julio-Agosto. Los objetivos del estudio consistieron en explicar la estructura bimodal de la precipitación, definir las estaciones de lluvias normales o anómalas, es decir, la variabilidad interanual de las precipitaciones, describir con precisión el ciclo anual regional y examinar los mecanismos que lo controlan. Los investigadores concluyeron que son las fluctuaciones en el flujo convergente de bajo nivel junto con las fluctuaciones estacionales en la temperatura superficial del mar (SST) por sus siglas en inglés, moduladas por los vientos alisios y la radiación, que actúan

juntas para producir una distribución bimodal de la precipitación durante la estación de verano del hemisferio norte.

Después de tratar varios promedios temporales en la precipitación, se determinó que los promedios bisemanales son los más apropiados para estudiar la sequía de pleno verano (MSD) por sus siglas en inglés. Aún no está claro cuál es la relación entre los fenómenos tales como El Niño y el MSD. Sin embargo los datos de precipitación manejados en este estudio muestran que el MSD aparece ya sea durante El Niño o la Niña.

García et al. (2003), describen el impacto socio-económico que tiene la canícula en la agricultura de El Salvador. Según estos investigadores, la sequía es más acentuada en la zona oriental del país. En esta zona inicia más temprano y termina más tarde. Los investigadores hicieron uso de mapas que muestran las zonas del país más afectadas por la canícula en diferentes años. Concluyen que inicios tempranos de períodos secos, inclusive desde Junio y alargamientos de la canícula asociados al fenómeno de EL Niño provocan sequías agrícolas. Dentro del área de influencia de años con sequías se encuentran los embalses que producen la mayor parte de energía eléctrica, asentamientos humanos que se abastecen de agua de pozos, los cuales dependen de la recarga anual. Además en esas zonas también se desarrollan actividades agrícolas para la producción de granos básicos como maíz, frijol y sorgo, de ahí la problemática generada por la canícula severa. Este estudio guarda relación con la presente investigación porque hace un sondeo de las regiones afectadas por la canícula en El Salvador y plantea una posible delimitación temporal del inicio y el final de la canícula. Al igual que muestra algunos mapas con información precisa para la presente investigación.

Corral (2012), plantea que la canícula afecta la capacidad productiva de los sistemas agrícolas debido a un decremento en el suministro de agua a los cultivos. El objetivo de su trabajo se centró en examinar el grado de afectación a nivel regional que una canícula prolongada pudo generar sobre las poblaciones indígenas de la región de Tepeaca durante el siglo XVI. Para ello examinó los efectos negativos de una canícula prolongada que afectó a la región de Tepeaca durante el 2009 y produjo una reducción de maíz a nivel regional. Además postuló que al estudiar los efectos perjudiciales del clima sobre los cultivos de una región de poblaciones modernas, es posible modelar analógicamente sus consecuencias en poblaciones pretéritas.

1.2 Enunciado del problema

Análisis y caracterización del comportamiento de la sequía meteorológica en la zona oriental de El Salvador, y su extensión a los departamentos de Cabañas, San Vicente y La Paz, durante la estación lluviosa.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general:

Caracterizar el comportamiento de la sequía meteorológica en la zona oriental de El Salvador, y su extensión a los departamentos de Cabañas, San Vicente y La Paz, durante la estación lluviosa.

1.3.2 Objetivos específicos:

- ❖ Analizar la intensidad de eventos secos por medio del cálculo de Índice estandarizado de sequía pluviométrica.

- ❖ Determinar la magnitud y la frecuencia con que ocurren los eventos de la sequía pluviométrica.

- ❖ Identificar la incidencia del fenómeno El Niño y otros modos de variabilidad climática sobre la sequía meteorológica.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Bases Teóricas

2.1.1 Definición y tipos de sequía

Sequía meteorológica:

Fundamentada en datos climáticos, la sequía meteorológica es un déficit de la precipitación respecto a la media en una región y durante un periodo de tiempo determinado.

Dada la dificultad de establecer una duración y magnitud del déficit pluviométrico válidas para diferentes áreas geográficas, algunas definiciones de sequía optan por no especificar umbrales fijos.

La definición de sequía meteorológica está vinculada a una región específica, pues las condiciones atmosféricas que generan un déficit en las precipitaciones son muy variables de una región a otra. Además, este tipo de sequía también puede implicar temperaturas más altas, vientos de fuerte intensidad, humedad relativa baja, incremento de la evapotranspiración, menor cobertura de nubes y mayor insolación; todos estos factores pueden incidir finalmente en una reducción de las tasas de infiltración de la lluvia, mayor escorrentía, reducción en la percolación profunda y menor recarga de las aguas subterráneas. En muchos casos el indicador primario de disponibilidad de agua es la precipitación.

Palmer (1965) define sequia meteorológica como el *“intervalo de tiempo, generalmente con una duración del orden de meses o años, durante el cual, el aporte de humedad en*

un determinado lugar cae consistentemente por debajo de lo climatológicamente esperado o del aporte de humedad climatológicamente apropiado'', mientras que Russell et al, (1970) son más concisos en su definición: *''Falta prolongada de precipitación, inferior a la media''*.

En la mayoría de los casos, las definiciones de sequía meteorológica presentan información específica para cada región particular, que varía en función de las características del clima regional. Por tanto es imposible extrapolar una definición de una región a otra.

A continuación se presenta una serie de definiciones de sequía meteorológica según diferentes autores y países.

- Indonesia (BALI): *Periodo de seis días sin lluvia*, (Hudson y Hazen, 1964)
- España: *En las diferentes cuencas hidrográficas españolas pueden considerarse años secos aquellos cuya precipitación experimenta la siguiente reducción respecto a la media anual: Cantábrico, Duero y Ebro, 15-25%; Guadalquivir, 20-25%; Guadiana/Tajo, 30%; Levante y sureste, 40-50%* (Olcina, 1994).
- Gran Bretaña: *Periodo de al menos quince días consecutivos con precipitación diaria inferior a 0.25 mm* (Goudie, 1985).
- India: *Situación en la que la precipitación estacional anual es deficiente en, al menos, dos veces la desviación típica* (Ramdas, 1960).
- India (Indian Meteorological Office): *La precipitación es inferior al 80% de los niveles normales* (Dhar et al., 1979).
- Libia: *Precipitación anual inferior a 180 mm* (Hudson y Hazen, 1964).

- Nordeste de Brasil: *Precipitaciones mensuales durante el periodo lluvioso inferiores a 100 mm, o inferiores al 80% de la media a lo largo de 90 días, durante los cuales se producen intervalos superior a 10 días con valores inferiores a 10 mm* (SUDENE, 1981).
- URSS: *Periodo de 10 días con una lluvia total que no excede a 5 mm* (Krishnan, 1979).

Algunas definiciones propuestas no sólo contemplan la precipitación, sino que añaden la incidencia de evapotranspiración, con lo cual crean confusión con la definición de déficit hídrico, que forma parte del ciclo climático anual y no tiene que constituir una situación de sequía.

Tal es el caso de Rind et al, (1990), que definen sequia meteorológica como *“la condición resultante de un exceso de demanda atmosférica de humedad respecto a su aporte (Evapotranspiración potencial “ETP” mayor que Precipitación media mensual “P”)”*.

La sequía meteorológica da origen a los restantes tipos de sequía y normalmente suele afectar a zonas de gran extensión. El origen de la escasez de precipitaciones está relacionado con el comportamiento global del sistema océano-atmósfera, donde influyen tanto factores naturales como factores antrópicos.

Sequía hidrológica:

Esta hace referencia a una deficiencia en el caudal o volumen de aguas superficiales o subterráneas (ríos, embalses, lagos, etc.). Al producirse un desfase entre la escasez de lluvias o nieves y la reducción del caudal de ríos o el nivel de lagos y embalses, las

mediciones hidrológicas no pueden ser utilizadas como un indicador del inicio de sequía, pero sí de su intensidad.

A diferencia de la sequía agrícola, que se presenta poco tiempo después de la meteorológica, la sequía hidrológica puede demorarse durante meses desde el inicio de la escasez pluviométrica o, si las lluvias retornan en poco tiempo, no llega a manifestarse. La secuencia temporal entre una sequía y otra se establece así: sequía meteorológica, a continuación sequía agrícola y, en último lugar, sequía hidrológica.

La capacidad de gestionar los recursos hídricos hace que la sequía hidrológica no dependa exclusivamente del volumen de agua existente en los depósitos naturales o artificiales, sino que también es determinante la forma en que se emplea el agua embalsada.

Linsley et al, (1975) toma en consideración estos aspectos, al definir sequía hidrológica como el *“periodo durante el cual los caudales son inadecuados para satisfacer los usos establecidos bajo un determinado sistema de gestión de aguas”*.

Sequía agrícola o hidroedáfica:

Por ser el primer sector económico que resulta afectado por la escasez de precipitaciones, la agricultura adquiere una especial relevancia en relación con la sequía. Así, se produce una sequía agrícola cuando no hay suficiente humedad en el suelo para permitir el desarrollo de un determinado cultivo en cualquiera de sus fases de crecimiento (Valiente, 2001).

Dado que la cantidad de agua es diferente para cada cultivo, e incluso puede variar a lo largo del crecimiento de una misma planta, no es posible establecer umbrales de sequía

agrícola válidos ni tan siquiera para una única área geográfica. Aún así, Kulik (1962) se arriesga a ello, definiendo sequía agrícola como el “*periodo durante el cual sólo hay 19 mm de agua disponible en los primeros 20 cm del suelo*”.

Este tipo de sequía, por depender no solo de las condiciones meteorológicas, sino también de las características biológicas del cultivo y las propiedades del suelo, no es equivalente a la sequía meteorológica. Si los niveles de humedad en el subsuelo son suficientes para proporcionar agua a un determinado tipo de cultivo durante el periodo que dure la sequía meteorológica, no llegará a producirse una sequía agrícola.

En zonas de cultivos de secano va ligada a la sequía meteorológica con un pequeño desfase temporal dependiente de la capacidad de retención de humedad del suelo edáfico. En zonas irrigadas la sequía agrícola está más vinculada a la sequía hidrológica.

Sequía socioeconómica:

Se produce cuando la disponibilidad de agua disminuye hasta el punto de producir daños (económicos o personales) a la población de la zona afectada por la escasez de lluvias. Para hablar de sequía socioeconómica no es necesario que se produzca una restricción del suministro de agua, sino que basta con que algún sector económico se vea afectado por la escasez hídrica. La pujante presión antrópica sobre el recurso agua hace que cada vez sea mayor la incidencia de la sequía socioeconómica, con pérdidas económicas crecientes, incluso en el caso de una sequía meteorológica leve.

En términos generales, la sequía socioeconómica sucede a la agrícola, pero en regiones menos desarrolladas, donde este sector tiene un mayor peso en la economía, y su

incidencia es más directa e inmediata que en regiones desarrolladas, la sequía agrícola constituye en sí misma el inicio de la sequía socioeconómica.

En el caso de la sequía socioeconómica son tan determinantes la magnitud y la duración del evento seco como la forma en que la economía y la sociedad desarrollan sus actividades, ya que determinadas acciones incrementan la vulnerabilidad a la escasez de precipitaciones.

En función de esa vulnerabilidad, los efectos de la sequía sobre la economía y la sociedad, medidos en forma de pérdidas materiales, población afectada o pérdida de vidas humanas, adquirirán mayor o menor relevancia, llegando a configurar situaciones en las que la sequía es considerada una catástrofe.

Las diferentes formas en que la sociedad y la economía de una región pueden verse afectadas por la escasez de precipitaciones quedan reflejadas en las diversas definiciones existentes de este tipo de sequía:

- Escasez de precipitaciones tan cuantiosa y continuada como para afectar dañinamente a la vida animal y vegetal de un lugar, y para reducir las reservas de agua para usos domésticos y para el funcionamiento de plantas energéticas, especialmente en aquellas regiones donde la lluvia es normalmente suficiente para tales necesidades (Havens, 1954).
- Desvío negativo extenso y significativo de la precipitación con relación al régimen alrededor del cual una sociedad se ha establecido (Rasmussen, 1987).
- Fenómeno accidental de duración variable, marcado por un déficit anormal de agua, que produce una ruptura del equilibrio natural, una desorganización de la

gestión del país, una reducción considerable de la producción, y conflictos sociales que pueden ser irreversibles. Se produce en todos los dominios climáticos, pero afecta más duramente a las regiones semiáridas marcadas por una fuerte variación interanual de las lluvias (Toupet, 1989).

- Déficit hídrico inusual que genera impactos adversos en la sociedad que la padece, alterando el normal desenvolvimiento de su vida colectiva (López, 1995).
- Episodio de baja precipitación y mala distribución de las lluvias, que hace difícil la alimentación de la población y los rebaños, e imposibilita el mantenimiento de las reservas de agua necesarias para el consumo humano y animal (SUDENE, 1999).

Los cuatro tipos de evento seco analizados reflejan un proceso de evolución de la sequía, determinado tanto por la variabilidad natural del clima, como por la duración del evento, y por la interacción entre clima y sociedad (figura 1).

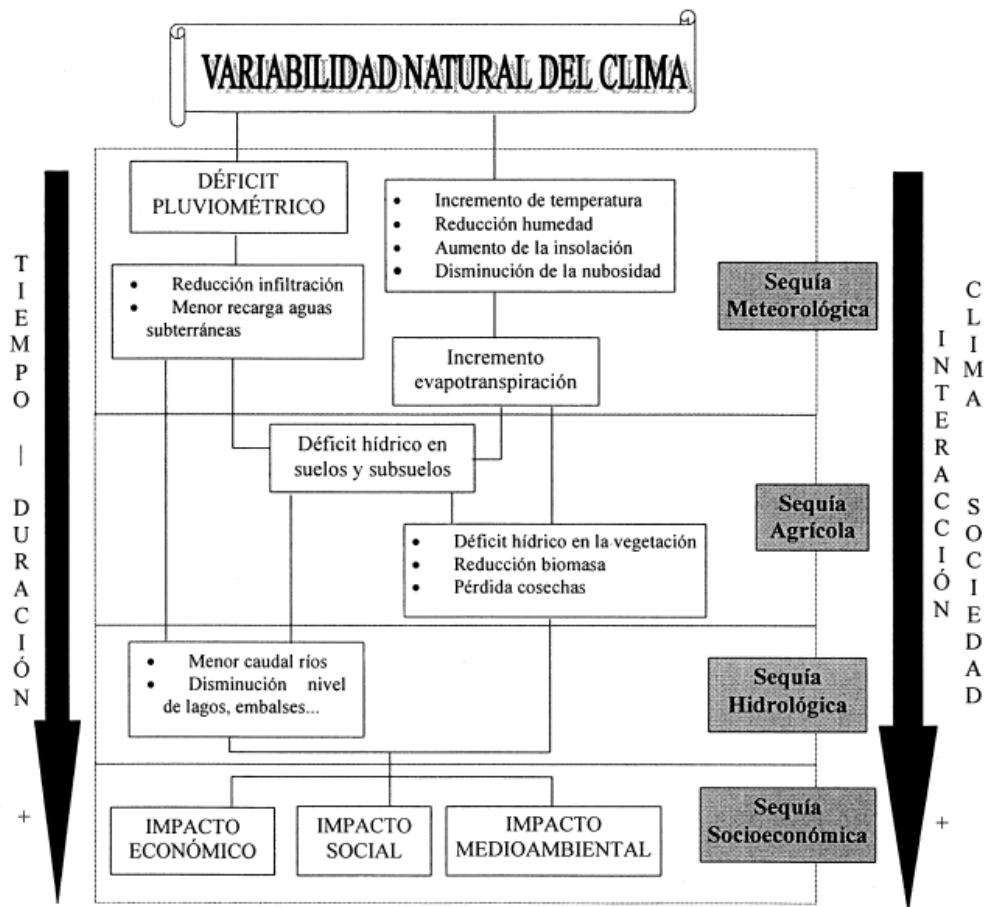


Figura 1: Esquema de variabilidad climática.

Fuente: Understanding the drought Phenomenon, The National Drought Mitigation Center (NDMC)

2.1.2 Conceptualización y caracterización de la sequía

La sequía es un fenómeno que resulta de la interacción dinámica de varios factores como los oceánicos, atmosféricos y climáticos con factores de otra índole, tales como los edáficos, ambientales, sociales, técnicos y económicos. A partir de esta interacción compleja, se vuelve indispensable un estudio desde una perspectiva más amplia e integradora del fenómeno, para lograr, de esta forma, una comprensión más precisa; prescindiendo de la definición de que existe una sequía solo cuando hay una disminución notable de las precipitaciones, pero, también, tomando en cuenta los efectos negativos y la incidencia que esta tiene directamente en los grupos sociales más

vulnerables al fenómeno; y atendiendo la capacidad de la sociedad para adaptarse o desadaptarse a su propio entorno, debido a las alteraciones que se producen en el medio ambiente (Conde et al, 1972).

Dentro de la gama de fenómenos y amenazas climáticas, las sequías han sido fenómenos que desde tiempos prehistóricos han afectado el desarrollo de las civilizaciones, tal y como lo demuestran vestigios arqueológicos y el caso de la desertificación del cercano oriente entre los milenios VII y V A.C, (Conde et al, 1972).

Debido a que la sequía constituye una amenaza compleja de gran magnitud es necesario prestar atención a los aspectos biofísicos relacionados con ella, partiendo desde la caracterización básica del fenómeno en sus aspectos meteorológicos, edáficos y fisiográficos; incluyendo su vinculación a los fenómenos atmosféricos y oceánicos; y las tipologías en las que puede clasificarse. Aparte de la referida caracterización, también resulta relevante revisar la incidencia local de fenómenos de alcance global como el cambio climático y la desertificación, y luego, la situación de los recursos hídricos en El Salvador, en tanto son éstos los que sirven de correa de transmisión del impacto de fenómenos meteorológicos, (Conde et al, 1972).

El Salvador es uno de los países de Centro América que se caracteriza por poseer un régimen climático en el cual se diferencian dos estaciones a lo largo del año, una estación seca y una estación lluviosa; la primera que abarca de noviembre a abril y la segunda, que empieza desde mayo y finaliza en octubre.

De acuerdo a Reyes, citado por Conde et al, (1972), en la mayor parte de El Salvador, la estación lluviosa muestra un comportamiento mensual bimodal, con dos picos máximos de lluvia y un mínimo entre estos, siendo septiembre el más lluvioso seguido de junio, relacionados a una mayor frecuencia de “temporales”, consistentes en disturbios en el Océano Pacífico adyacente que producen dos o tres días con lluvias persistentes e intermitentes, acumulando por lo menos 100 mm en 24 horas.

Durante el período de noviembre a abril, la confluencia de factores orográficos, atmosféricos y oceanográficos produce una disminución o ausencia de lluvias, denominada comúnmente como época seca, constituyendo el clima característico de la vertiente del Pacífico de América Central. Esta época también pudiera ser considerada como una sequía; aunque para los habitantes de la región centroamericana, esta constituye un período de receso (Conde et al, 1972).

Normalmente las sequías son asociadas a eventos climáticos naturales en la vertiente del Pacífico de Centro América, que reducen las lluvias, y que obedecen a un ciclo temporal que se repite con intensidades variables. Su aparición puede registrarse durante la transición de estaciones climáticas o, inclusive, en medio de la lluviosa. Las sequías más frecuentes han ocurrido con las características siguientes: transición seca-lluviosa muy seca o tardía; transición lluviosa-seca muy seca o temprana; y la canícula o veranillo (Conde et al, 1972).

2.1.3 Descripción de la canícula

Entre los seis meses de la estación lluviosa se manifiesta una notable disminución en las precipitaciones entre julio-agosto, la cual se le conoce comúnmente como “canícula”. Esta se caracteriza por períodos de días secos consecutivos.

Según García, citado por Conde et al, (1967) la canícula es definida como una disminución notable en las precipitaciones, asociada a varios días secos consecutivos, que aparecen con mayor frecuencia en la segunda década de julio y en la primera de agosto, además, se registran disminuciones en los acumulados de precipitación mensual, especialmente en julio, en la zona oriental de El Salvador, como los casos de 1976 (50 mm), 1977 (60 mm), 1986 (15 mm), 1991 (8 mm) y 1994 (39 mm).

La canícula es un fenómeno característico de la vertiente del Pacífico de Centro América y sur de México. Se ha observado que se presenta todos los años, sin embargo, no es un fenómeno continuo en el tiempo y el espacio, y además, su duración y grado de severidad varía cada año. Una canícula larga o severa, afectará según el período de desarrollo de las plantas en su rendimiento. En ocasiones, si la disponibilidad de agua en el suelo es nula se produce una sequía que afecta la agricultura de granos básicos y consecuentemente genera un problema social en las zonas donde se concentra la población rural, como la del oriente del país (García, 2003).

La aparición de canículas prolongadas, inclusive a partir de junio afecta el desarrollo normal de cultivos anuales plantados en mayo; en ocasiones, la primera siembra se pierde, el crecimiento de pastizales es reducido y los cauces de agua no recuperan su

nivel normal para junio. El acortamiento del segundo período de lluvias limita la segunda siembra. La poca humedad disponible en el suelo, y las temperaturas más altas en la estación seca se suman para reducir los niveles de estiaje de ríos, lagos y embalses por debajo de su nivel normal al final de la estación lluviosa.

La canícula se mide de acuerdo al déficit o disminución de la precipitación, con respecto a años con medias de precipitaciones normales, y atendiendo al tiempo que duran estos períodos deficitarios.

Un criterio para identificar un período canicular en Centro América se basa en que la precipitación total de 10 días acumule menos de un 75 % de probabilidad de exceder los 50 mm, correspondientes a la Evapotranspiración (ETP), la cual se considera un promedio diario de 5mm (Conde et al, 1972).

El fenómeno de la canícula se manifiesta localmente; sin embargo, como ya se dijo, algunos de los factores que la causan trascienden hasta el nivel de la regulación del clima global, debido a que presenta vinculación a fenómenos atmosféricos y oceánicos (Conde et al, 1972).

2.1.4 Incidencia del fenómeno “EL NIÑO” y otros modos de variabilidad climática sobre la sequía meteorológica.

El clima varía de un lugar a otro, dependiendo de la latitud, distancia al mar, vegetación, presencia o ausencia de montañas y otros factores geográficos. También varía con el tiempo, presentándose variaciones estacionales, anuales, decadales y de escalas mayores (Conde et al, 1972).

La estructura de variabilidad climática de cada región, particularmente la variabilidad en las estaciones o de grandes escalas de tiempo, muestra que tal variabilidad sigue patrones espaciales definidos de gran escala que ocurren en regiones específicas. Tales patrones son el resultado de interacciones entre la circulación de la masa atmosférica y la superficie de la tierra y los océanos. Un ejemplo bien conocido es el fenómeno cuasi-periódico ENOS, causado por la interacción océano-atmosfera en el océano Pacífico Tropical (Conde et al, 1972).

Según Conde et al (1972) el factor principal que produce la canícula es el aceleramiento del flujo Alisio y la ubicación de la vertiente Pacífica de Centro América a sotavento de dicho flujo.

Amador, según cita Conde et al, (1972), explica el comportamiento estacional y espacial de una zona de aceleramiento del flujo Alisio denominado el chorro de bajo nivel en el mar Caribe y el fortalecimiento del mismo en la zona caribeña de Nicaragua, pero que durante julio alcanza su máximo aceleramiento, coincidiendo con la aparición de la canícula o veranillo en Centro América.

Las anomalías en la velocidad del viento Alisio son el producto de alteraciones atmosféricas que van más allá de la escala regional y tienen su origen en ocasiones, en las alteraciones de escala planetaria como el fenómeno ‘‘El NIÑO’’ (Conde et al, 1972).

De acuerdo a Brenes, citado por Conde et al, (1972), la sequía del 2001 que afectó gran parte de Centro América, tiene su origen en las temperaturas anómalas del agua

superficial del Océano Atlántico (ATN). Tal sistema térmico causa que se intensifique el anticiclón semipermanente de las Azores y el alargamiento en el sentido este-oeste, desarrollando un núcleo de alta presión en las capas inferiores de la atmósfera en las cercanías del Golfo de México; comportándose como un "bloqueo" para el flujo del este, acelerándolo y desarrollando sobre Centro América un viento que predomina del noreste y es más fuerte que el normal del período.

Se ha registrado en años con sequía que la ZCIT -donde convergen los vientos alisios – un área extensa en el Océano Pacífico de abundante nubosidad y lluvias- tiende a desactivarse o debilitarse y a ubicarse al sur de Centro América, más al sur que la posición típica; por lo que el número de días con lluvia y las precipitaciones acumuladas disminuye (Conde et al, 1972).

Según Arce, citado por Conde et al, (1972), otra de las características de la atmósfera, cuando la actividad lluviosa es frenada o interrumpida –sequía meteorológica- está asociada también a corrientes boreales descendentes o subsidentes desde la atmósfera superior; lo que puede estar asociado a que en algunos años, el chorro subtropical en niveles altos descienda en latitud, el cual a su vez, restringe y disminuye la formación de huracanes en el atlántico o el Caribe, contribuyendo a que merme la aparición de temporales en dichos años, sobre nuestro país.

Magaña et al (1999) registró los máximos de precipitación durante Junio y septiembre-octubre, de los cuales el más copioso es Septiembre-octubre, presentándose el mínimo

en julio-agosto. A este último, se le conoce como la canícula, veranillo ó la sequía de pleno verano (MSD) por sus siglas en inglés, como es conocida en Estados Unidos.

De acuerdo a Magaña et al (1999), el MSD no está asociado con la migración meridional de la zona de convergencia intertropical ZCIT y su doble cruce sobre Centro América, sino más bien a las fluctuaciones en la intensidad y ubicación de la ZCIT del Pacífico Este. Durante la transición de la actividad convectiva de intensa a débil (débil a intensa), los vientos del Este se refuerzan (debilitan) sobre el Caribe. Dicha aceleración de los vientos Alisios es parte de una respuesta dinámica de la atmosfera de bajo nivel a la magnitud del forzamiento convectivo en la ZCIT. La intensificación de los vientos Alisios durante Julio-Agosto resulta en precipitación máxima a lo largo de la costa del Caribe y en precipitación mínima a lo largo del Pacífico de Centro América.

Según Hastenrath citado por Magaña et al (1999), la precipitación copiosa sobre Centroamérica y el Caribe se produce durante mayo y junio, con un cambio abrupto en torno a finales de junio, y en julio y agosto es más seca y menos nublado.

Los cambios en los vientos divergentes de bajo nivel sobre la "piscina cálida" de la costa Este del Sur de México y Centro América determinan la evolución de la MSD. La actividad convectiva profunda máxima sobre el Pacífico Este del Norte ecuatorial, durante el comienzo de la estación lluviosa de verano, es alcanzada cuando las temperaturas superficiales del mar (TSM), exceden los 29 °C (alrededor de Mayo). Después de esto, las TSMs sobre la "piscina cálida" del Pacífico Este disminuyen alrededor de 1 °C, debido a un disminuido hundimiento de la radiación solar y a los

vientos más fuertes del este (durante Julio y Agosto). Tales cambios en la TSM cercanos a los 28 °C, resultan en un decremento sustancial en la actividad convectiva profunda, asociada con la interacción no lineal entre la TSM y la convección tropical profunda. La disminución de la convección tropical profunda permite una penetración incrementada de la radiación solar y un ligero incremento en las TSM, la cual alcanza un segundo máximo (aprox. 28 ° C) a finales de Agosto y principios de Septiembre. Este incremento en la TSM resulta una vez más en convergencia de bajo nivel más fuerte, convección profunda aumentada, y, consecuentemente, en un segundo máximo en la precipitación (Magaña et al, 1999).

Existen pocos estudios sobre la dinámica de la MSD. Uno de estos, es el realizado por Mosiño y García (1966), en el cual, cuantificaron la distribución espacial y temporal de la MSD. Ellos propusieron que lo que controla este fenómeno son cambios en la circulación atmosférica y las condiciones del océano. Además sugirieron que durante julio y agosto, un sistema de alta presión superficial en el sureste de Estados Unidos, combinado con una circulación ciclónica a niveles medios de la atmosfera sobre el Golfo de México, produce vientos secos provenientes del norte que ocasionan la aparición de la MSD sobre la parte centro-sur de México (Magaña et al, 1999).

En esta región, muchas actividades económicas, especialmente las relacionadas con la agricultura y la generación de energía hidroeléctrica, están relacionados con el ciclo estacional de precipitación. El éxito o el fracaso de un cultivo dependen de las características de la época de lluvias (inicio, duración, distribución temporal, etc.) en las zonas de secano (Magaña et al, 1999).

La relación entre la lluvia y la fase cálida del fenómeno ENOS, El Niño indican que en julio y/o agosto el déficit de precipitación se incrementa, siendo claro esto para la zona costera y el Oriente de El Salvador, con mayor énfasis durante eventos fuertes y muy fuertes de tal fenómeno. En ocasiones, cuando el evento El Niño es moderado, no es clara la disminución en las precipitaciones en los meses mencionados.

2.1.5 Índice de El Niño Oceánico (ONI).

Este índice ONI (Oceanic El Niño Index), por sus siglas en inglés, es una serie de tiempo de las anomalías de la temperatura superficial marina calculadas a partir de mediciones "in situ" efectuadas en la región El Niño 3.4 (5 °N-5 °S, 120-170 °O) figura 2. El periodo base abarca de 1971 a 2000 y los datos se obtienen con el método de medias móviles aplicado a periodos de tres meses; valles interiores y las montañas del Norte (NOAA, 2015)

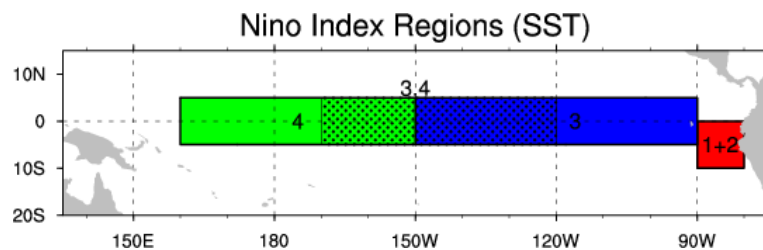


Figura 2: Esquema que muestra la región de EL NIÑO 3.4

Fuente: Outline of regions used for assorted Niño indices. (Climate Data Guide; D. Shea)

La temperatura utilizada para calcular el índice pertenece al banco de datos Extended Reconstructed Sea Surface Temperatura (ERSST.v2) del “National Climatic Data Center” de la NOAA.

Los episodios fríos y cálidos son definidos cuando la anomalía se encuentra por arriba o por debajo de un valor umbral (± 0.5 °C) durante, al menos, cinco periodos consecutivos, fig. 3.

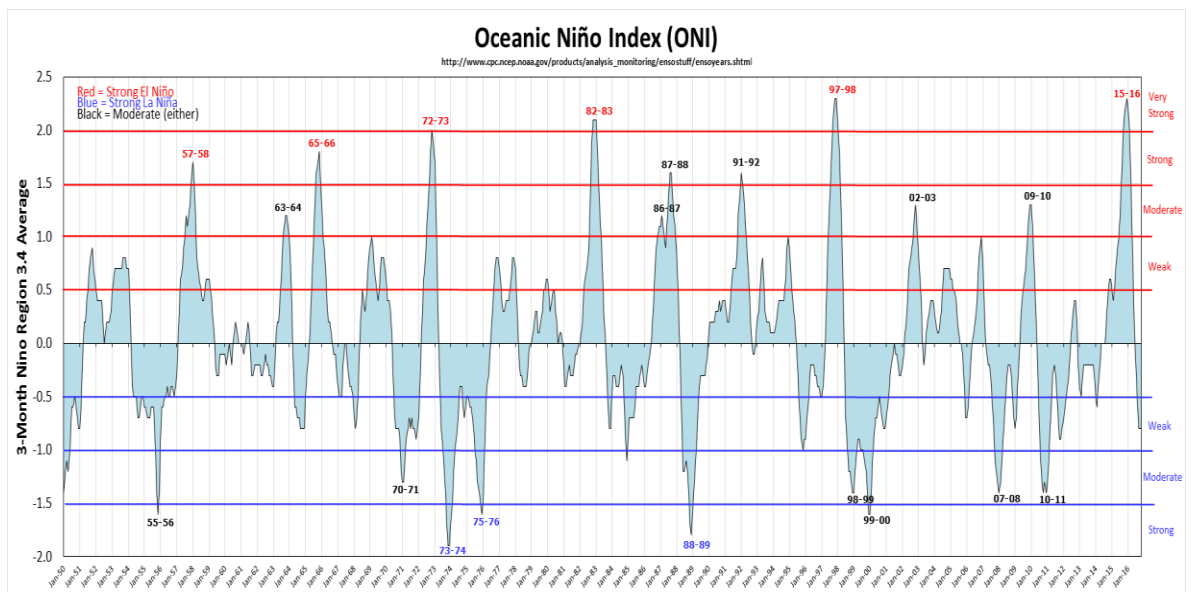


Figura 3: Esquema que muestra las anomalías de temperatura para el ONI

Fuente: <http://ggweather.com/enso/oni.htm>

2.1.5 Zonas afectadas por sequía en El Salvador

En el Salvador se experimentan sequías meteorológicas en todo el país, pero no todas las zonas llegan a experimentar una sequía agrícola. Esto se debe a que las zonas donde se presentan con mayor intensidad las sequías es en la oriental y la Paracentral; y es en estas zonas donde se percibe con mayor severidad la sequía de tipo agrícola, debiéndose

esto, a que es en tales zonas donde se concentran la mayor parte de agricultores de granos básicos.

De acuerdo a Romano, citado por Conde et al (1972), en el siglo XX se registraron en El Salvador 21 eventos de sequía.

Las zonas más afectadas por la sequía en El Salvador son principalmente la Oriental y la zona costera. Según algunos estudios previos sobre la sequía se han observado períodos consecutivos en la zona Oriental, de 26 días en 1972 y de 32 días en 1977. La figura 1 muestra el mapa de las regiones que han sido afectadas por reducción en las precipitaciones, atendiendo al carácter que presenta; de débil-color gris-, pasando por moderado-color amarillo- a fuerte-color rojizo-; definiéndose el carácter débil por períodos de 5 a 10 días, moderado por períodos de 11 a 15 días y el fuerte por períodos mayores de 15 días, con frecuencias de 3 a 4 años.

En el año de 1997, el evento cálido del Pacífico más fuerte del siglo, provocó disminuciones en las precipitaciones en el mes de agosto del 175 %, figura 3. Debido a los desastres socio-económicos provocados por la sequía en la región centroamericana se diseñaron Sistemas de Alerta Temprana por El Niño y el mismo estudio propuso recomendaciones para mitigar sus efectos (García et al, 2003).

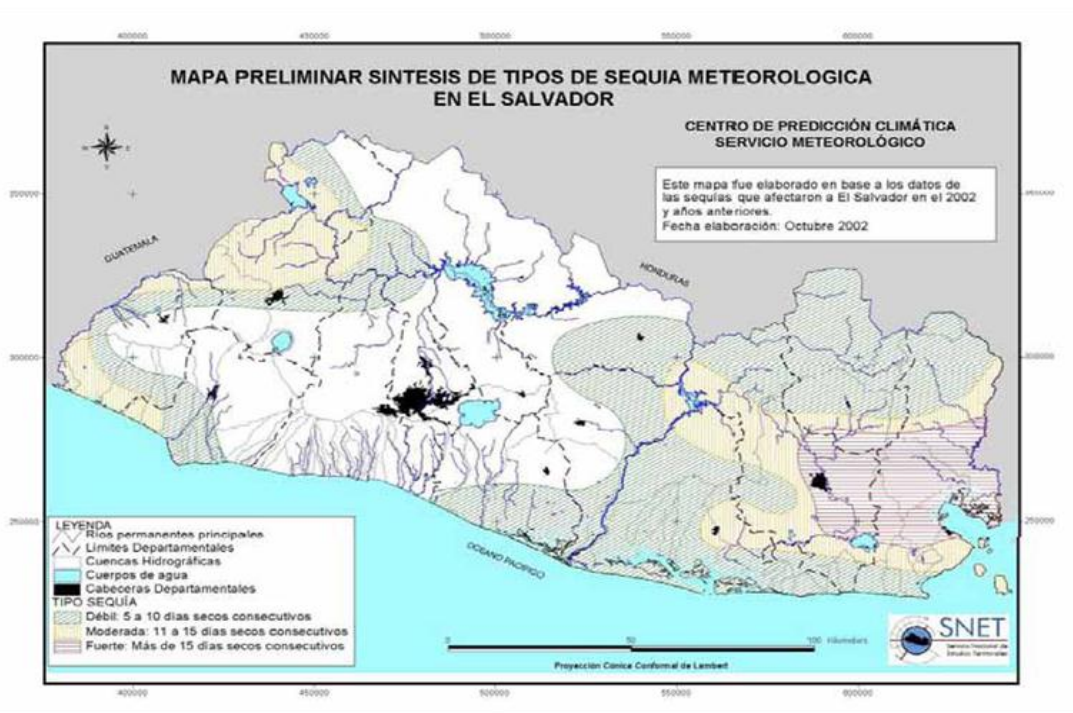


Figura 4: Mapa preliminar de tipos de sequía en El Salvador

Fuente: García et al, 2003



Figura 5: Mapa de sequía de 1997 respecto a cultivos dañados, DGEA MAG.

Fuente: (García, 2003)

2.1.6 Métodos cuantitativos de caracterización de la sequía

Las definiciones operativas de los diversos tipos de sequía presentadas en el apartado referente a -definición de sequías- necesitan ser trasladadas a un formato numérico para poder precisar las características de los eventos secos.

Desde el punto de vista antrópico, que es el que determina que un evento extremo de la naturaleza de los episodios de escasez pluviométrica se convierta en un riesgo natural, Burton et al. (1978) definen siete parámetros con los cuales caracterizarla, uno independiente (magnitud), cuatro correspondientes al componente temporal (duración, frecuencia, velocidad de implantación y espaciamiento temporal), y dos respecto al espacial (extensión y dispersión espacial). Para cuantificar estos parámetros no es suficiente con medir el número de días de lluvia, o expresar percepciones en referencia a la escasez de precipitaciones, sino que es necesario aplicar cálculos matemáticos con los que se pueda establecer detalladamente en qué medida ha habido déficit pluviométrico y cuáles son los límites temporales del episodio seco.

En referencia a la sequía meteorológica e hidrológica (según los trabajos de Dracup et al. (1980), y Martín-Vide (1998), respectivamente), cada parámetro puede definirse y ser medido de forma individualizada:

- La **magnitud**: es el déficit medio de precipitación o caudal durante el periodo de duración del evento seco. Puede medirse como la anomalía (en porcentaje) o la diferencia (en valor absoluto) de precipitación o caudal para el período seleccionado. Dracup et al. (1980) señalan que, además de la magnitud, puede

delimitarse la **severidad** de una sequía, definida como el déficit acumulado de caudal o precipitación para la duración del período seco.

- La **duración**: es el tiempo (número total de días, meses o años consecutivos) durante el cual la precipitación o el caudal totales registrados son inferiores a la precipitación o el caudal medio de ese mismo período. Dracup et al. (1980) relacionan los parámetros magnitud, severidad y duración, de tal forma que partiendo de la fórmula $MAGNITUD=SEVERIDAD/DURACIÓN$, cualquiera de los tres puede ser conocido.
- La **frecuencia**: es el número de casos que se producen durante un período determinado. Puede medirse también a través de la probabilidad empírica de que la precipitación o el caudal sean inferiores a la media, o del periodo de retorno del evento seco (intervalo medio de tiempo dentro del que puede esperarse que ocurra una sequía de determinada magnitud).
- La **velocidad de implantación**: es el tiempo transcurrido entre el momento de inicio del déficit de precipitación o caudal, y el momento en que ese déficit alcanza su valor máximo.
- El **espaciamiento temporal**: es el tiempo transcurrido entre diversos períodos secos, lo que nos proporciona una medida de la regularidad o aleatoriedad del fenómeno. Mediante este parámetro se obtiene una primera aproximación a la previsibilidad de la sequía.
- La **extensión**: es la superficie total en la que se registra déficit hídrico.

- La **dispersión espacial**: es la medida del grado de difusión o concentración de la anomalía de caudal o de precipitaciones.

En función de los extremos relativos que pueden asignarse a los parámetros espaciales y temporales, Burton et al, (1978) definen la sequía como un riesgo penetrante, dada su frecuencia intermedia, su larga duración, su lenta velocidad de ataque, su espaciamiento temporal relativamente aleatorio, su gran extensión y su elevada difusión espacial. Se trata, por tanto, de un evento extremo totalmente contrapuesto al riesgo intensivo, ejemplificado por el terremoto, que es poco frecuente, de corta duración, espacialmente concentrado, con una extensión limitada, una rápida velocidad de ataque y un espaciamiento temporal relativamente aleatorio.

Prescindiendo de las unidades de medida detalladas para cada parámetro en su definición, existe una amplia variedad de índices y ecuaciones dedicadas a caracterizar los eventos secos en sus dos parámetros más relevantes: magnitud (o severidad) y duración. Sobre la bondad y los defectos de los diversos métodos de cuantificación de las sequías se han escrito múltiples artículos (Bowles et al., 1980; Alley, 1984; Karl, 1986; Soule, 1992; Meyer y Hubbard, 1995; NDMC, 1996; Meshcherskaya y Blazhevich, 1997; Byun y Wilhite, 1999; NDMC, 1999).

Existen índices complejos, como el PDSI de Palmer, y otros simples como el cálculo del porcentaje de precipitación respecto a la media para una determinada escala temporal. Pese a que todos estos métodos de cuantificación han sido creados con voluntad

universal, algunos no son aplicables en determinadas zonas del planeta, como los elaborados por W.C. Palmer.

A continuación se presentan una recopilación de los índices más importantes, detallando sus principales características, y clasificados según el tipo de sequía al que son aplicables (meteorológica, hidrológica y agrícola). En el caso de que un mismo índice sea aplicable a más de un tipo de sequía, se asigna a aquél en el cual haya sido utilizado con más asiduidad.

2.1.7 Métodos de cuantificación de la sequía meteorológica

Porcentaje de la precipitación media

Este cálculo simple se expresa mediante el cociente de la precipitación total registrada en un periodo determinado (mes, trimestre, estación, semestre, año, etc.) y la precipitación media (habitualmente por un periodo de 30 años) del mismo periodo de referencia, expresado el resultado en porcentaje. Pese a su simplicidad, es un método susceptible de equívocos, puesto que la precipitación media es un número abstracto que no tiene por qué ser equivalente a la mediana, que sí representa el valor o intervalo de mayor frecuencia de la serie. Además, presenta la dificultad de establecer los límites a partir de los cuáles se establece una situación de sequía, así como su severidad, puesto que el porcentaje de desviación escogido para un lugar o región no es aplicable a otra zona. Pese a sus carencias, sigue siendo el índice de sequía más utilizado, ya que puede ser calculado incluso para aquellas zonas con poca disponibilidad de información climatológica. Bhalme y Mooly (1980) rebautizaron este método con las siglas BMDI

(Bhalme & Mooly Drought Index), pese a ser un procedimiento estadístico utilizado desde mucho antes.

Cuantiles (quintiles, deciles y percentiles)

Para evitar las limitaciones derivadas del anterior método, el establecimiento de los umbrales puede realizarse mediante el cálculo de quintiles, deciles y percentiles. La técnica consiste en dividir la distribución de ocurrencias pluviométricas durante un período temporal suficientemente largo, en intervalos para cada 20% (quintil), 10% (decil), o 1% (percentil) de la distribución. Al ser valores totalmente referenciados en la serie pluviométrica, ofrecen unos límites más cercanos a la realidad climática del área estudiada. Para que el cálculo de este índice ofrezca resultados fiables y estadísticamente significativos, es necesario que la serie pluviométrica sea larga (como mínimo treinta años y, si es posible, más de cincuenta).

Los límites de referencia más utilizados son los correspondientes a los quintiles, de tal forma que un período es muy seco cuando el valor de precipitación total se sitúa entre el 20% de los valores más bajos, seco cuando se encuentra en el tramo del siguiente 20% de valores, normal cuando se sitúa en el tramo del 20% de valores intermedios, húmedo en el siguiente tramo del 20% y muy húmedo en el intervalo del 20% de los valores más elevados de la serie.

En caso de requerir una mayor precisión en los umbrales, puede prescindirse de los quintiles y recurrir a los deciles o percentiles para incrementar el número de intervalos. La escala de deciles establece diez intervalos para la serie de valores, cada uno de los

cuales se reparte un 10% de los valores: sequía muy fuerte (extrema), sequía fuerte (severa), sequía moderada, sequía leve, sequía incipiente, humedad incipiente, humedad leve, humedad moderada, humedad fuerte (severa) y humedad muy fuerte (extrema). Por ejemplo, el método de los deciles es utilizado por el servicio de vigilancia de sequías de Australia para medir la sequía meteorológica y poner en marcha los planes de intervención (Gibbs y maher, 1967; Smith et al., 1993).

Desviación estandarizada de precipitación

Este índice se calcula restando a la precipitación total de un determinado período la media aritmética de ese periodo y dividiendo el resultado por la desviación típica. El resultado será próximo a cero para valores cercanos a la media, e igual a uno cuando la diferencia entre la lluvia registrada y la media del periodo sea próxima al valor de la desviación típica.

La estandarización de los valores permite que los resultados presenten una distribución normal. Aunque este método permite establecer comparaciones entre todo tipo de climas, presenta problemas en aquellas regiones con una elevada variabilidad pluviométrica, de tal forma que si la media aritmética es inferior a la desviación típica, el índice nunca podrá alcanzar el valor -1. Tal es el caso en los valores anuales de regiones desérticas como la de Atacama, en Chile, donde un año con precipitación igual a cero, presentará una desviación estandarizada de precipitación mínima: entre -0.3 y -0.8. En ámbitos semiáridos, como el Nordeste de Brasil o el Norte Chico de Chile, algunas estaciones apenas alcanzan un valor mínimo de -1.5, por lo que el resultado no tendrá validez comparativa con otras regiones.

McKee et al. (1993), desarrollaron una variante de esta metodología denominándola Índice Estandarizado de Precipitación (SPI, Standardized Precipitation Index), y fijan el inicio de un episodio de sequía en el caso de que el SPI sea continuamente negativo con un valor inferior o igual a -1.0, y su finalización en el momento en que el SPI adquiera valor positivo. Siguiendo con esta delimitación arbitraria, escogida para su aplicación en Colorado (Estados Unidos), cuando el SPI supera el umbral de -1.0 se habla de sequía moderada, si es inferior a -1.5 sequía severa, y para valores iguales o menores que -2.0 sequía extrema. Según estas determinaciones, en las áreas desérticas antes mencionadas no se producen episodios de sequía, puesto que el SPI nunca puede ser igual o inferior a -1.0, mientras que en algunas zonas semiáridas la sequía no podría alcanzar el nivel extremo. Los mismos autores definen el concepto de Magnitud de Sequía como la suma del SPI para todos los meses incluidos en el período de sequía, obteniendo una medida de la magnitud acumulada del evento seco.

Índice de Severidad de la Sequía de Palmer (PDSI, Palmer Drought Severity Index)

El PDSI (por sus siglas en inglés) fue creado por Palmer (1965) para medir condiciones de humedad. El índice está basado en el balanceo hídrico, de tal forma que utiliza numerosas variables para reflejar el aporte y la demanda de agua. Por su formulación, el PDSI permite identificar adecuadamente la sequía meteorológica, responde lentamente a la agrícola y no detecta la hidrológica. El índice es utilizado para definir la intensidad de la sequía, pero el hecho de que en su concepción y en el establecimiento de los límites se basara en las condiciones climáticas de Iowa y Kansas hace que su aplicación se haya limitado a Estados Unidos, donde existen series mensuales del PDSI desde 1985.

Según el análisis crítico del índice realizado por Alley (1984) y Karl (1986), el PDSI destaca por su capacidad de medir la sequía con perspectiva histórica y posibilitar la realización de representaciones espaciales y temporales de sequías históricas. En cuanto a los aspectos negativos, son numerosas las limitaciones, incorrecciones y asunciones del PDSI, la mayoría de ellas relacionadas con el cálculo del balance hídrico y con el período utilizado para el cálculo de los valores medios en las fórmulas (1931-1960, que fue anormalmente cálido y seco en la mayor parte de Estados Unidos). El PDSI ha sido escasamente utilizado fuera de Estados Unidos, y ofrece resultados poco satisfactorios en regiones donde la variabilidad pluviométrica es elevada. El valor del índice varía entre -6.00 y +6.00, estableciendo situación de sequía en un 36% de las situaciones, condiciones normales en un 30%, y períodos húmedos en el 34% restante.

La escala de Palmer divide las situaciones de sequía en cinco niveles: sequía incipiente entre -0.50 y -0.99, sequía suave entre -1.00 y -1.99, sequía moderada entre -2.00 y -2.99, sequía grave entre -3.00 y -3.99, y sequía extrema para un valor igual o inferior a -4.00.

Índice Normalizado de Precipitación (NPI, Normalized Precipitation Index)

NPI (por sus siglas en inglés) fue creado por Garrido (1999), según el propio autor “incorpora el poder descriptivo del PDSI y las ventajas de la estandarización del SPI”. Puede ser aplicado a diversas escalas temporales (mensual, estacional o anual), aunque el autor la pone en práctica mensualmente para la provincia de Murcia y la cuenca del Segura.

La escala del NPI establece situación de sequía en un 31% de las situaciones, condiciones normales en un 38%, y períodos húmedos en el 31% restante. Por su parte,

los períodos de sequía son de cuatro clases: sequía suave cuando el valor del índice se sitúa entre -1.00 y -1.99, sequía moderada entre -2.00 y -2.99, sequía severa entre -3.00 y -3.99, y sequía extrema para un valor igual o inferior a -4.00.

Índice de Sequía Oferta-Demanda (SDDI, Supply-Demand Drought Index).

Creado por Rind et al. (1990) con una concepción similar a la del PDSI, en comparación con éste, se caracteriza por su sencillez, al prescindir de valores de recarga hídrica, escorrentía y pérdida de humedad en el suelo. La formulación es

$$SDDI=P-Ep-(P-Ep)_{clim} \tag{Ec. 1}$$

siendo P la precipitación, Ep la evapotranspiración potencial, y $(P-Ep)_{clim}$ el valor climatológico del índice en cada lugar o área. Puesto que el SDDI se calcula individualmente en cada lugar del planeta sin importar su tipología climática (por definición, el valor climatológico es igual a cero, por lo que la fórmula se reduce a

$$d_{SDDI}=(P-Ep) \tag{Ec. 2}$$

el índice carece de utilidad comparativa, y los resultados del mismo pueden ser más extremos en una región húmeda que en el ámbito desértico.

Al igual que el PDSI, este índice prevé un cálculo acumulativo mensual para establecer la evolución del período seco o húmedo. Partiendo del índice de anomalía de humedad

$$Z_{SDDI}=d_{SDDI}/s \tag{Ec. 3}$$

donde s es la desviación típica interanual de P-Ep para el mes en curso, se calcula el valor acumulado con la fórmula

$$Y_{(i)}=0.897Y_{(i-1)} + Z_{(i)} \tag{Ec. 4}$$

donde 0.897 es un valor constante de mantenimiento del índice mes a mes, $Y_{(i-1)}$ es el valor acumulado del índice hasta el mes anterior, y $Z_{(i)}$ es el valor del mes en curso.

La escala del SDDI, definida para el área continental de Estados Unidos, establece situación de sequía en un 36% de las situaciones, condiciones normales en un 28%, y períodos húmedos en el 36% restante. En este caso, sólo se distinguen tres intervalos de sequía: sequía moderada entre -0.90 y -3.29, sequía fuerte entre -3.30 y -6.29, y sequía extrema para valores iguales o inferiores a -6.30.

Índice Nacional de Lluvia (RI, National Rainfall Index)

Fue creado por Gomme y Petrassi (1994), que lo aplicaron en África. Se calcula país por país, tomando la precipitación media anual del territorio según el peso de las medias a largo plazo de cada estación. El RI muestra una estrecha relación con la producción agrícola, puesto que al crecer el peso en la precipitación anual, las estaciones en áreas más húmedas de un país tienen una mayor influencia sobre el índice que las estaciones de áreas secas. Además, en África, las estaciones lluviosas se localizan en regiones agrícolamente más productivas. Tiene de positivo el hecho de no quedar afectado por anomalías pluviométricas localizadas, la posibilidad de poder calcular el índice incluso sin disponer de datos de todas las estaciones, y la comparabilidad entre países. En el lado negativo, no permite una escala espacial de detalle (los resultados surgen en el ámbito nacional), y no es útil para detectar sequías meteorológicas o hidrológicas, sino sólo las agrícolas.

Índice de sequedad Si

Creado por Ped (1975) para el antiguo territorio de la Unión Soviética, refleja la diferencia entre el cociente de las anomalías y la desviación típica de las anomalías de precipitación y temperatura:

$$Si=(\Delta T/\sigma_{\Delta T})-(\Delta Q/\sigma_{\Delta Q}) \quad (\text{Ec. 5})$$

siendo ΔT y ΔQ las anomalías de temperatura y precipitación, y $\sigma_{\Delta T}$ y $\sigma_{\Delta Q}$ la desviación típica de las anomalías de temperatura y precipitación.

Coefficiente hidrotérmico (HTC, Hydrothermal Coefficient)

Creado por Selyanov (1928), también para la ex URSS, se formula de la siguiente forma:

$$HTC=(\Sigma Q/0.1)(\Sigma T) \quad (\text{Ec. 6})$$

siendo Q la precipitación y T la temperatura superior a 10°C para un determinado período (habitualmente un mes o una estación vegetativa).

Índice de Anomalía de Precipitación (RAI, Rainfall Anomaly Index)

Creado por van Rooy (1965), compara la precipitación de un lugar y momento determinados con la media de los diez valores extremos de anomalías positivas y negativas de precipitación. Es un índice poco conocido, sólo citado por Byun y Wihite (1999), y aplicado de forma experimental en áreas muy concretas.

Monitorización de Sequía (Drought Monitor)

Más que un índice propiamente dicho, se trata de una síntesis de índices, una reelaboración de diversos indicadores de tipo meteorológico (PDSI o CMI de Palmer, y

porcentaje de la precipitación media), edafológico (modelo de humedad en el suelo del Centro de Predicción Climática, y modelo de humedad en la capa superficial de suelo del USDA, o Departamento de Agricultura de Estados Unidos), hidrológico (percentil del caudal diario) y biológico (índice por satélite de salud de la vegetación), para la obtención de una clasificación de severidad de la sequía. Ha sido creado en un proyecto conjunto de diversas instituciones estadounidenses (Departamento de Agricultura, el Centro de Predicción Climática del Servicio Nacional de Meteorología, y el Centro Nacional de Mitigación de la Sequía de la Universidad de Nebraska), para contar con un mecanismo completo de identificación de áreas que padecen de sequía en aquel país.

Tras el cálculo de los índices individuales, los resultados se cruzan en una tabla para definir cinco tipos de situaciones de sequía, cada una de las cuales lleva asociados una serie de impactos, principalmente relacionados con la actividad agrícola y el abastecimiento de agua (NDMC, 1999):

- D0-Seco: Impactos menores, pero que causan preocupación.
- D1-Sequía: Algunos daños a cultivos; alto riesgo de incendio; ríos, embalses y pozos con poco agua; escasez inminente de agua.
- D2-Sequía severa: Pérdidas moderadas de cultivos y pastos; riesgo de incendio muy alto; restricciones de agua.
- D3-Sequía extrema: Graves pérdidas de cultivos y pastos; riesgo extremo de incendio; restricciones de agua extensivas.

- D4-Sequía excepcional: Pérdidas de cultivos y pastos excepcionales y extensivas; riesgo extremo de incendios a gran escala; escasez de agua en embalses, ríos y pozos, causando restricciones y racionamientos extensivos.

En función de los criterios empleados para definir los intervalos de sequía, este índice es utilizado tanto para sequías meteorológicas, como hidrológicas y agrícolas.

Precipitación Efectiva (EP, Effective Precipitation)

Byun y Wihite (1999) proponen, bajo el concepto de precipitación efectiva (sumatorio para un período determinado de la precipitación diaria modificado por una función de reducción dependiente en el tiempo), diversas opciones para calcular la duración y severidad de las sequías. Los autores defienden esta propuesta basándose en las deficiencias del resto de índices: falta de precisión en la detección del inicio, finalización e intensidad acumulada del período seco, falta de consideración de la incidencia temporal sobre la precipitación registrada de factores como la evapotranspiración o la escorrentía, e imposibilidad de realizar un seguimiento en tiempo real del evento seco, dado que la escala de trabajo es mensual (el índice propuesto funciona a escala diaria).

Para el cálculo de la precipitación efectiva (EP) se proponen tres fórmulas (los autores aceptan que puede haber muchas otras, y quizá mejores), cada una de las cuales introduce un factor de reducción temporal diferente: lineal suave, lineal fuerte y exponencial inversa.

Posteriormente, se computa para cada día del calendario la precipitación efectiva media (MEP), la desviación de precipitación efectiva (DEP), o diferencia entre EP y MEP, y la precipitación efectiva estandarizada (SEP), o cociente entre DEP y una desviación típica

de EP. Obtenidos estos parámetros para cada día del año, la severidad de una sequía es cuantificada mediante diversos índices:

- CNS (Consecutive Days of Negative SEP), o suma de días consecutivos con un valor negativo de precipitación efectiva estandarizada, mide la duración del déficit de precipitación.
- ANES (Accumulation of Consecutive Negative SEP), o sumatorio de los valores negativos de precipitación efectiva estandarizada, mide la acumulación del déficit pluviométrico durante todo el período seco (severidad).
- APD (Accumulated Precipitation Deficit), o sumatorio del déficit de precipitación durante todo el período seco. Se obtiene restando a la precipitación diaria el promedio de la precipitación de todo el período que ha registrado déficit pluviométrico, y sumando sucesivamente los valores diarios mientras dure el período seco.
- EDI (Effective Drought Index), o índice de sequía efectiva, proporciona el cociente entre la desviación de precipitación efectiva para todo el período seco y la desviación típica de la desviación de precipitación efectiva para todo el período seco: $DEP_j / \sigma DEP_j$.
- PNS (Percent normal as a second kind), o cociente entre el déficit acumulado de precipitación para todo el período seco y la precipitación media para todo el período seco: APD_j / μ_j .

El índice es todavía muy reciente para valorarlo adecuadamente, pero los resultados que los autores ofrecen en Nebraska (Estados Unidos) reflejan que permite llevar a cabo un

seguimiento en tiempo real de la evolución de la sequía. Entre sus debilidades, cabe destacar la incógnita de su efectividad al aplicarlo en regiones con precipitación estacional, dado que durante la estación seca, con promedios mínimos o nulos de precipitación, un episodio aislado de lluvias podría dar por finalizada fácilmente la sequía, o dividirla artificialmente en dos o más períodos secos de corta duración, cuando en realidad el período seco presenta continuidad.

Índice de Sequía (IS)

Guerra y Almarza (1996) consideran determinantes para cuantificar las sequías dos factores, el déficit hídrico (F_1) y la persistencia (F_2), por lo que su índice viene definido por el producto de ambos:

$$IS = F_1 F_2 \quad (\text{Ec. 7})$$

El déficit hídrico es formulado como el cociente entre la diferencia del valor medio de las precipitaciones de los últimos 12 meses y el valor medio mensual de toda la serie, y el cociente $\varepsilon(F_1 = [\mu_1 - \mu] / \varepsilon)$, siendo

$$\varepsilon = \{[\sigma_1^2 + \sigma_2^2]12\}^{1/2} \quad (\text{Ec. 8})$$

La persistencia es un factor de corrección que tiene en cuenta el número de meses de déficit hídrico (n):

$$F_2 = [1 + 0.1n] \quad (\text{Ec. 9})$$

El índice ha sido aplicado por los autores en Bilbao y Madrid para caracterizar los episodios de sequía acaecidos a finales de los 80 y comienzos de los 90, pero adolece del establecimiento de algún marco de referencia que permita determinar la intensidad relativa del evento seco.

Índice estandarizado de precipitación (SPI) o índice estandarizado de sequía pluviométrica (IESP).

Una forma de evaluar la ocurrencia de déficit o excesos de precipitación significativos por su intensidad y/o duración es mediante el uso del SPI (McKee y otros, 1993), dado que el mismo es apropiado para cuantificarlos en múltiples escalas temporales (Nuñez et al, 2005).

Nuñez et al (2005) sugieren que el SPI es calculado ajustando la distribución de frecuencia de la precipitación de un lugar dado, en la escala de tiempo de interés, con una función teórica de densidad de probabilidad. De acuerdo a varios autores según Nuñez et al (2005), la función más apropiada para este ajuste es la Gamma, si bien ésta ofrece algunas dificultades en las zonas de muy poca precipitación, debido a que no se encuentra definida para valores de la variable iguales a 0. La función de densidad es luego transformada a una distribución normal estandarizada (con media igual a 0 y varianza igual a 1), siendo el SPI el valor resultante de esta transformación. Este índice representa el número de desviaciones estándar en que el valor transformado de la precipitación se desvía del promedio histórico (el cual queda representado por 0). Los valores negativos del SPI representan déficit de precipitación y, contrariamente, los valores positivos indican que la precipitación ocurrida ha sido superior al promedio histórico.

En la Tabla 1 se muestra la clasificación del SPI propuesta por Lloyd-Hughes y otros, 2002.

Tabla 1: Clasificación del SPI por categorías y su probabilidad de ocurrencia

CATEGORIA	VALOR IESP	Umbral	Probabilidad de excedencia	Período retorno (años)
Sin Sequía	$IESP > -0.4$			
Sequía moderada	$-1.0 \leq IESP \leq -0.4$	-0.4	30 %	3.33
Sequía severa	$-1.7 \leq IESP \leq -1.0$	-1.0	14 %	7
Sequía extrema	$-2.3 \leq IESP \leq -1.7$	-1.7	5 %	20
Sequía excepcional	$-1.0 \leq IESP \leq -0.4$	-2.3	2 %	50

Ventajas y desventajas del SPI

Hayes et al. (1999) analizaron las ventajas y desventajas de la utilización del SPI para caracterizar la severidad de las sequías. El SPI tiene tres ventajas principales:

- La primera ventaja es su simplicidad. El SPI esta basado solamente en la precipitación y requiere sólo la estimación de los dos parámetros de la Gamma, comparado con los 68 términos necesarios para describir, por ejemplo, el PDSI (Palmer Drought Severity Index), otro índice ampliamente utilizado. Al eliminar la dependencia con las condiciones de humedad del suelo, el SPI puede ser utilizado efectivamente en las distintas estaciones del año. El SPI tampoco es afectado por la topografía.

- La segunda ventaja del SPI es que puede ser calculado para escalas de tiempo variables, lo cual lo hace aplicable en el ámbito de la meteorología, agricultura e hidrología superficial y subterránea. Esta versatilidad temporal es también útil para el análisis de la dinámica de la sequía, especialmente la determinación del comienzo y el fin, lo que ha sido difícil de reconocer por medio de otros índices.

- La tercera ventaja proviene de la estandarización, lo que asegura que la frecuencia de los eventos extremos en cualquier localidad y en cualquier escala de tiempo es consistente (Nuñez et al, 2005).

No obstante, el SPI tiene tres potenciales desventajas.

- La primera desventaja depende de la calidad de los datos de precipitación utilizados.

Datos erróneos conducen a SPI erróneos.

- Una segunda limitación del SPI surge de la naturaleza estandarizada del mismo índice, es decir que las sequías extremas (o cualquier otro tipo de sequías) tienen la misma probabilidad de ocurrencia en cualquier lugar. Luego, el SPI no es capaz de identificar regiones que son más propensas que otras a la ocurrencia de sequías.

- Un tercer problema puede surgir cuando el SPI es empleado en las escalas de tiempo más cortas (1, 2 ó 3 meses), en regiones de baja precipitación estacional. En estos casos, pueden ocurrir valores positivos (o negativos) altos que son susceptibles de ser erróneamente interpretados. En estas situaciones, un acabado conocimiento de la climatología de estas regiones mejora la interpretación del SPI (Nuñez et al, 2005).

Métodos de relleno de series incompletas

Criterio de la correlación lineal

Este método consiste en el cálculo de los valores inexistentes por el ajuste, a través del método de los mínimos cuadrados, de una recta de regresión lineal del tipo

$$Y = ax + b \quad (\text{Ec.10})$$

entre dos estaciones: una incompleta, cuya serie es la variable dependiente (y), y otra completa que proporciona la variable independiente (x) de la cual depende la anterior. La base teórica del cálculo admite como hipótesis de partida que entre las dos series a comparar existe una correlación apreciable, de tal modo que las variaciones que se producen en ambas son similares. Esto quiere decir que la estación que se utiliza de referencia presenta un coeficiente de correlación lineal lo más cercano posible al valor 1. El coeficiente de correlación lineal que se calcula es el de Pearson. Para calcularlo, previamente hay que normalizar las series mensualmente (Escoda, 2004).

De acuerdo a *García (1995) citado por Escoda (2004)*, para que el ajuste sea correcto se han de cumplir una serie de requisitos como son:

a) La existencia de un número de años comunes en ambas series. Según los autores el número de años mínimos en la serie a completar oscila entre 5 y 15 años; pero cuantos más años con datos en común tengan ambas series, más creíble será la correlación encontrada entre ambas series. El número mínimo de años que se requieren, también depende de la variable meteorológica que se tenga en cuenta: por ejemplo en el caso de series térmicas, más regulares, 5 años puede ser un umbral mínimo aceptable.

b) La proximidad geográfica de los observatorios es necesaria, pero no suficiente, debido a las modificaciones que pueden introducir los factores locales del clima. Por lo tanto es necesario que las dos estaciones presenten rasgos climáticos similares y por todo ello debe tenerse en cuenta, además, la correlación entre observatorios.

c) Comprobación de que la nueva serie resultante aporta un incremento a la información original. Esto se consigue cuando el cociente entre la varianza de la muestra original y la muestra completada, es superior o igual a la unidad o lo que es lo mismo, cuando el coeficiente de determinación de la regresión, r^2 , cumple que:

$$r^2 \geq \frac{1}{n_1 - 2} = R^2 \quad (\text{Ec. 11})$$

siendo n_1 la longitud de la serie incompleta.

CAPITULO III: MARCO METODOLOGICO

3.1 Ubicación del estudio

Esta investigación realizó en la Universidad de El Salvador (UES), en la Facultad Multidisciplinaria Oriental (FMO), Sección de Física, ubicada en km 144, carretera a El cuco, Cantón el Jute, San Miguel.

3.2 Nivel de la investigación

Este estudio corresponde a una investigación descriptiva, debido a que su propósito consiste en la caracterización del comportamiento de la sequía meteorológica. La amplitud del presente estudio en cuanto a territorio, abarca solamente dos zonas del país, Oriental y Paracentral, y con respecto al tiempo, abarca un período de treinta años de datos de precipitación diaria, recolectados en las estaciones meteorológicas correspondientes a las zonas en cuestión. La investigación posee un enfoque tanto cualitativo como cuantitativo; pues, además de caracterizar el fenómeno, se pretende, asimismo, cuantificarlo para medir su intensidad, duración y frecuencia con que ocurre.

3.3 Diseño de la investigación

Para llevar a cabo este estudio sobre la sequía, se trabajó con datos de las estaciones meteorológicas, lo cuales fueron aportados por el MARN, de acuerdo a sus registros temporales; por lo que esta investigación es de carácter documental.

3.4 Unidades de análisis

- Datos de precipitación diaria
- Estaciones meteorológicas de las zonas oriental y paracentral de El Salvador
- Valores del índice oceánico de El Niño 3.4

3.4. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Este estudio se basa en el análisis documental de los registros históricos de los datos de precipitación diaria, los cuales serán proporcionados por el MARN en formato digital, recibidos vía E-mail. Estos datos se encuentran tabulados en Microsoft Excel; los cuales están agrupados por estación, con su respectivo índice y nombre y coordenadas geográficas.

3.5 Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Los datos con los cuales se trabajó en esta investigación fueron obtenidos en un archivo de Microsoft Excel. Este archivo consta de una hoja de cálculo en la cual se encuentran un total de 105 estaciones ubicadas en la zona Oriental y Paracentral de EL Salvador.

De estas 105 estaciones se seleccionaron 35, estas son las que tienen suficiente información, de al menos 30 años de datos. Para ello fue necesario realizar un inventario. Ver figura 6.

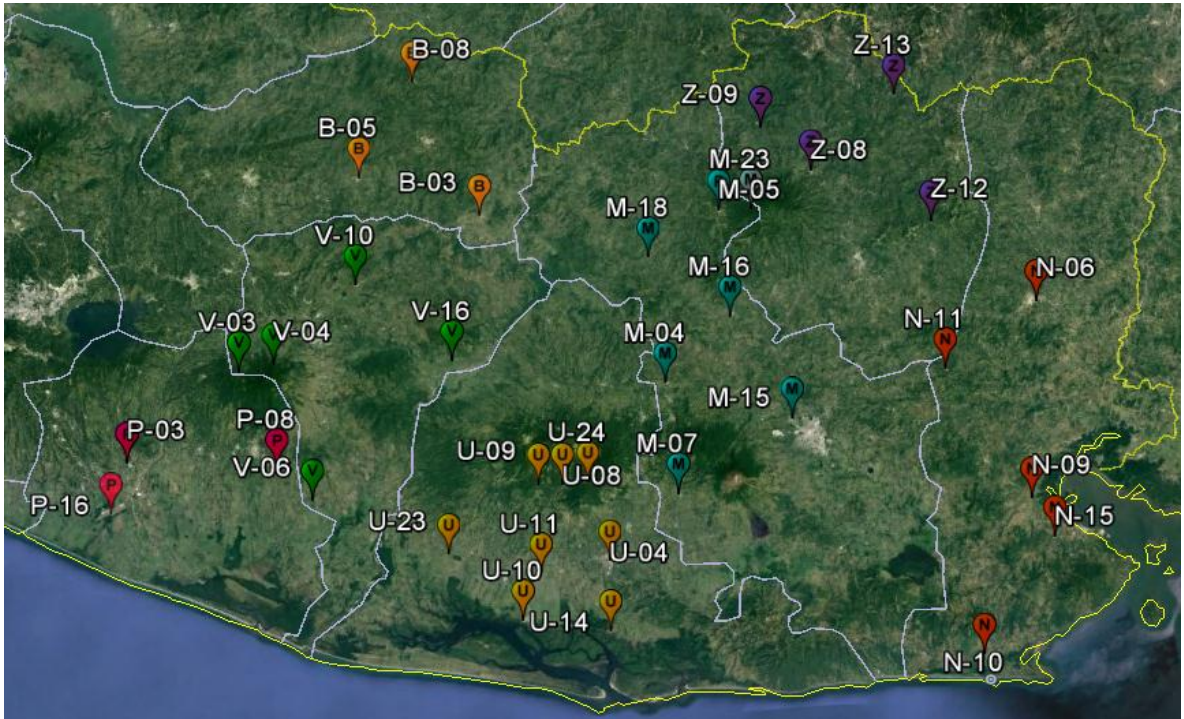


Figura 6: Ubicación de las estaciones meteorológicas con más del 80 % de datos

Modificada de: Google Earth

La serie de datos se encuentra en una sola columna desde el año de 1971 hasta el año de 2015. Para trabajar estos datos fue necesario separarlos por índice y por año. Se procedió a crear un archivo, el cual contiene una hoja por cada estación.

El inventario consiste en la revisión de las hojas con datos existente para las estaciones. Se utilizó una hoja de cálculo (Excel) para crear una hoja de registro que contiene cada una de las estaciones. Cada una de estas hojas contiene una serie de columnas para el ingreso cada año. Se hizo una revisión de cada estación para averiguar el número de años faltantes de cada estación y el número de meses faltantes para cada año.

De los datos de precipitación se seleccionaron sólo los meses para los cuales tiene lugar la estación lluviosa. Estos meses comprenden de mayo a octubre; con lo cual se eliminarán los demás meses para cada año.

Este inventario sirvió para determinar cuáles de las estaciones poseen la cantidad de datos suficientes para ser consideradas, debido a que para los fines de esta investigación, se requería que cada estación posea al menos un 80 % de datos para el período establecido.

De acuerdo al inventario se determinó que era necesario hacer un relleno de datos para aquellas estaciones que así lo requerían. Este relleno de datos se hizo con el método de relleno por regresiones múltiples. Este método se recomienda para estimación de datos mensuales y anuales de la estación en estudio, en base a datos pluviométricos consistentes de una estación cercana.

Una vez que se hubo rellenado las estaciones con datos faltantes se procederá a calcular los siguientes parámetros:

- El índice estandarizado de sequía pluviométrica (IESP), el cual es un índice mensual de sequía pluviométrica que se basa en el cálculo de las anomalías pluviométricas mensuales acumuladas y estandarizadas.
- Las anomalías pluviométricas acumuladas resultan de la diferencia entre la precipitación acumulada del mes objeto del cálculo y la precipitación acumulada media para el período en cuestión para el mismo mes.

Valores positivos de este indicador representan precipitaciones acumuladas superiores a las normales en el mes estudiado, mientras que valores negativos denotan lluvias acumuladas inferiores a la normal.

Para calcular este índice fue necesario calcular las anomalías pluviométricas acumuladas para cada mes, el valor promedio de las anomalías pluviométricas acumuladas de todos los meses de la serie, y la desviación típica de las anomalías pluviométricas de todos los meses de la serie.

Lo anteriormente descrito se hará con la siguiente fórmula:

$$IESPi = \frac{APA_{ci} - \overline{APAc}}{\sigma_{APAc}} \quad (\text{Ec. 12})$$

Donde

APA_{ci} : representa la anomalía pluviométrica del mes i.

\overline{APAc} : representa el valor medio de las anomalías pluviométricas acumuladas de todos los meses de la serie.

σ_{APAc} : representa la desviación típica de las anomalías pluviométricas acumuladas de todos los meses de la serie.

CAPITULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el siguiente apartado se realiza el estudio cuantitativo de la investigación según lo expuesto en el capítulo del diseño metodológico, así como la discusión de estos resultados.

El capítulo está estructurado en dos partes. En la primera se describen algunos parámetros que caracterizan la sequía meteorológica. Por último se establece una comparación de eventos secos con episodios de El Niño/La Niña.

Intensidad de la sequía pluviométrica: El índice de precipitación muestra la intensidad de los eventos secos de cada quinquena de una serie de datos para 44 años estudiados para cada estación. Este índice de precipitación se muestra a partir de los gráficos mostrados en las figuras 4 en adelante.

Frecuencia de los eventos secos: La frecuencia muestra el porcentaje de ocurrencia de los eventos secos por mes y por año para la serie temporal, según cada estación. La frecuencia mensual y anual se muestra a partir de la tabla 2 hasta la tabla 6.

Magnitud de los eventos de sequía pluviométrica: La magnitud se refiere a la desviación porcentual de los eventos secos con respecto a un promedio histórico. La magnitud es una anomalía porcentual. Una anomalía negativa representa años con eventos secos y una anomalía positiva representa años sin sequía.

4. 1 Índice de precipitación pluviométrica

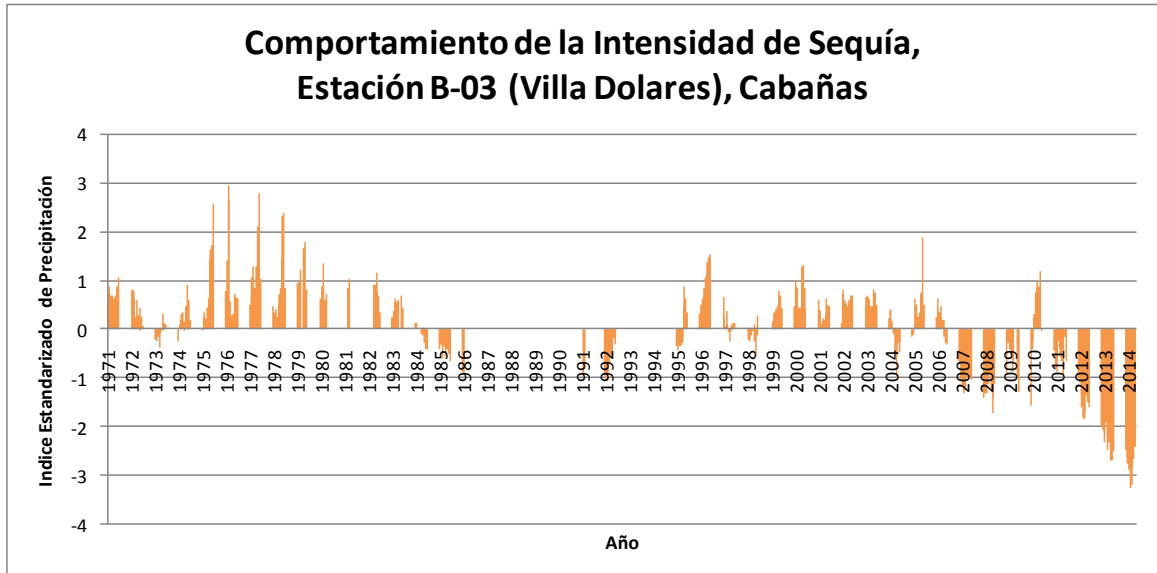


Gráfico 1: Índice SPI de la estación B-03

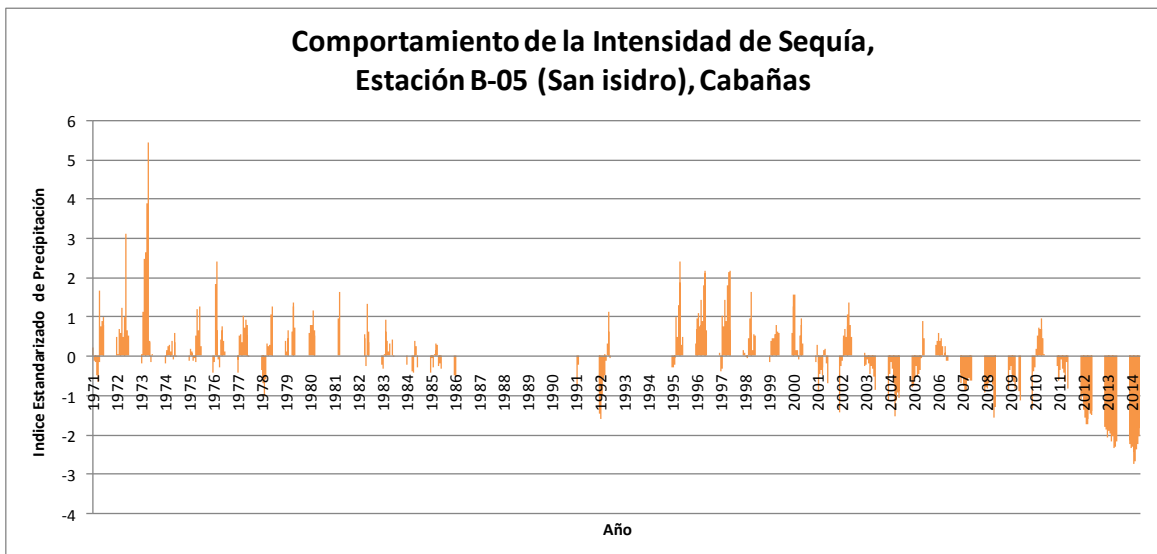


Gráfico 2: Índice SPI de la estación B-05

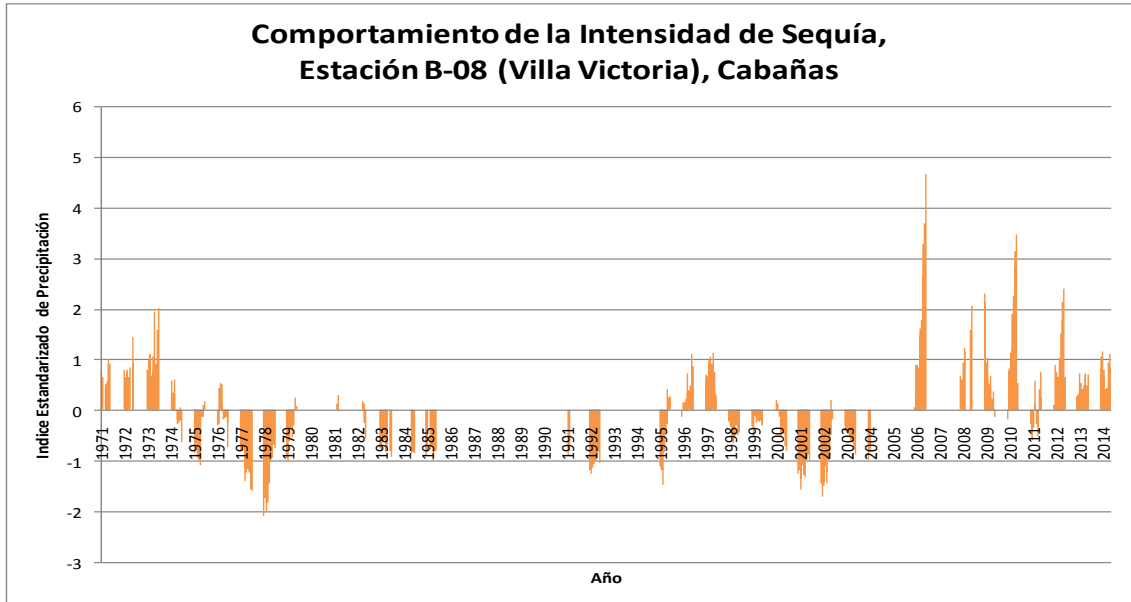


Gráfico 3: Índice SPI de la estación B-08

Para el departamento de cabañas se presentan de los gráficos 1, 2 y 3 respectivamente, de los cuales, el gráfico B-03 (Villa Dolores) y el B-05 (San Isidro) corresponden a estaciones con una elevación menor a los 500 msnm. El gráfico B-08 (Villa Corta) corresponde una estación con una elevación mayor a los 500 msnm. Para la estación B-03 se registraron 7 año con sequía moderada, 5 con sequía severa, uno con sequía extraordinaria y 2 eventos con sequía excepcional; éstos dos últimos se presentan en el 2013 y 2014. Para la estación B-05 se registraron 9 eventos con sequía moderada, 4 con sequía severa, uno con sequía extraordinaria y 2 con sequía excepcional, también en los años 2013 y 2014. Para la estación B-08 se registraron 12 año con sequía moderada, 5 con sequía severa, 1 con sequía extraordinaria y ningún año con sequía excepcional.

Para los gráficos correspondientes al departamento de Cabañas se visualiza que solo se presenta el año 1992 con una sequía severa para las tres estaciones meteorológicas.

Índice de precipitación para el departamento de San Vicente

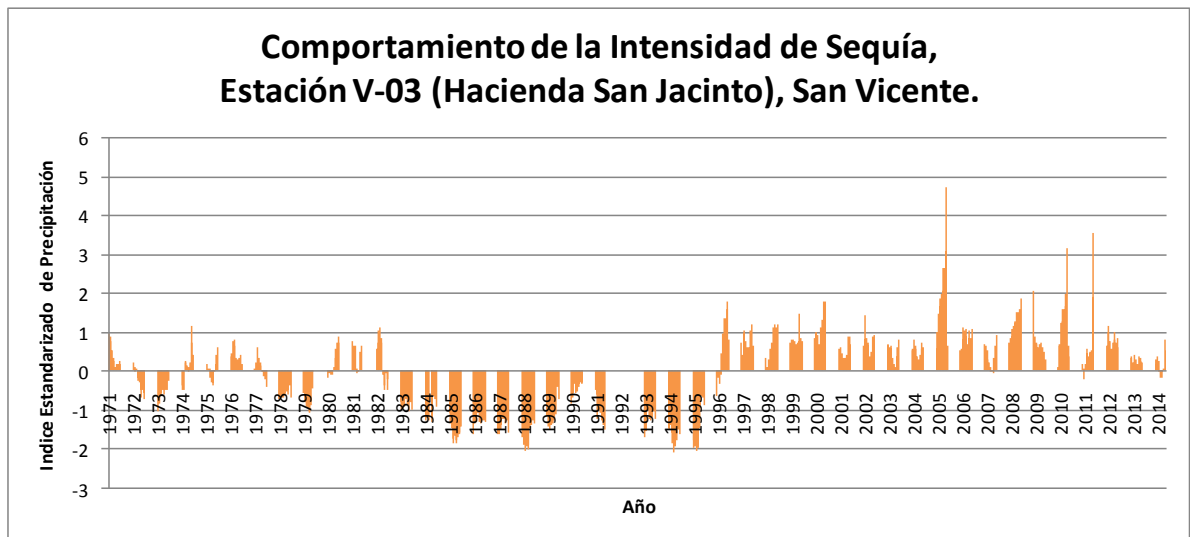


Gráfico 4: Índice SPI de la estación V-03

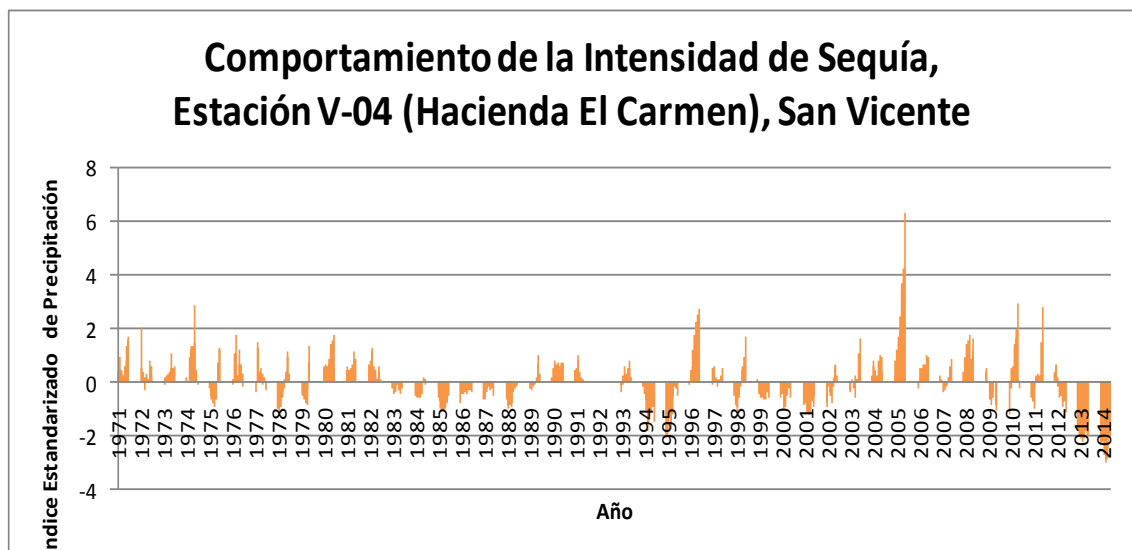


Gráfico 5: Índice SPI de la estación V-04

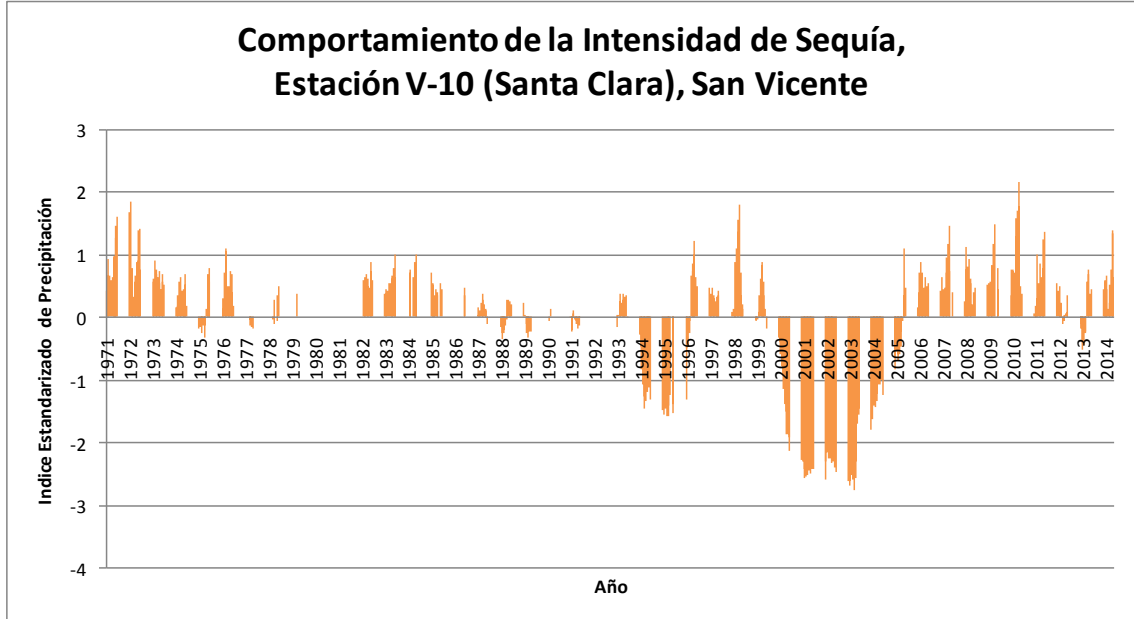


Gráfico 6: Índice SPI de la estación V-10

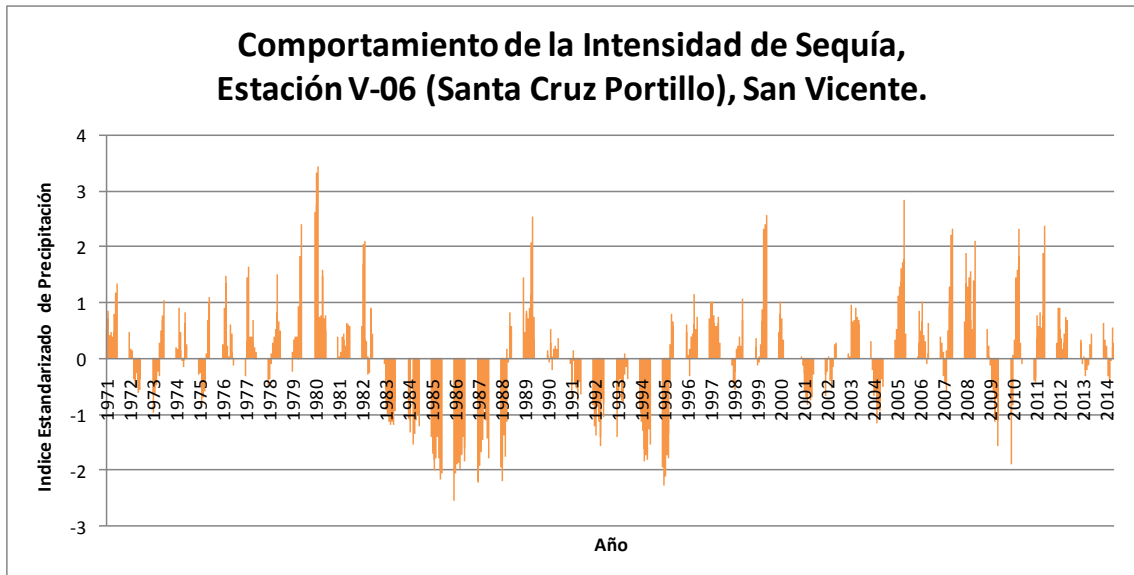


Gráfico 7: Índice SPI de la estación V-06

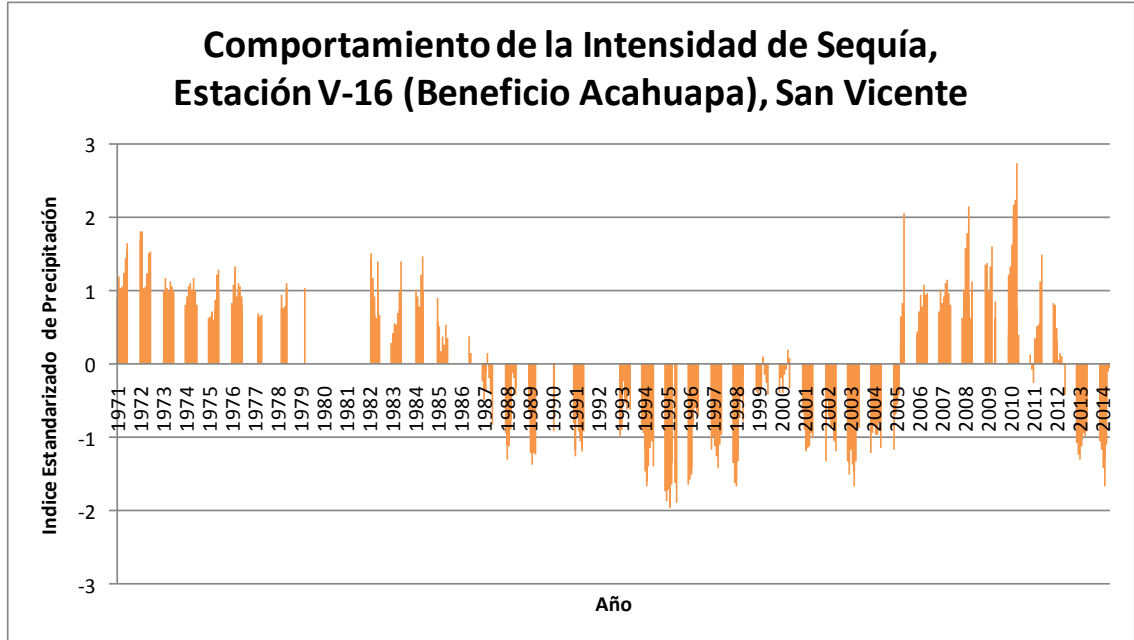


Gráfico 8: Índice SPI de la estación V-16

A partir de los gráficos 4, 5, 6, 7 y 8 correspondientes al departamento de San Vicente se tienen las estaciones: V-03 (Hacienda San Jacinto), V-04 (Hacienda el Carmen), V-10 (Santa Clara) con una elevación mayor a los 500 msnm. Los índices de sequía registrados para cada una de estas estaciones son los siguientes: para la V-03 se registraron 4 años con sequías moderadas, 8 años con sequías severas, 4 años con sequías extraordinaria y ningún año con sequía excepcional. Para la estación V-04, se registraron 10 años con sequía moderada, 8 con sequía severa, 3 con sequía extraordinaria y 1 año con sequía excepcional, la cual ocurrió en 2014. Para la estación V-10, se registraron 2 años con sequía moderada, 2 con sequía severa, 1 con sequía extraordinaria y 3 con sequía excepcional, en los años del 2001 al 2003.

De las estaciones V-06 (Santa cruz Portillo), V-16 (Beneficio Acahuapa), con una elevacion inferior a los 100 msnm, se presentan los siguientes índices: para la estación V-06 se registraron 7 años con sequía moderada, 4 con sequía severa, 5 con sequía extraordinaria, y solo 1986 aparece con sequía excepcional. Para la estación V-16 se registraron años con sequía moderada, 12 con sequía severa, 1 año con sequía extraordinaria y ningún año con sequía excepcional.

El departamento de San Vicente muestra una variabilidad poco consistente en el comportamiento de sus estaciones, debido a que no se visualizan períodos de coincidencia de episodios de sequía para todas las estaciones.

Índice SPI departamento de La Paz

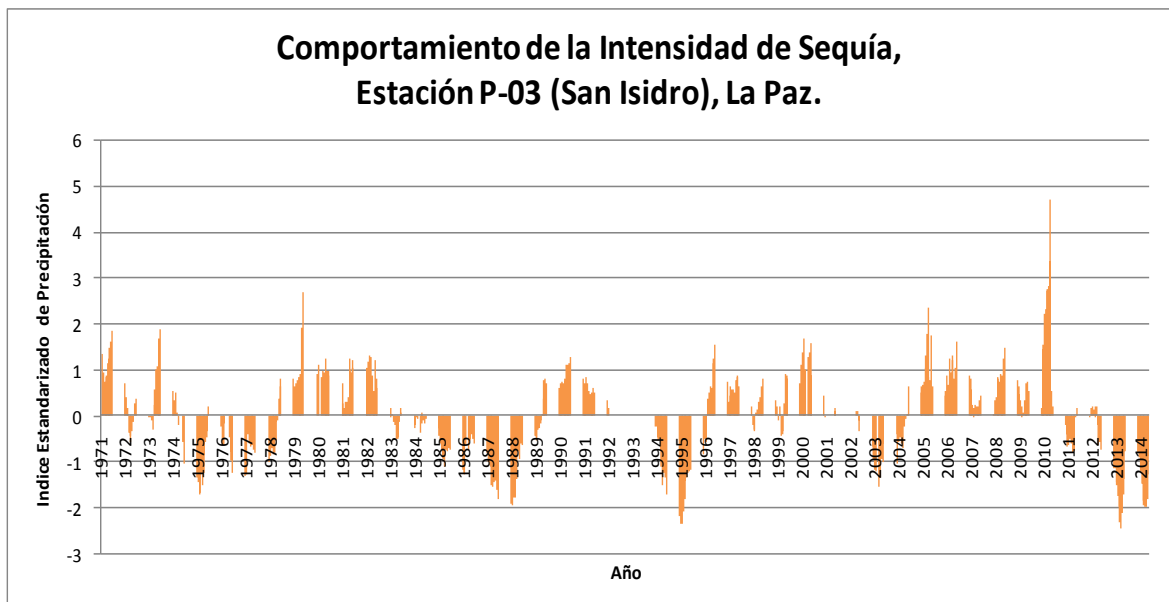


Gráfico 9: Índice SPI de la estación P-03

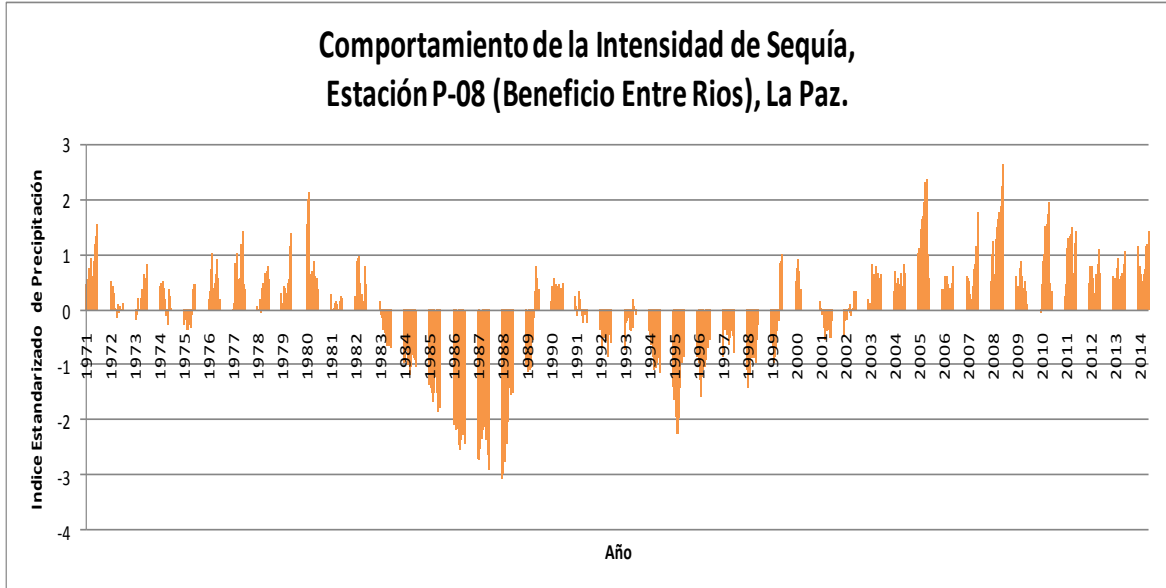


Gráfico 10: Índice SPI de la estación P-08

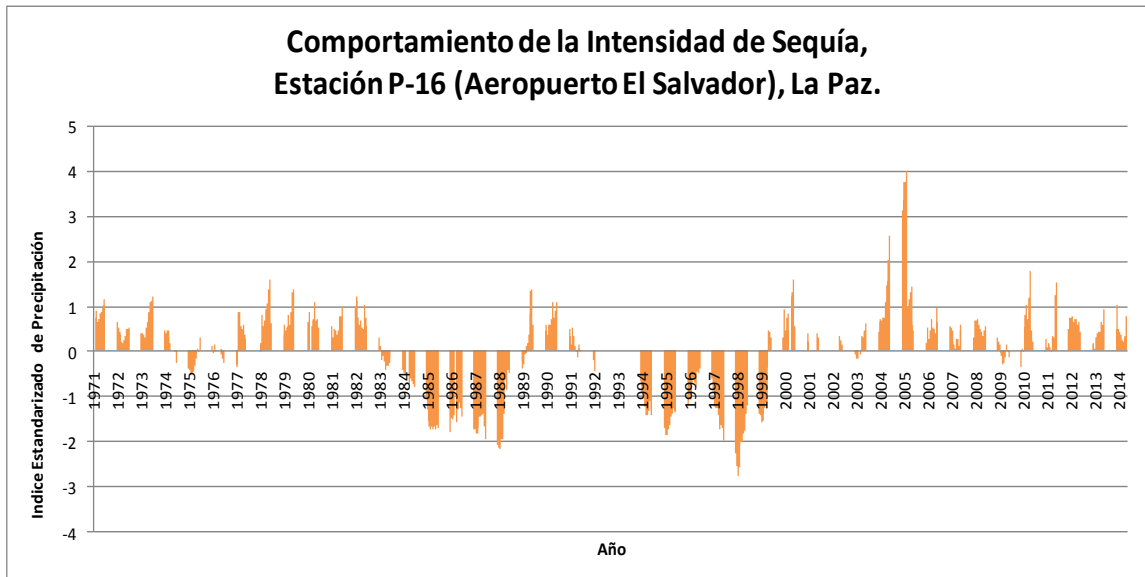


Gráfico 11: Índice SPI de la estación P-16

De los gráficos 9, 10 y 11 correspondientes al departamento de La Paz según el índice de sequía pluviométrica se tiene lo siguiente: para la estación P-03 (San Isidro) se ha

registrado 6 años con sequía moderada, 4 con sequía severa, 5 con sequía extraordinaria y 2 con sequía excepcional, los cuales se presentaron en los años de 1995 y 2013 respectivamente. Para la estación P-08 (Beneficio entre ríos) se registraron los siguientes eventos de sequía: 5 años con sequía moderada, 5 con sequía severa, 2 años con sequía extraordinaria y 3 años con sequía excepcional, presentándose éstos últimos en los años de 1986, 1987 y 1988. Para la estación P-16 (Aeropuerto El Salvador) se registran los siguientes: 2 años con sequía moderada, 3 con sequía severa, 4 con sequía extraordinaria y uno con sequía excepcional para el año 1998. Del gráfico de la estación P-16 se puede apreciar que se registraron dos eventos secos de larga duración; como es el caso del período de 1985 hasta 1988; al igual que para el período de 1994 hasta 1999. Según los gráficos del departamento de La Paz, se observa un período seco de cuatro años que coincide para las tres estaciones, el cuál comienza en el año de 1985 y termina en el año de 1988, siendo éste, más intenso para la estación P-08, para la cual se aprecian valores del índice de sequía pluviométrica de hasta -3.04.

Índice SPI departamento de La Unión

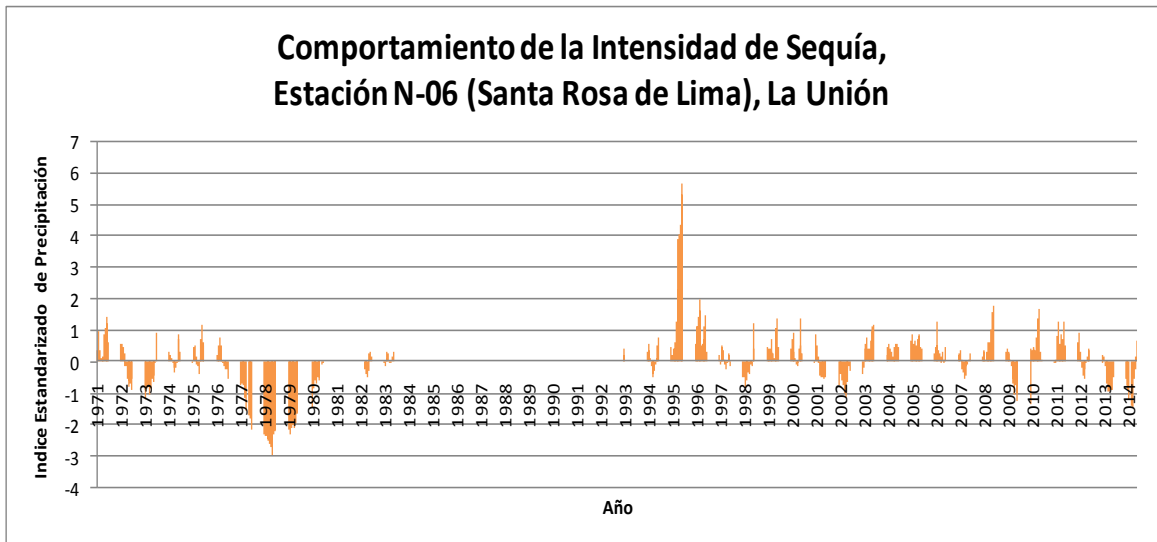


Gráfico 12: Índice SPI de la estación N-06

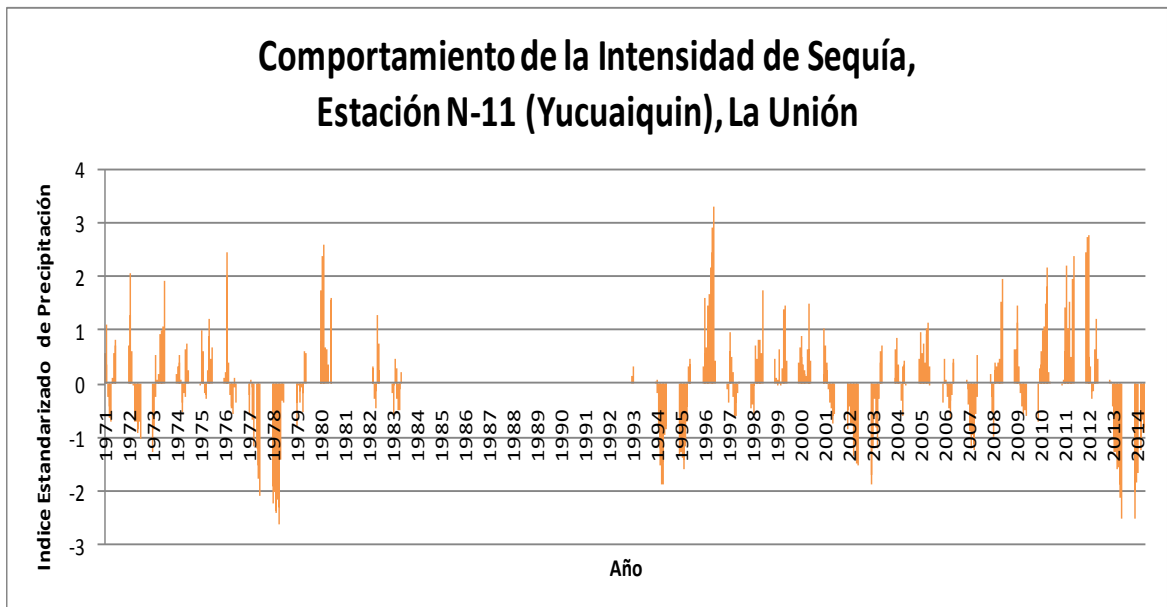


Gráfico 13: Índice SPI de la estación N-11

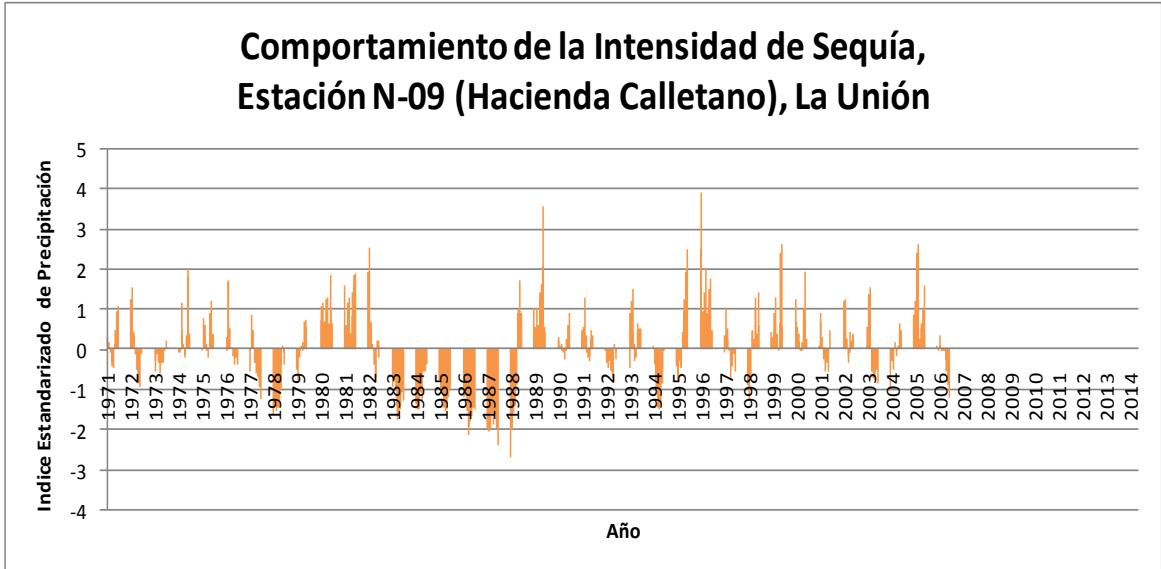


Gráfico 14: Índice SPI de la estación N-09

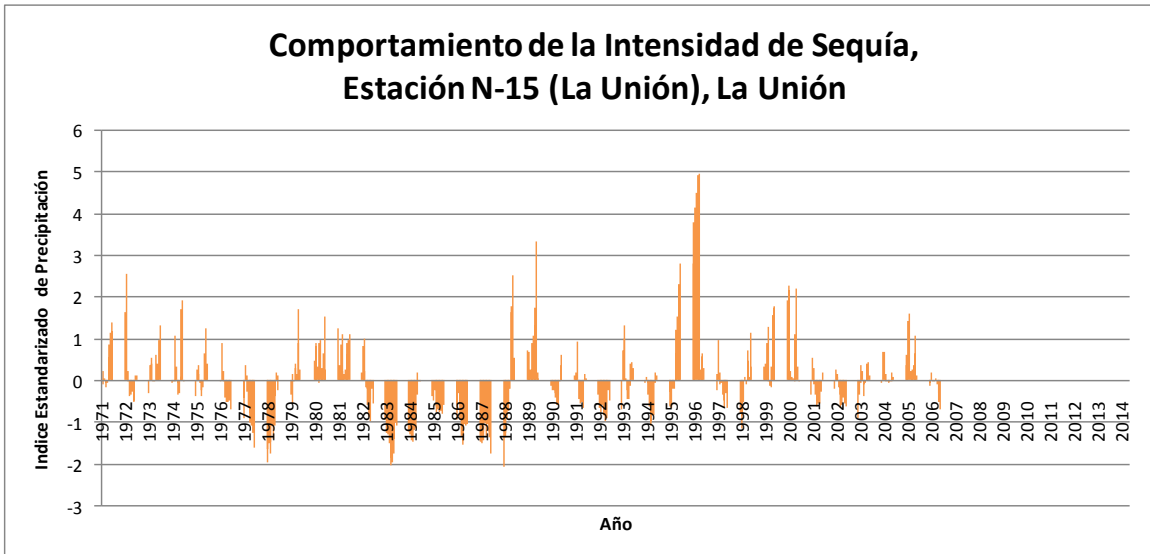


Gráfico 15: Índice SPI de la estación N-15

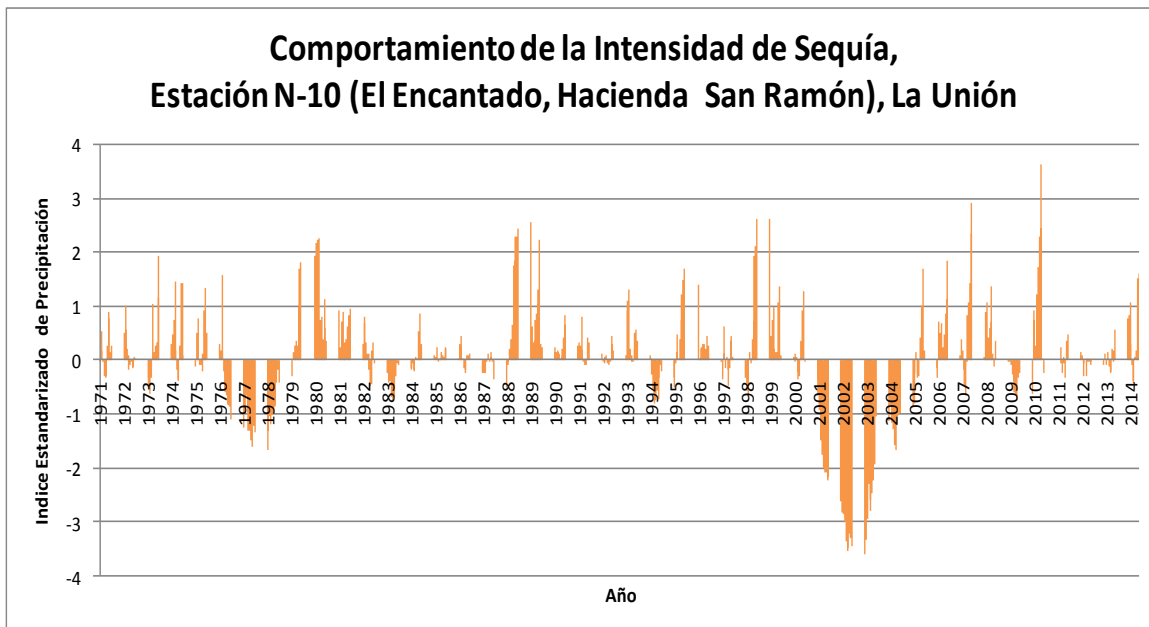


Gráfico 16: Índice SPI de la estación N-10

A partir de las gráficas 12, 13, 14, 15 y 16 respectivamente, se muestra el índice de sequía pluviométrica, para el departamento de La Unión para los cuales se registran los siguientes eventos secos. Para la estación N-06 (Santa Rosa de Lima) se observan 6 años con sequía moderada, 5 con sequía severa, un año con sequía extraordinaria y dos años con sequía excepcional, éstos últimos se presentaron en los años 1978 y 1979. Para la estación N-11(Yucuaiquín) se observan 8 años con eventos de sequía moderada, 4 con sequía severa, 3 con sequía extraordinaria y 3 años con eventos de sequía excepcional; éstos eventos excepcionales se observan para los años 1978, y para 2013 y 2014, respectivamente, siendo el más intenso y duradero para 1978. Para la estación N-09 (Hacienda Calletano) se observan 10 años con sequías moderada, 8 con sequía años con sequías severas, 3 años con eventos de sequías extraordinarias y un año con sequías excepcional, el cual ocurrió en el año de 1988. De este gráfico N-09 se observa un

período seco prolongado durante 6 años desde 1983 hasta 1988; presentándose los primeros años como sequías severas, intensificándose hasta convertirse en sequías extraordinarias en los últimos 3 años de este período.

Para la estación N-15 (La Unión) se observan 13 años con eventos de sequías moderadas, 5 con sequía severas, 4 con sequías extraordinarias. Para esta estación no se observan sequías excepcionales. Del gráfico N-15 se puede observar que se dio una serie de eventos secos a lo largo de todo el período estudiado, para la cual, lo más notable, es el período seco de 6 años que coincide con el observado en el gráfico N-09; estas estaciones se encuentran relativamente cerca.

La estación N-10 muestra 8 años con eventos de sequías moderadas, 4 años con sequías severas, un año con sequía extraordinaria y dos años con sequías excepcionales , ocurridas en los años 2002 y 2003 consecutivamente. De cada uno de los gráficos del departamento de La Unión se observa un período seco que coincide para los años de 1977 y 1978 con diferentes intensidades.

Índice SPI departamento de Usulután

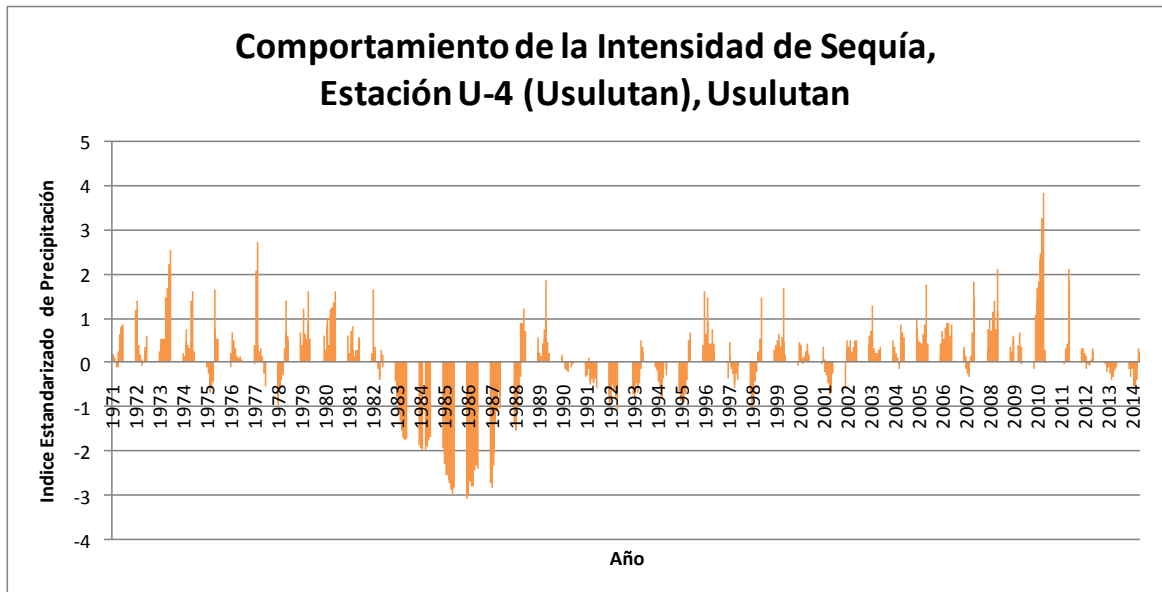


Gráfico 17: Índice SPI de la estación U-04

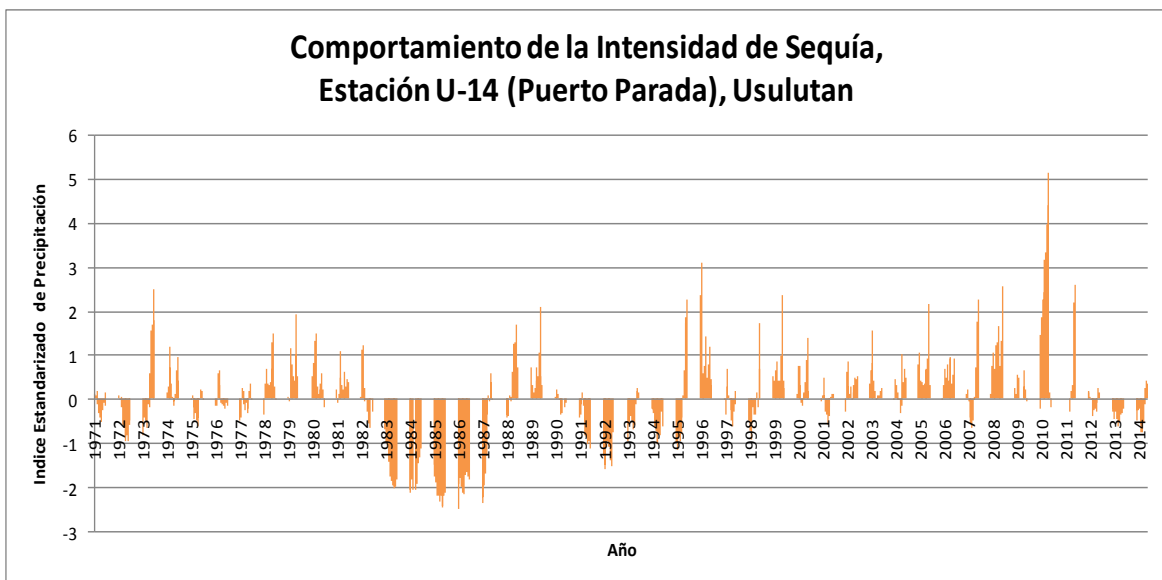


Gráfico 18: Índice SPI de la estación U-14

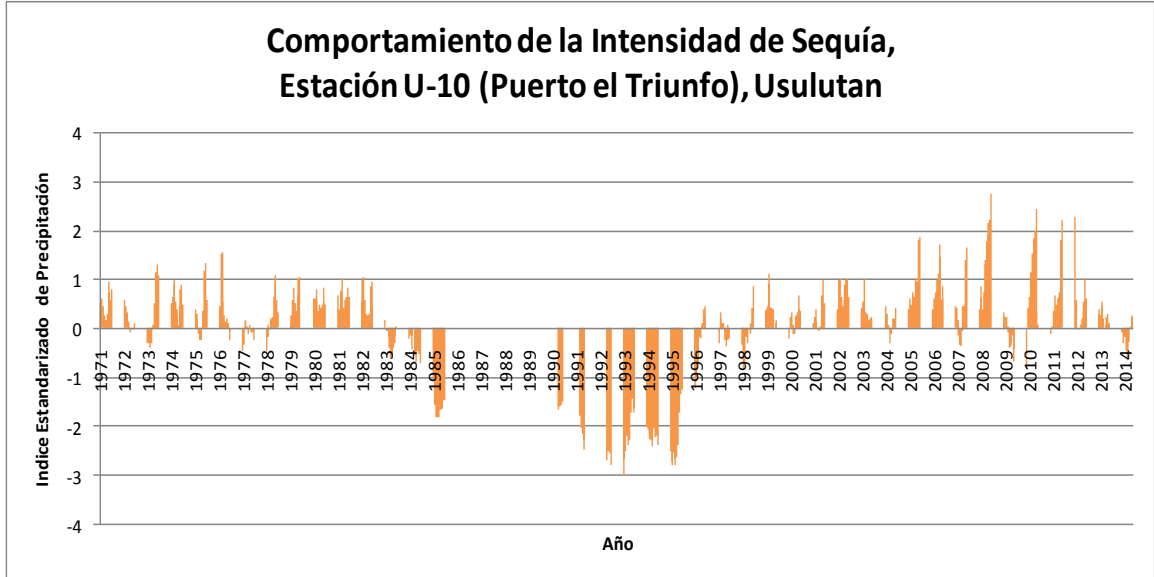


Gráfico 19: Índice SPI de la estación U-10

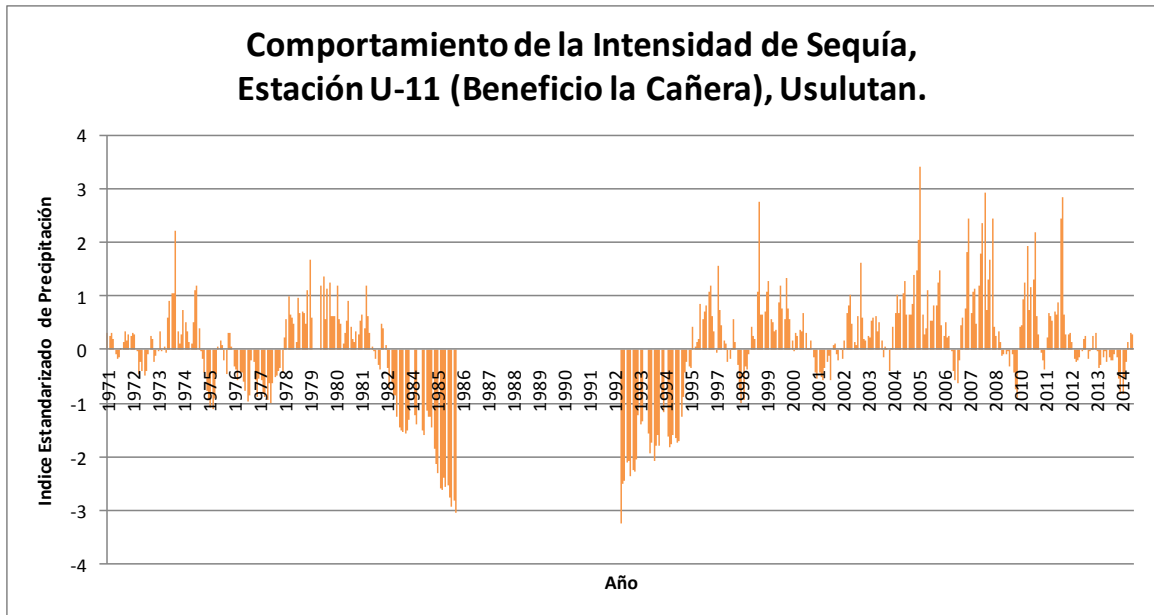


Gráfico 20: Índice SPI de la estación U-11

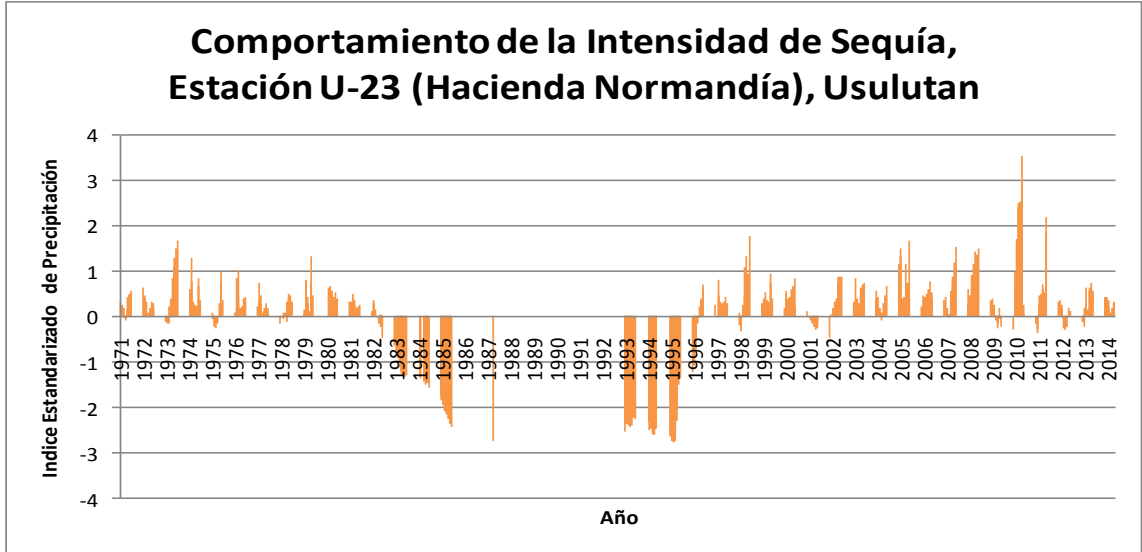


Gráfico 21: Índice SPI de la estación U-23

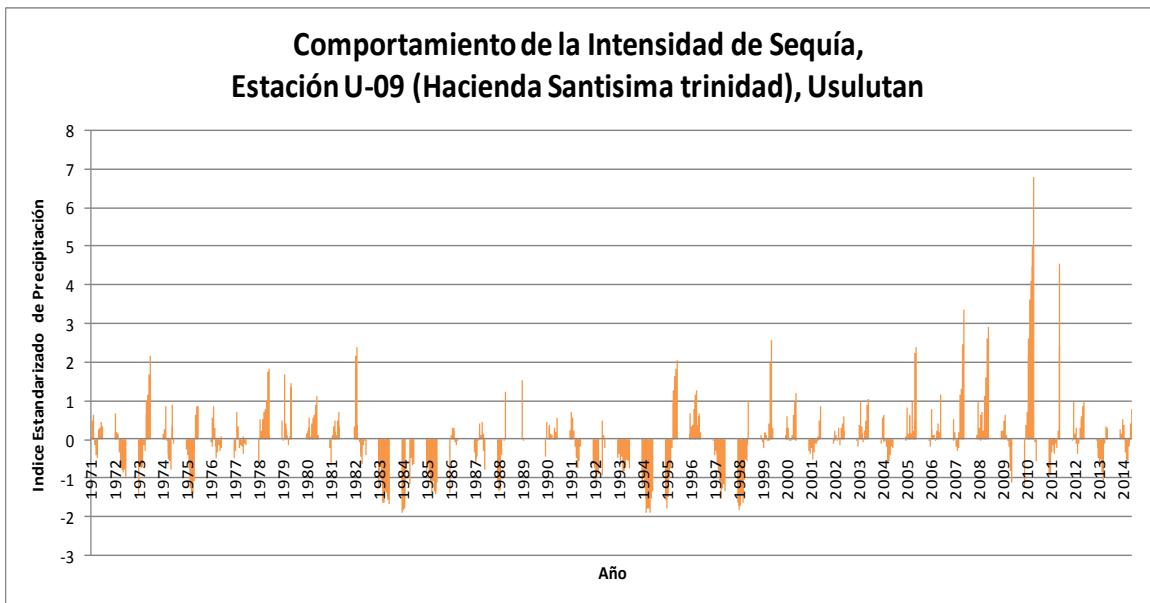


Gráfico 22: Índice SPI de la estación U-09

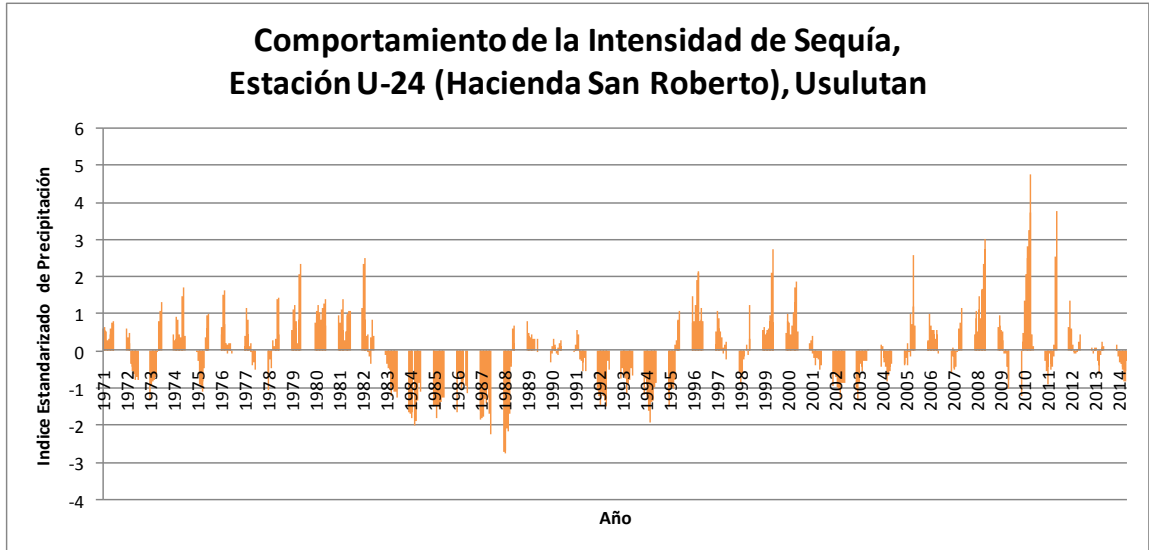


Gráfico 23: Índice SPI de la estación U-24

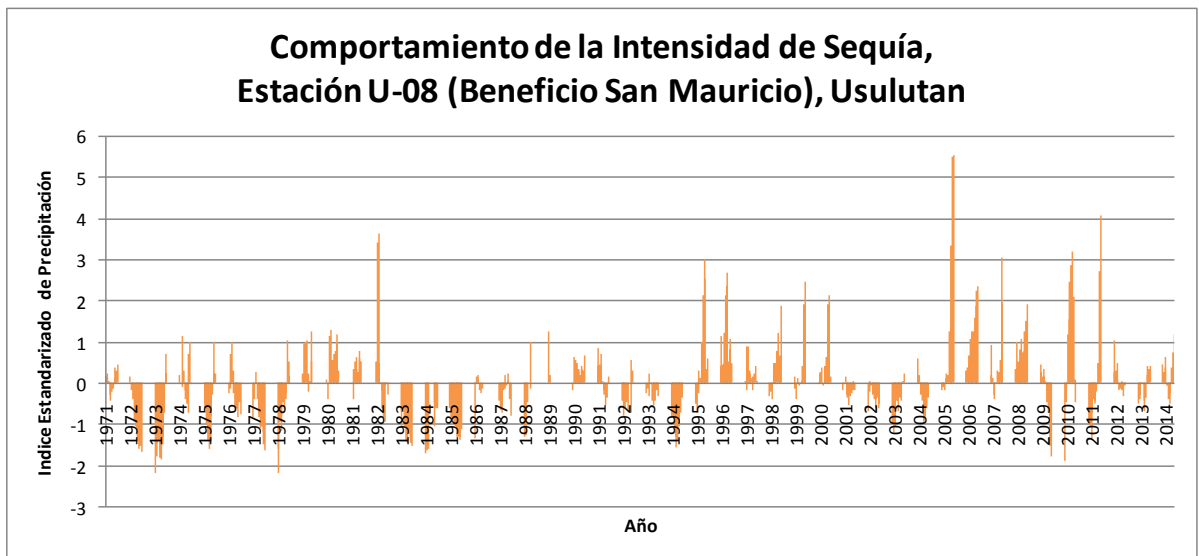


Gráfico 24: Índice SPI de la estación U-08

Para el departamento de Usulután se presentan las gráficas 17 hasta la 24, de las cuales se observa un período seco con una duración de 6 años desde 1983 hasta 1988; el cual es más intenso para algunas estaciones como es el caso de las estaciones U-04, U-14, U-11;

para estas estaciones se observa un valor del índice de sequía pluviométrica menor de -2.3, es decir, una sequía excepcional para los años 1985, 1986 y 1987. Este período seco coincide también con algunas estaciones de otros departamentos como son La Paz, estaciones P-03, P-08 y P-16, al igual que la Unión, estaciones N-09 y N-15, y la estación M-07 de San Miguel. Un hecho notable es que estas estaciones se encuentran al Sur del país. También se observa otro período seco ocurrido en el departamento de Usulután con una duración de 5 años desde 1991 hasta 1995, manifestándose con intensidades variables para las diferentes estaciones. La estación U-10 presenta sequías excepcionales en 1992, 1993, 1994 y 1995; la estación U-11 muestra sequías excepcionales en 1985 y 1992; la estación U-23 muestra sequías excepcionales en 1995; luego en 1993, 1994 y 1995; la estación U-24 solo muestra el año 1988 con sequía excepcional.

De cada uno de los gráficos para este departamento se puede apreciar que este es un departamento en el que se presentan eventos secos con mucha frecuencia, teniendo mayor ocurrencia los eventos con sequía moderada.

Índice SPI departamento de San Miguel

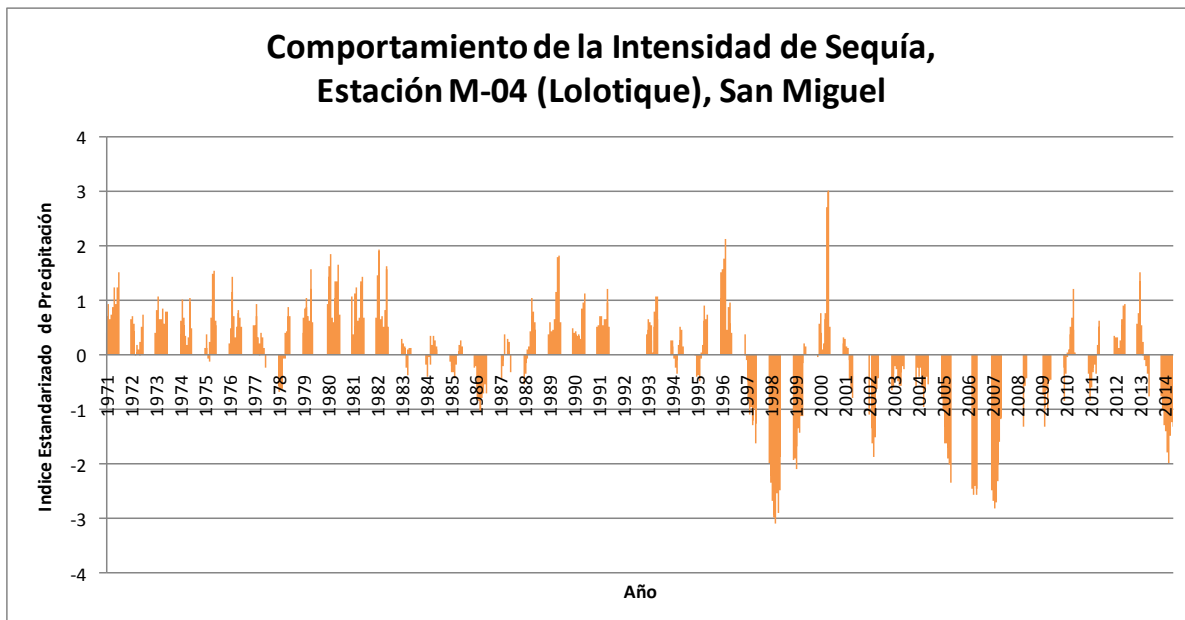


Gráfico 25: Índice SPI de la estación M-04

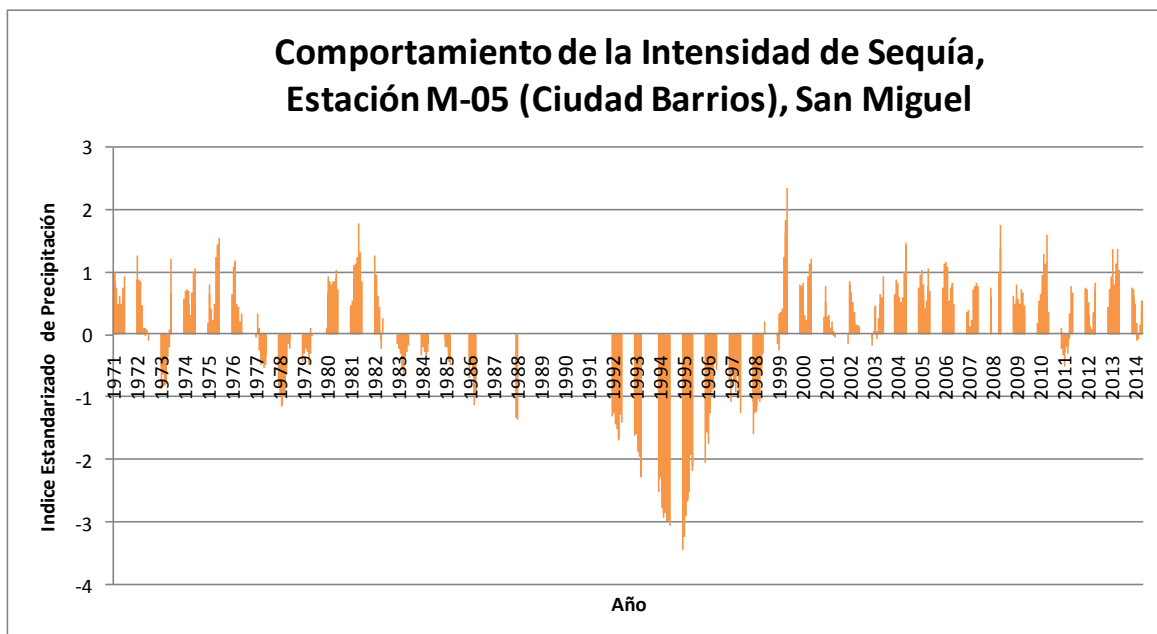


Gráfico 26: Índice SPI de la estación M-05

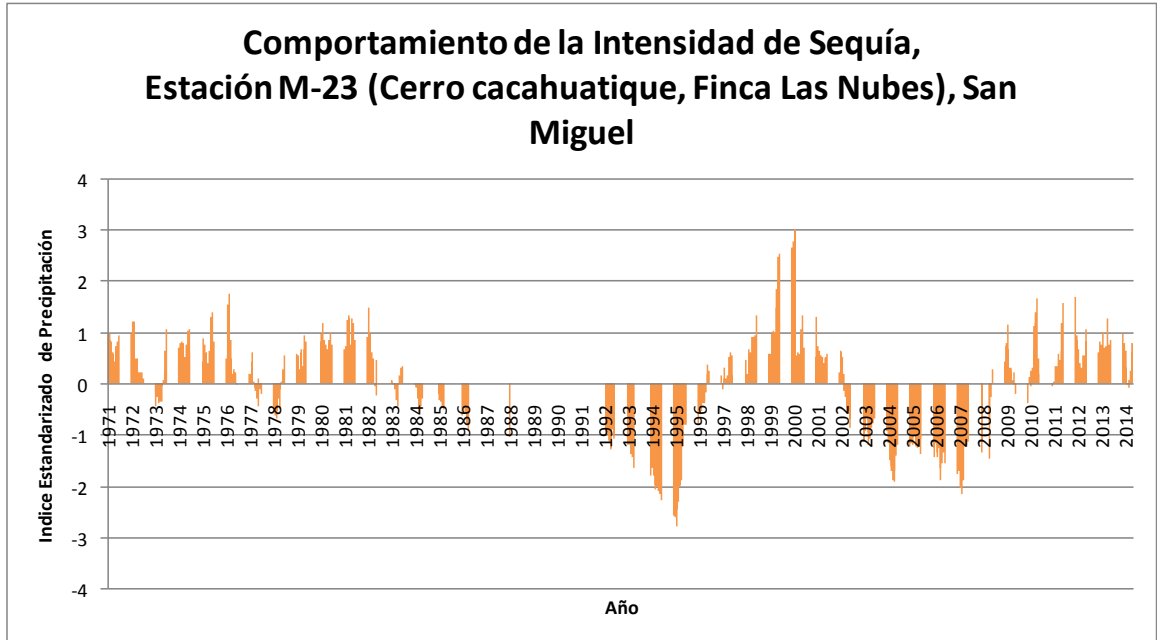


Gráfico 27: Índice SPI de la estación M-23

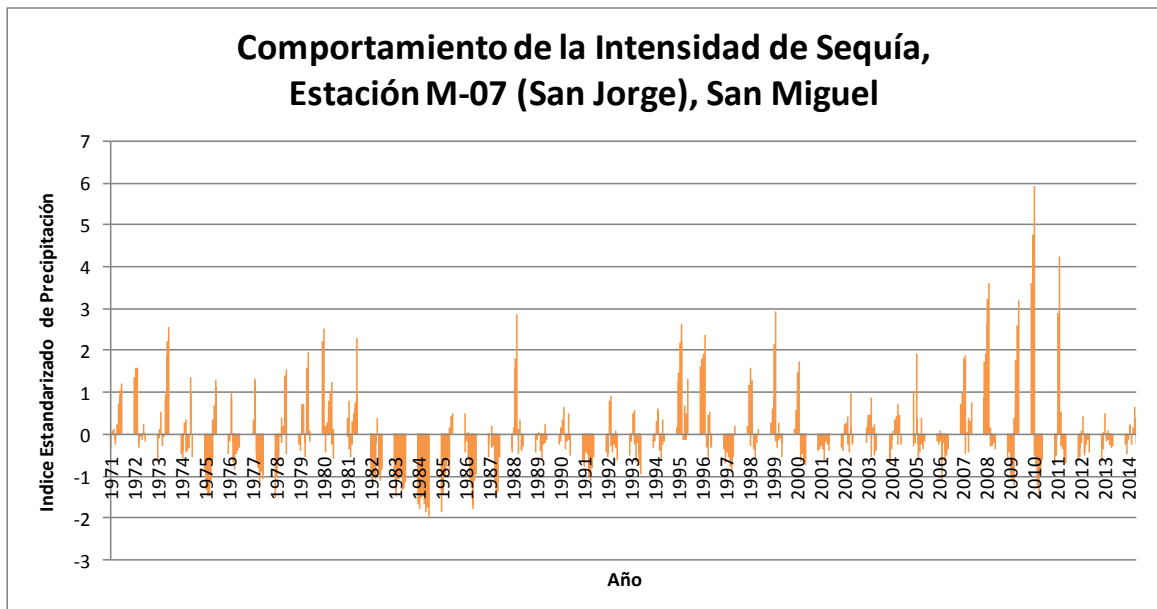


Gráfico 28: Índice SPI de la estación M-07

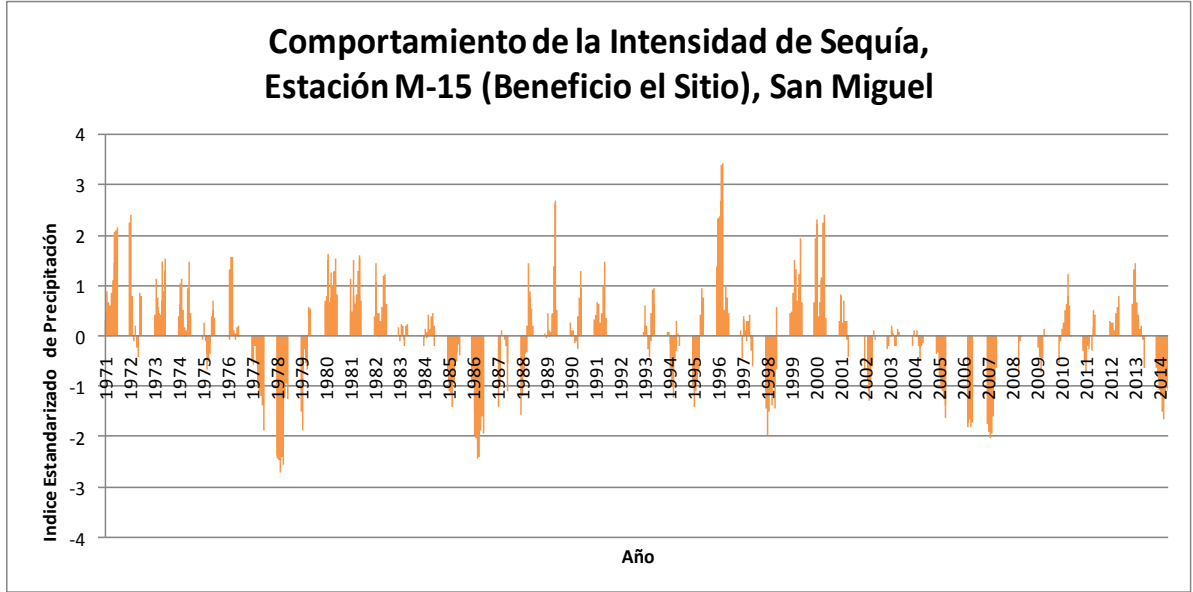


Gráfico 29: Índice SPI de la estación M-15

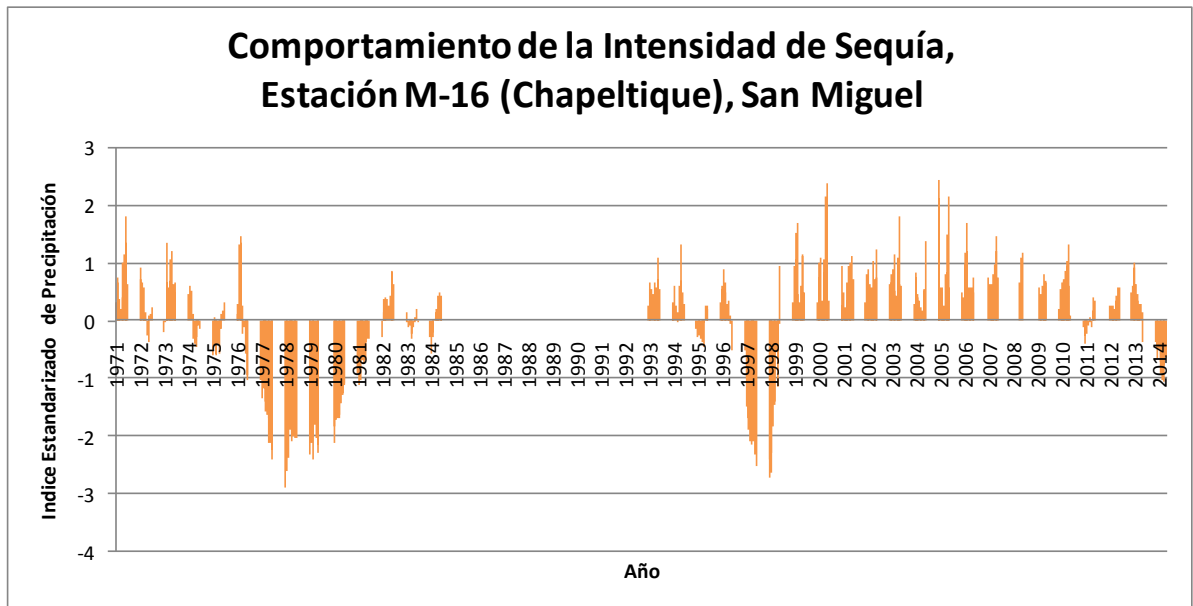


Gráfico 30: Índice SPI de la estación M-16

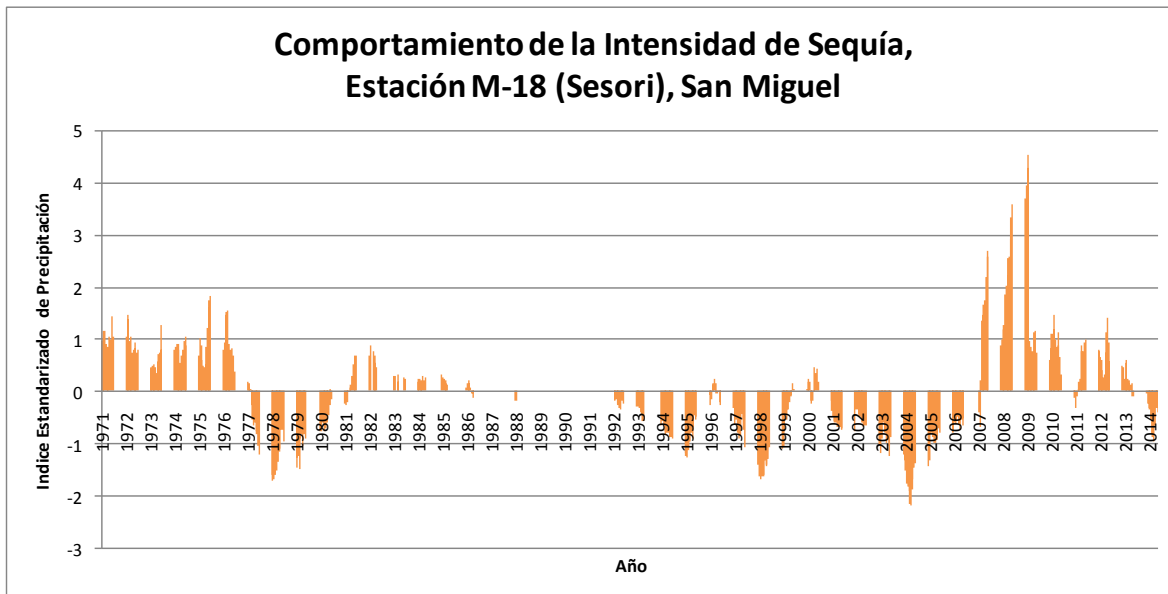


Gráfico 31: Índice SPI de la estación M-18

Para el departamento de San Miguel se muestra el índice de sequía pluviométrica a partir de las gráficas 25 hasta la 31; de las que se observaron los siguientes períodos secos: Para la estación M-04 (Lolotique se observan varios años con índices de sequías de diferente intensidad, de leves a extremas. Las más notables son las que ocurrieron en el año 1998; éste año muestra el índice más alto (-3.00), sequía excepcional, para ésta estación. Luego se observa un período de tres años con sequía excepcional desde 2005 hasta el 2007.

Para la estación M-05 (Ciudad barrios) se observan 6 años con sequía moderada, 5 años con sequías severas, 3 años con sequía extraordinaria. También se observa un período con una duración de siete años con episodios de sequías moderadas severas desde 1992 hasta 1998. Para éste período se observa dos años con sequía excepcional para 1994 y 1995.

Para la estación M-23 (Cerro Cacahuatique, Finca las nubes) se observan dos períodos secos de larga duración, el primero comienza en 1992 hasta 1996, en el que se presentan años con sequías moderadas y severas, con 1995 presentando una sequía excepcional; el segundo período comenzó en 2003 y finalizó en 2007. Para esta estación el año más seco según el índice de sequía pluviométrica ocurre en 2005.

Para la estación M-07 (San jorge) se observa una serie de sequías de intensidad moderada para todos los años; a excepción de un período con sequía moderada a severa que se da en los años de 1982 hasta 1987, de entre los cuales 1984, 1985 y 1986 muestran sequías extraordinarias.

La estación M-15 (Beneficio el Sitio) muestra siete años con sequías moderadas, 6 años con sequías severas, 5 con sequías extraordinarias. Los 1978 y 1986 con valores de índice de sequía menores que -2.5, sequías excepcionales.

La estación M-16 (Chapeltique) muestra un período seco con una duración de cinco años que comienza en 1977 y finaliza en 1981; con los años 1977, 1978 y 1979 excepcionalmente secos. Mas adelante también aparecen dos años con valores de sequía excepcionales que son 1997 y 1998, de éstos, el más seco fue 1998. Para esta estación no ocurre una sequía notable nuevamente hasta el 2014 que resulta en sequía severa.

Para la estación M-18 (Sesori) se tiene que es una estación que presenta varios episodios de sequía moderadas y severas como es el caso del período de 1977 a 1980, el cual coincide con las estaciones M-15 y M-16. Un hecho destacable para esta estación es que se dio un período seco de moderado a extraordinario de 14 años desde 1992,

interrumpiéndose en el 2000, que luego continuó y que tuvo su cese en el 2016. De estos años, el más seco resultó ser para el 2004.

Índice SPI departamento de Morazán

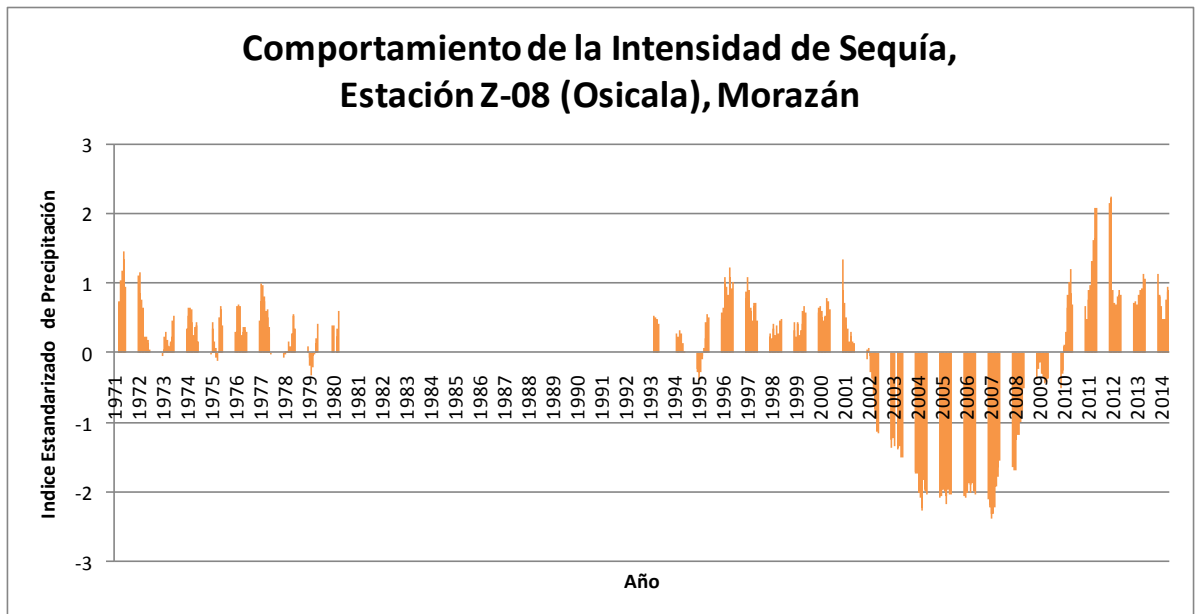


Gráfico 32: Índice SPI de la estación Z-08

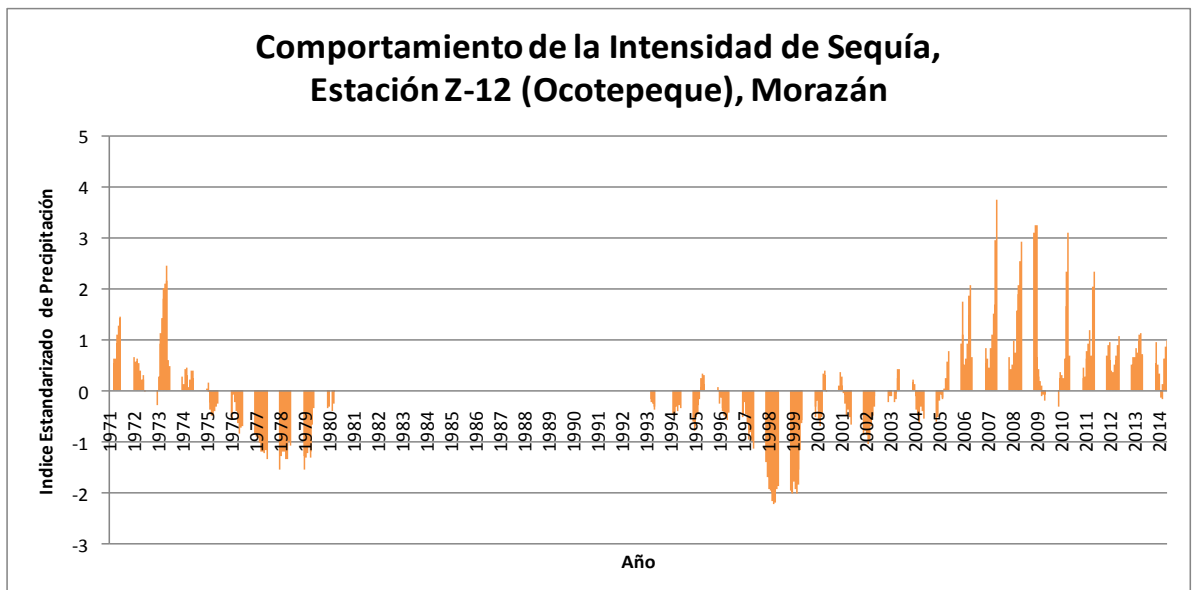


Gráfico 33: Índice SPI de la estación Z-12

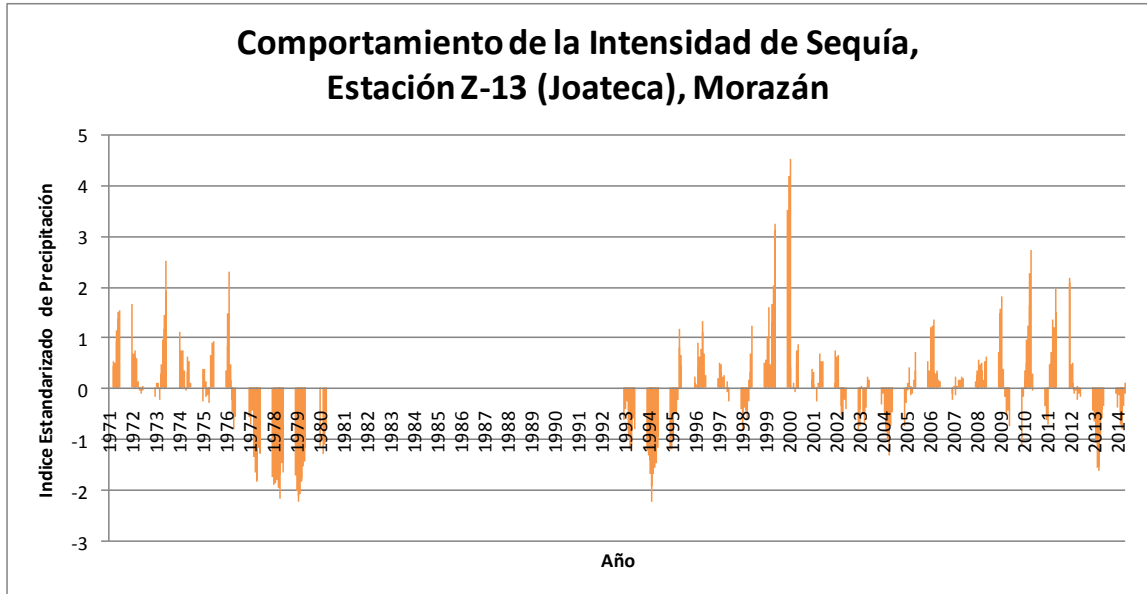


Gráfico 34: Índice SPI de la estación Z-13

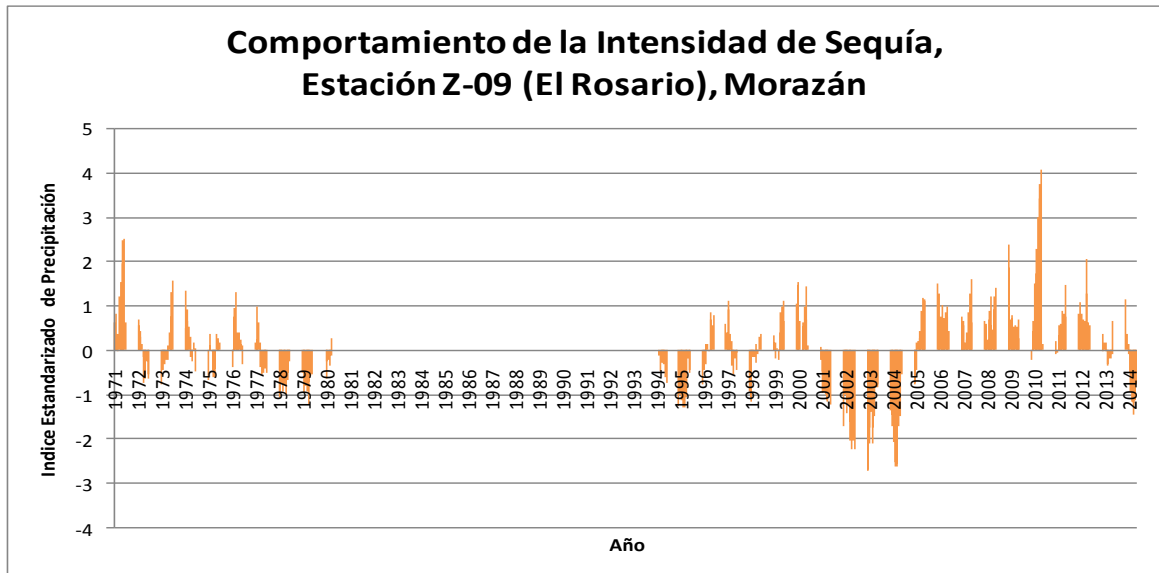


Gráfico 35: Índice SPI de la estación Z-09

Para departamento de Morazan se muestran solo cuatro estaciones representativas, a partir de las gráficas 32 hasta la 35, las cuales muestran un período carente de información de al menos diez años, desde 1981 hasta 1992.

Del gráfico Z-08 (Osicala) solo se observa un período de larga duración ocurrido desde el 2002 hasta el 2008, con sequías moderadas y severas, siendo los años del 2004 hasta el 2007 años extraordinariamente secos.

De la estación Z-12 (Ocotepeque) se observa un período seco con intensidad severa de 1975 hasta 1979, con sequías moderadas y severas. Luego se observa otro período de sequías con intensidades severas desde 1994 hasta 2005; años de los cuales solo 1998 y 1999 fueron extraordinariamente secos.

De la estación Z-13 (Joateca) se observa igual que para la Z-12 un período seco desde 1976 hasta 1980 con intensidades moderadas a severas. Luego se registra tres años desde 1993 hasta 1995 con intensidad moderada, siendo 1994 extraordinariamente seco; ocurriendo eventos moderados intermitentes hasta 2013 que aparece una sequía severa nuevamente.

Por último se tiene la estación Z-09 (El Rosario) para la cual se tiene el mismo período de 1977 hasta 1979 con una sequía moderada. Luego se tiene el período del 2001 al 2004 con sequías de moderadas a excepcionales, del cual, el 2003 y 2004 son excepcionalmente secos.

A partir de todas las estaciones estudiadas se observaron algunos períodos de sequías con larga duración; como es el caso de 1977 hasta 1979 para los departamentos de Cabañas, La Unión, Usulután, San Miguel y Morazán.

Otro período de larga duración se dio en Morazán de 1983 hasta 1989 en el cual se manifiestan eventos secos para San Vicente, La Paz, La Unión, Usulután y San Miguel. Un hecho notable para este período de sequía es que todas las estaciones afectadas se encuentran situadas más al sur del país.

Luego se observa otro período de sequía duradera desde 1992 hasta 1995, para los departamentos de San Vicente, La Paz, La Unión, Usulután, San Miguel y Morazán. Para este período, los años que se presentan con mayor intensidad de sequía para la mayoría de las estaciones, son 1994 y 1995.

Para el período comprendido entre 2002 a 2004 se observan eventos de sequía para los departamentos de Cabañas, San Vicente, La Paz, La Unión, Usulután, San Miguel y Morazán.

4.2 Frecuencia mensual de sequía

Tabla 2: Frecuencia promedio de ocurrencia mensual en porcentaje de sequía para los departamentos de Cabañas, San Vicente, La Paz y La Unión de 1971-2014.

Departamento	Estacion	Elevación	Mes	Frecuencia en %
Cabañas	B-03	110	Mayo	35.94
			Junio	28.03
			Julio	24.28
	B-05	360	Agosto	26.52
			Septiembre	21.88
			Octubre	26.52
	B-08	850	Mayo	39.66
			Junio	36.54
			Julio	37.93
			Agosto	42.86
			Septiembre	34.48
	San Vicente	V-03	840	Mayo
Junio				28.44
V-04		1320	Julio	30.14
			Agosto	29.07
V-10		520	Septiembre	24.32
			Octubre	23.00
V-06		30	Mayo	33.33
			Junio	34.88
			Julio	35.47
V-16		35	Agosto	31.82
	Septiembre		26.70	
	Octubre		25.00	
La Paz	P-03	100	Mayo	30.88
			Junio	30.24
	P-08	90	Julio	29.58
			Agosto	34.22
	P-16	26	Septiembre	27.49
			Octubre	26.68
La Union	N-06	85	Mayo	28.03
			Junio	28.23
			Julio	25.00
	N-11	460	Agosto	45.31
			Septiembre	31.25
			Octubre	24.19
	N-09	5	Mayo	30.56
			Junio	25.71
	N-10	30	Julio	27.33
			Agosto	46.33
	N-15	95	Septiembre	30.61
Octubre			23.89	

Tabla 3: Frecuencia promedio de ocurrencia mensual en porcentaje de sequía para los departamentos de Usulután, San Miguel y Morazán, de 1971-2014.

Departamento	Estaciones	Elevación	Mes	Frecuencia en %
Usulután	U-04	75	Mayo	27.91
			Junio	26.19
			Julio	52.46
	U-14	2	Agosto	31.98
			Septiembre	19.77
			Octubre	15.48
	U-10	5	Mayo	18.12
			Junio	19.00
	U-11	75	Julio	20.81
			Agosto	22.97
	U-23	45	Septiembre	18.92
			Octubre	18.97
	U-08	550	Mayo	35.27
			Junio	33.76
	U-09	610	Julio	31.22
			Agosto	37.73
U-24	548	Septiembre	30.02	
		Octubre	27.38	
San Miguel	M-04	675	Mayo	27.82
			Junio	24.35
	M-05	860	Julio	29.39
			Agosto	31.65
	M-23	1370	Septiembre	27.51
			Octubre	24.24
	M-07	330	Mayo	28.37
			Junio	27.91
M-15	140	Julio	31.30	
		Agosto	32.28	
M-16	180	Septiembre	29.19	
M-18	195	Octubre	25.51	
Morazán	Z-08	560	Mayo	28.72
			Junio	20.93
	Z-12	770	Julio	28.83
			Agosto	33.29
	Z-13	820	Septiembre	29.52
			Octubre	23.23
	Z-09	465	Mayo	31.67
			Junio	22.41
Julio			30.65	
Agosto			36.67	
			Septiembre	29.19
			Octubre	32.76

Para realizar una caracterización mas detallada del fenómeno de la sequía meteorológica se ha dividido a los departamentos por varios grupos de estaciones atendiendo la altitud respectiva.

De acuerdo a la tabla 2 de frecuencia mensual de ocurrencia de sequías, para el departamento de Cabañas, se tiene dos grupos de estaciones. El primer grupo corresponde a estaciones con una altitud de 0 a 500 msnm y otro grupo con una altitud mayor los 500 msnm .

Se observa que para las estaciones situadas una altitud mayor a los 500 msnm, la frecuencia con la que ocurren lo eventos secos son mayores que para las estaciones situadas a una altitud menor a los 500 msnm. Los meses que presentan mayor frecuencia de ocurrencia de sequías de forma descendente son: agosto, seguido de julio y en tercer lugar mayo.

Para el departamento de San vicente se tiene que el mes con mayor frecuencia de que ocurran sequías es julio, seguido de mayo y por último agosto. Para este departamento, se presenta una mayor frecuencia de ocurrencia de los períodos secos para las estaciones con una altitud menor a los 500 msnm que para las que se encuentran situadas arriba de los 500 msnm.

Para el departamento de La Paz, el mes con mayor frecuencia de ocurrencia de sequía es agosto, seguido de mayo y en última instancia julio. Para este departamento solo se tiene un grupo de estaciones con una altitud menor a los 500 msnm.

Asimismo para el departamento de La Unión, agosto es el mes que presenta una mayor frecuencia de los períodos secos, luego sigue el mes de mayo y en menor porcentaje se tiene a julio. Para este departamento todas las estaciones representativas se encuentran situadas a una altitud menor que los 500 msnm; y los valores de frecuencias porcentuales son bastante similares mes a mes.

En el departamento de Usulután se encuentra que el mes de agosto es el que presenta una mayor frecuencia de que ocurran sequías, seguido por julio y a continuación, mayo. Cabe señalar que para este departamento las estaciones que se encuentran situadas sobre los 500 msnm son las que presentan una mayor frecuencia mensual de sequía que las que están por debajo de los 500 msnm; a excepción de un grupo de estaciones que se encuentran a menos de 100 msnm, para las cuales, el mes de julio presenta un valor relativamente alto de frecuencia de sequías, que es del 52.46 %.

Para el departamento de San Miguel se observa que el mes en el que ocurren más eventos secos es agosto, seguido de julio y luego mayo. En este departamento las estaciones con menor altitud a los 500 msnm son las que aparecen con una mayor frecuencia a los eventos secos.

En el departamento de Morazan ocurre lo mismo que para San Miguel, pues las estaciones con una altitud menor a los 500 msnm son las que presentan una mayor frecuencia a la ocurrencia de períodos secos. Y para este departamento se encuentra que el mes con mayor frecuencia es agosto, seguido por julio y por último mayo.

4.3 Frecuencia de ocurrencia de eventos secos anuales en porcentaje

Tabla 4: Frecuencia de ocurrencia porcentual de episodios de sequía anual. Departamentos de Cabañas, San Vicente y La Paz, para 1971-2014

Departamento	Cabañas			San Vicente					La Paz		
	B-03	B-05	B-08	V-03	V-04	V-10	V-06	V-16	P-03	P-08	P-16
Alitud (m)	110	360	850	840	1320	520	30	35	100	90	26
Año											
1971	8.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1972	0.00	0.00	0.00	13.83	13.83	13.83	20.83	20.83	5.67	5.67	5.67
1973	0.00	0.00	0.00	27.50	27.50	27.50	16.67	16.67	0.00	0.00	0.00
1974	0.00	8.33	8.33	5.67	5.67	5.67	0.00	0.00	4.25	4.25	4.25
1975	0.00	66.67	66.67	16.67	16.67	16.67	20.83	20.83	38.83	38.83	38.83
1976	4.17	8.33	8.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	25.00	25.00	25.00
1977	4.17	100.00	100.00	0.00	0.00	0.00	DI	DI	29.80	29.80	29.80
1978	12.50	100.00	100.00	54.50	54.50	54.50	DI	DI	19.44	19.44	19.44
1979	0.00	50.00	50.00	50.20	50.20	50.20	DI	DI	0.00	0.00	0.00
1980	0.00	DI	DI	0.00	0.00	0.00	DI	DI	0.00	0.00	0.00
1981	DI	DI	DI	0.00	0.00	0.00	DI	DI	0.00	0.00	0.00
1982	0.00	DI	DI	5.67	5.67	5.67	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1983	0.00	100.00	100.00	33.00	33.00	33.00	45.83	45.83	27.83	27.83	27.83
1984	18.75	DI	DI	46.60	46.60	46.60	DI	DI	70.20	70.20	70.20
1985	33.33	80.00	80.00	64.17	64.17	64.17	50.00	50.00	97.17	97.17	97.17
1986	0.00	0.00	0.00	58.50	58.50	58.50	DI	DI	100.00	100.00	100.00
1987	0.00	0.00	0.00	44.33	44.33	44.33	58.33	58.33	100.00	100.00	100.00
1988	0.00	0.00	0.00	55.67	55.67	55.67	62.50	62.50	97.17	97.17	97.17
1989	0.00	0.00	0.00	33.00	33.00	33.00	29.17	29.17	27.83	27.83	27.83
1990	0.00	0.00	0.00	16.83	16.83	16.83	DI	DI	0.00	0.00	0.00
1991	0.00	0.00	0.00	33.00	33.00	33.00	79.17	79.17	0.00	0.00	0.00
1992	62.50	100.00	100.00	DI	DI	DI	DI	DI	DI	DI	DI
1993	0.00	0.00	0.00	33.00	33.00	33.00	54.17	54.17	DI	DI	DI
1994	0.00	0.00	0.00	94.50	94.50	94.50	100.00	100.00	91.67	91.67	91.67
1995	DI	60.00	60.00	83.33	83.33	83.33	75.00	75.00	100.00	100.00	100.00
1996	0.00	0.00	0.00	14.00	14.00	14.00	50.00	50.00	80.67	80.67	80.67
1997	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	45.83	45.83	50.17	50.17	50.17
1998	4.17	41.67	41.67	19.33	19.33	19.33	45.83	45.83	50.00	50.00	50.00
1999	0.00	8.33	8.33	19.50	19.50	19.50	8.33	8.33	44.50	44.50	44.50
2000	0.00	50.00	50.00	52.83	52.83	52.83	8.33	8.33	0.00	0.00	0.00
2001	16.67	100.00	100.00	67.00	67.00	67.00	83.33	83.33	DI	DI	DI
2002	0.00	83.33	83.33	47.17	47.17	47.17	62.50	62.50	DI	DI	DI
2003	12.50	91.67	91.67	35.83	35.83	35.83	50.00	50.00	33.00	33.00	33.00
2004	45.83	DI	DI	33.00	33.00	33.00	91.67	91.67	16.67	16.67	16.67
2005	25.00	DI	DI	19.33	19.33	19.33	20.83	20.83	0.00	0.00	0.00
2006	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2007	100.00	DI	DI	0.00	0.00	0.00	8.33	8.33	0.00	0.00	0.00
2008	100.00	DI	DI	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2009	75.00	0.00	0.00	16.60	16.60	16.60	29.17	29.17	0.00	0.00	0.00
2010	12.50	0.00	0.00	5.50	5.50	5.50	12.50	12.50	0.00	0.00	0.00
2011	54.17	25.00	25.00	8.33	8.33	8.33	8.33	8.33	24.83	24.83	24.83
2012	100.00	0.00	0.00	19.33	19.33	19.33	0.00	0.00	8.33	8.33	8.33
2013	100.00	0.00	0.00	38.67	38.67	38.67	50.00	50.00	33.00	33.00	33.00
2014	100.00	0.00	0.00	33.00	33.00	33.00	37.50	37.50	33.00	33.00	33.00

Tabla 5: Frecuencia de ocurrencia porcentual de episodios de sequía anual. Departamentos de La Unión, Usulután para 1971-2014

Departamento	La Union					Usulután							
Índice	N-06	N-11	N-09	N-10	N-15	U-04	U-14	U-10	U-11	U-23	U-08	U-09	U-24
Altitud (m)	85	460	5	30	95	75	2	5	75	45	550	610	548
Año													
1971	12.50		2.83			12.50			0.00			8.33	
1972	50.00		16.67			33.33			11.17			64.00	
1973	54.17		11.17			20.83			2.83			61.00	
1974	4.17		2.83			0.00			0.00			16.67	
1975	4.17		0.00			33.33			19.33			58.33	
1976	16.67		39.00			0.00			16.67			19.33	
1977	90.00		74.83			12.50			30.33			36.00	
1978	100.00		80.50			16.67			19.50			36.00	
1979	75.00		10.00			0.00			0.00			0.00	
1980	40.00		0.00			0.00			0.00			0.00	
1981	DI		0.00			0.00			0.00			3.40	
1982	18.75		27.83			8.33			0.00			16.67	
1983	15.00		86.00			100.00			75.00			91.67	
1984	DI		58.67			100.00			95.75			100.00	
1985	DI		64.17			100.00			100.00			100.00	
1986	DI		67.00			100.00			DI			41.50	
1987	DI		67.00			66.67			DI			58.17	
1988	DI		39.00			33.33			DI			77.67	
1989	DI		0.00			0.00			DI			DI	
1990	DI		8.33			0.00			DI			0.00	
1991	DI		11.17			54.17			DI			19.50	
1992	DI		39.00			100.00			DI			73.40	
1993	DI		11.00			62.50			100.00			72.00	
1994	41.67		55.67			196.00			100.00			94.50	
1995	37.50		22.17			62.50			97.17			44.50	
1996	0.00		0.00			0.00			30.67			0.00	
1997	8.33		19.33			20.83			0.00			27.67	
1998	29.17		33.33			37.50			16.67			38.83	
1999	0.00		0.00			0.00			0.00			2.83	
2000	0.00		0.00			0.00			0.00			0.00	
2001	45.83		49.83			20.83			13.83			11.17	
2002	87.50		47.17			4.17			5.50			47.17	
2003	29.17		52.83			0.00			0.00			39.00	
2004	4.17		88.67			0.00			2.83			44.50	
2005	0.00		5.50			0.00			0.00			2.83	
2006	8.33		14.00			0.00			0.00			0.00	
2007	41.67		DI			16.67			8.33			11.17	
2008	8.33		DI			0.00			0.00			0.00	
2009	41.67		DI			0.00			14.00			30.67	
2010	8.33		DI			0.00			5.50			16.67	
2011	0.00		DI			DI			0.00			41.50	
2012	8.33		DI			0.00			0.00			2.83	
2013	70.83		DI			20.83			0.00			27.67	
2014	80.00		DI			37.50			13.83			22.17	

Tabla 6: Frecuencia de ocurrencia porcentual de episodios de sequía anual.
Departamentos de San Miguel y Morazán para 1971-2014

Departamento	San Miguel							Morazán			
Índice	M-04	M-05	M-23	M-07	M-15	M-16	M-18	Z-08	Z-12	Z-13	Z-09
Altitud (m)											
Año	675	860	1370	330	140	180	195	560	770	820	465
1971		0.00				0.00			0.00		0.00
1972		1.67				2.17			0.00		33.33
1973		22.17				0.00			0.00		16.67
1974		0.00				4.17			0.00		8.33
1975		0.00				14.83			8.33		41.67
1976		0.00				9.67			33.33		0.00
1977		14.00				74.33			64.17		41.67
1978		52.83				100.00			67.00		83.33
1979		3.40				100.00			63.60		70.00
1980		0.00				68.83			DI		DI
1981		0.00				25.00			DI		DI
1982		0.00				20.83			DI		DI
1983		5.67				25.00			DI		DI
1984		16.75				22.83			DI		DI
1985		DI				DI			DI		DI
1986		83.50				42.40			DI		DI
1987		DI				DI			DI		DI
1988		DI				DI			DI		DI
1989		DI				DI			DI		DI
1990		DI				DI			DI		DI
1991		DI				DI			DI		DI
1992		DI				DI			DI		DI
1993		67.00				35.50			DI		DI
1994		67.00				56.33			50.00		37.5
1995		67.00				64.50			30.67		100.00
1996		47.17				2.17			16.50		16.67
1997		52.83				50.00			27.50		16.67
1998		61.33				70.83			44.33		16.67
1999		24.83				10.50			33.00		0.00
2000		0.00				0.00			13.83		0.00
2001		8.33				22.83			8.50		83.33
2002		36.17				33.33			47.00		100.00
2003		41.83				25.00			46.60		100.00
2004		55.67				27.00			72.00		91.67
2005		61.33				41.67			44.17		25.00
2006		50.00				37.50			33.00		0.00
2007		61.33				30.00			33.00		0.00
2008		DI				DI			33.00		0.00
2009		19.33				6.50			14.00		0.00
2010		2.83				2.17			2.83		0.00
2011		8.33				8.33			5.67		0.00
2012		0.00				0.00			0.00		0.00
2013		5.50				2.17			27.67		0.00
2014		33.00				61.17			11.00		66.67

La tabla de frecuencia de sequía por años muestra el porcentaje de eventos secos por quinquena de días que ocurrieron cada año de la serie de datos estudiada, según cada estación o grupo de estaciones, con su respectiva elevación.

Departamento de Cabañas.

Se encontró que para las estaciones B-03 y B-05 los años con mayor porcentaje de eventos secos estudiadas fueron los períodos desde 2007 hasta 2009; años para los cuales, el porcentaje de eventos secos fue de 100 %. Mas adelante se manifestó otro período de 3 años con 100 % de sequías, el cual comenzó en 2012 hasta 2014. Para la estación B-08 con una elevación de 850 msnm se presentan varios años con un porcentaje de sequías del 100 % como es el caso de 1977 y 1978, 1983 y 1985 con un 80 %, también el año de 1992; luego se manifestó otro período de tres años consecutivos con un porcentaje mayor a 75 % desde 2001 hasta 2003.

Departamento de San Vicente.

Para el departamento de San Vicente, se tienen dos grupos de estaciones representativas. En primer lugar están las estaciones V-03, V-04 y V-10 con una elevación mayor a los 500 msnm, para las cuales los años de 1978 y 1979, 1985 y 1986, 1988, 2000 y 2001 presentan un porcentaje de eventos secos de 50-75 %. Solamente se encuentran dos años con porcentajes superior al 75 %, los cuales son 1994 y 1995. Luego, se tiene el segundo grupo de estaciones, V-06 y V-16 con una elevación inferior a los 100 msnm. Para este grupo de estaciones, los años 1985, 1987, 1988, 1993, 2002, 2003, y 2013, presentan un porcentaje de sequías de un 50-75 %. Luego se tiene que los años 1991, 1994-1995, 2001 y 2004, presentan un porcentaje de 75-100 % de sequías.

Departamento de La Paz.

El departamento de La Paz solo se compone de un grupo de estaciones representativas con una elevación menor a los 500 msnm. Para este grupo de estaciones se observa que solo los años 1984, 1997 y 1998 presentaron un porcentaje del 50-75 %. También se observa un período de cuatro años desde 1985-1988 con porcentaje 75-100 %, al igual que otro período de tres años desde 1994 hasta 1996 con este mismo porcentaje.

Departamento de la Unión.

Para este departamento se tienen dos grupos de estaciones, la primera N-06 y N-11 con elevación menor a los 500 msnm; para las cuales los años 1972-1973, 2008 y 2013 presentan porcentajes de 50-75 %. Luego se tiene un período de tres años desde el 1977 hasta 1979, así como 2002 y 2014 con porcentajes de 75-100% de eventos secos. El otro grupo de estaciones N-09, N-10 y N-15 muestra los años 1977-1978, 1983 y 2004 con porcentajes 75-100. Luego aparece un período desde el 1984 hasta 1987, y también los años 1994 y 2003 con porcentajes de un 50-75.

Departamento de Usulután.

Para las estaciones U-04 y U-14 con elevaciones inferiores a los 100 msnm se tiene dos períodos secos con porcentajes del 75 al 100 por ciento de eventos secos, los cuales son: 1983 hasta 1986 y luego el año 1992. Para las estaciones U-10, U-11 y U-23 con elevaciones menores también que los 500 msnm, se observaron solamente dos períodos con porcentajes del 75-100 % de sequías; los cuales son: 1983-1985 y 1993-1995. Para el grupo de estaciones U-08, U-09 y U-24 se muestran los años 1972, 1973, 1975, 1987 y 1992, 1993 con porcentajes del 50-75 %. Se observa también un período de tres años

consecutivos desde 1983 hasta 1985, y luego los años 1988 y 1994 con porcentajes del 75-100 %.

Departamento de San Miguel.

Las estaciones M-07, M-15 y M-16 y M-18 con elevaciones menores a los 500 msnm se observó el período de 1977 hasta 1979 con porcentajes del 75-100 % de eventos secos. Con porcentajes del 50-75 % solo se observan los años 1980, 1994, 1995, 1997 y 1998 y 2014. Para las estaciones M-04, M-05 y M-23 se observó solo 1986 con porcentaje del 83.50 % de sequías; y los años 1978, 1993-1995 y 1997-1998, así como 2004-2007, presentaron porcentajes de eventos secos de un 50-75 %.

Departamento de Morazan.

Para las estaciones Z-08, Z-12 y Z-13 con elevaciones mayores a los 500 msnm se observó un período de tres años desde 1977 hasta 1979, al igual que 1994 y 2004 con porcentajes del 50-75 % de sequías. Para la estación Z-09 con una elevación inferior a los 500 msnm se observa el año 1978, 1995; así como el período desde 2001 hasta 2004 con porcentajes 75-100 % de eventos secos. Solo se observan dos años, 1979 y 2014 con porcentajes del 50-75 % de sequías.

De la tabla de frecuencias de sequía por año se observa un período de tres años con un porcentaje alto de eventos secos, es decir del 50 al 100 %; que ocurrió en los años de 1983 a 1985; este período seco se observó para los departamentos de Cabañas, La Paz, La Unión y Usulután simultáneamente, con un mayor énfasis en el departamento de Usulután.

También se observa otro período de tres años con porcentajes de sequías del 50-100 %; para los años de 1977 a 1979, en los departamentos de Cabañas, La Unión, San Miguel y Morazan, con mayor realce en los departamentos de La Unión y San Miguel. Luego aparece otro período de dos años con porcentaje del 50-100 % de eventos secos para los años de 1994 a 1995; ocurrido en los departamentos de San Vicente, La Paz, Usulután, San Miguel; más acentuado en San Vicente y La Paz.

4.4 Magnitud de anomalías de sequía mensuales

Tabla 7: Magnitud de anomalías de sequía mensual en porcentaje para los departamentos de Cabañas, San Vicente, La Paz y La Unión de 1971-2014.

Departamento	Estaciones	Elevación	Mes	Frecuencia en %
Cabañas	B-03	110	Mayo	-8.55%
			Junio	14.43%
			Julio	1.02%
	B-05	360	Agosto	12.99%
			Septiembre	25.10%
			Octubre	-11.65%
	B-08	850	Mayo	-8.27%
			Junio	13.14%
			Julio	-1.28%
			Agosto	18.42%
			Septiembre	25.93%
	San Vicente	V-03	840	Mayo
Junio				15.42%
V-04		1320	Julio	-0.89%
			Agosto	17.63%
V-10		520	Septiembre	35.48%
			Octubre	-1.64%
V-06		30	Mayo	-19.65%
			Junio	13.81%
			Julio	1.12%
V-16		35	Agosto	21.44%
	Septiembre		27.37%	
	Octubre		-0.14%	
La Paz	P-03	100	Mayo	-23.95%
			Junio	9.56%
	P-08	90	Julio	2.07%
			Agosto	20.95%
	P-16	26	Septiembre	35.26%
			Octubre	8.60%
La Union	N-06	85	Mayo	4.30%
			Junio	9.33%
			Julio	-19.52%
	N-11	460	Agosto	4.48%
			Septiembre	49.19%
			Octubre	19.22%
	N-09	5	Mayo	5.03%
			Junio	26.70%
	N-10	30	Julio	-13.05%
			Agosto	10.55%
N-15	95	Septiembre	71.08%	
		Octubre	14.57%	

Tabla 8: Magnitud de anomalías de sequía mensual en porcentaje para los departamentos de Usulután, San Miguel y Morazán, de 1971-2014.

Departamento	Estaciones	Elevación	Mes	Frecuencia en %
Usulután	U-04	75	Mayo	-10.78%
			Junio	22.09%
			Julio	-2.74%
	U-14	2	Agosto	17.40%
			Septiembre	55.04%
			Octubre	21.79%
	U-10	5	Mayo	-15.77%
			Junio	19.79%
	U-11	75	Julio	-5.78%
			Agosto	21.85%
	U-23	45	Septiembre	44.54%
			Octubre	23.97%
	U-08	550	Mayo	-10.08%
			Junio	18.52%
U-09	610	Julio	-10.56%	
		Agosto	15.60%	
U-24	548	Septiembre	45.85%	
		Octubre	19.48%	
San Miguel	M-04	675	Mayo	-6.52%
			Junio	8.06%
	M-05	860	Julio	-15.22%
			Agosto	11.04%
	M-23	1370	Septiembre	41.17%
			Octubre	4.87%
	M-07	330	Mayo	-10.22%
			Junio	9.89%
M-15	140	Julio	-7.15%	
		Agosto	11.72%	
M-16	180	Septiembre	32.69%	
M-18	195	Octubre	2.63%	
Morazán	Z-08	560	Mayo	-0.93%
			Junio	16.32%
	Z-12	770	Julio	-15.41%
			Agosto	11.37%
	Z-13	820	Septiembre	47.08%
			Octubre	14.35%
	Z-09	465	Mayo	-0.07%
			Junio	14.02%
Julio			-10.85%	
Agosto			7.43%	
Septiembre			33.00%	
		Octubre	0.57%	

El comportamiento de los meses de la época lluviosa de la serie temporal en estudio relacionados con la magnitud de eventos secos se presenta la tabla 7.

El departamento de Cabañas presenta magnitudes significativas en el mes de mayo (-8.41% en promedio) y octubre (-9.61 en promedio), independiente de su altitud, con una leve anomalía (-1.28%) en el mes de julio para alturas mayores a los 500 metros.

El departamento de San Vicente presenta eventos secos de mayor magnitud en el mes de mayo (-17.82% en promedio) y de menor magnitud en agosto (-0.89%) independientemente de la altitud y en julio (-0.89%) para alturas mayores a 500 metros.

Para el departamento de La Paz se visualiza únicamente que en mayo se tiene una magnitud negativa, promedio de -23.95% para los eventos secos correspondientes. Vale aclarar que en dicho departamento solo se han analizado estaciones ubicadas por debajo de 500 metros de altitud.

El departamento de Usulután presenta eventos secos de mayor magnitud en el mes de mayo (-12.21% en promedio) y de menor magnitud en julio (-6.36% en promedio) independientemente de la altitud.

San Miguel presenta eventos secos de mayor magnitud en el mes de julio (-11.18% en promedio) y de menor magnitud en mayo (-8.37% en promedio) independientemente de la altitud.

Morazán presenta eventos secos de mayor magnitud en el mes de julio (-13.13% en promedio) y de menor magnitud en mayo (-0.50% en promedio) independientemente de la altitud.

Para el departamento de La Unión se visualiza únicamente que en julio se tiene una magnitud negativa, promedio de -16.28% para los eventos secos correspondientes. Vale aclarar que en dicho departamento solo se han analizado estaciones ubicadas por debajo de 500 metros de altitud.

4.5 Magnitud de anomalías de sequía anual

Tabla 9: Magnitud de anomalías de sequía anuales para los departamentos de Cabañas, San Vicente y La Paz

Departamento	Cabañas			San Vicente					La Paz			
	Índice	B-03	B-05	B-08	V-03	V-04	V-10	V-06	V-16	P-03	P-08	P-16
Altitud (m)												
Año	110	360	850	840	1320	520	30	35	100	90	26	
1971	6.80%		0.56%		7.15%		12.13%		24.78%			
1972	4.69%		12.63%		-1.29%		-4.03%		-11.12%			
1973	20.94%		35.90%		5.81%		13.37%		21.58%			
1974	0.15%		-25.85%		-4.80%		-2.47%		-38.79%			
1975	30.74%		13.13%		10.43%		10.22%		16.28%			
1976	21.35%		-14.94%		5.51%		0.04%		-18.57%			
1977	22.67%		-13.62%		5.90%		DI		22.28%			
1978	14.78%		13.28%		3.59%		DI		23.51%			
1979	21.30%		15.90%		16.32%		DI		31.33%			
1980	DI		DI		17.28%		DI		9.24%			
1981	DI		DI		15.61%		DI		6.38%			
1982	DI		DI		1.23%		16.50%		10.15%			
1983	DI		-7.15%		-2.65%		-4.70%		-20.68%			
1984	-12.54%		DI		2.41%		DI		-11.44%			
1985	-2.44%		0.81%		-8.94%		-14.44%		-19.04%			
1986	DI		DI		5.98%		DI		-2.13%			
1987	DI		DI		-6.98%		-10.23%		-16.46%			
1988	DI		DI		5.87%		24.43%		33.30%			
1989	DI		DI		3.49%		5.58%		41.24%			
1990	DI		DI		9.35%		DI		13.00%			
1991	DI		DI		-7.89%		-11.61%		-16.17%			
1992	5.88%		-3.96%		DI		DI		DI			
1993	DI		DI		3.46%		8.02%		DI			
1994	DI		DI		-19.45%		-16.45%		-29.96%			
1995	18.25%		22.90%		7.14%		12.11%		6.63%			
1996	22.55%		11.87%		51.35%		15.30%		27.19%			
1997	4.33%		-4.54%		-1.25%		-4.16%		-19.29%			
1998	4.96%		-11.78%		18.92%		15.94%		12.47%			
1999	1.91%		2.32%		-6.15%		10.15%		25.72%			
2000	6.67%		-8.07%		-9.89%		1.58%		35.39%			
2001	-4.58%		-3.73%		0.53%		-11.20%		DI			
2002	9.33%		13.47%		6.17%		2.61%		DI			
2003	-7.64%		-11.53%		18.66%		9.41%		7.84%			
2004	-9.27%		DI		2.45%		-12.23%		27.18%			
2005	24.29%		DI		68.72%		51.63%		51.75%			
2006	-9.83%		87.32%		12.46%		7.33%		15.85%			
2007	-8.63%		DI		4.95%		12.62%		4.47%			
2008	-2.79%		30.56%		26.80%		41.12%		28.03%			
2009	-2.11%		-12.46%		-6.49%		-14.32%		-13.39%			
2010	19.57%		42.91%		40.90%		39.09%		48.04%			
2011	-9.96%		2.67%		47.82%		31.03%		29.67%			
2012	-10.98%		29.63%		-13.18%		-13.74%		-4.79%			
2013	-11.16%		0.77%		-4.25%		-4.81%		10.42%			
2014	4.64%		3.38%		8.36%		5.54%		9.19%			

Tabla 10: Magnitud de anomalías de sequía anuales para La Unión y la Usulután

Departamento	La Union					Usulután							
Índice	N-06	N-11	N-09	N-10	N-15	U-04	U-14	U-10	U-11	U-23	U-08	U-09	U-24
Altitud (m)													
Año	85	460	5	30	95	75	2	5	75	45	550	610	548
1971	14.78%		14.17%			-1.14%		3.37%			-0.33%		
1972	-19.00%		7.95%			-1.86%		-7.16%			-25.43%		
1973	40.00%		32.80%			52.69%		45.26%			38.96%		
1974	-4.16%		40.19%			18.47%		16.30%			6.23%		
1975	15.50%		26.52%			9.44%		11.45%			10.53%		
1976	-5.19%		-3.61%			-3.95%		2.03%			-5.74%		
1977	-34.50%		-12.62%			17.58%		2.78%			-3.88%		
1978	12.06%		21.49%			31.57%		22.28%			28.16%		
1979	14.32%		42.75%			57.65%		35.39%			40.32%		
1980	43.50%		42.35%			16.88%		19.06%			12.43%		
1981	DI		46.77%			17.68%		8.51%			15.20%		
1982	3.51%		-2.99%			3.66%		-1.95%			23.29%		
1983	1.82%		-10.35%			-33.02%		-18.75%			-20.82%		
1984	DI		19.68%			9.36%		-14.04%			10.65%		
1985	DI		-8.56%			-22.29%		-23.73%			-3.93%		
1986	DI		-6.40%			7.01%		DI			11.10%		
1987	DI		-14.25%			37.15%		DI			-14.76%		
1988	DI		78.55%			44.33%		DI			44.42%		
1989	DI		56.70%			24.73%		DI			DI		
1990	DI		11.50%			-8.17%		DI			7.29%		
1991	DI		6.83%			-16.52%		DI			-8.13%		
1992	DI		-7.48%			4.85%		DI			1.06%		
1993	DI		32.24%			17.12%		24.01%			-4.35%		
1994	-3.50%		-8.30%			-14.51%		-10.01%			-12.33%		
1995	61.11%		48.22%			39.71%		28.52%			43.61%		
1996	42.16%		47.03%			40.26%		43.95%			32.18%		
1997	-5.66%		-5.47%			-9.36%		1.09%			-14.70%		
1998	26.32%		50.29%			39.85%		49.79%			33.70%		
1999	9.82%		41.48%			26.12%		-1.17%			27.87%		
2000	15.41%		29.56%			10.86%		7.67%			14.62%		
2001	-9.04%		-11.11%			-5.22%		-0.41%			-2.87%		
2002	-4.95%		-11.65%			15.56%		24.84%			-5.10%		
2003	32.55%		21.36%			13.84%		15.28%			14.95%		
2004	-5.71%		10.71%			15.65%		8.29%			-7.72%		
2005	8.60%		51.87%			36.47%		63.69%			64.30%		
2006	10.10%		1.76%			27.15%		22.69%			10.91%		
2007	-0.23%		DI			31.83%		33.36%			37.07%		
2008	25.92%		DI			68.58%		67.04%			43.99%		
2009	-24.26%		DI			-14.97%		-30.47%			-28.86%		
2010	39.55%		DI			81.14%		78.77%			89.70%		
2011	52.02%		DI			DI		60.85%			69.05%		
2012	4.98%		DI			-7.50%		-5.64%			5.23%		
2013	-28.58%		DI			-7.97%		0.87%			-1.58%		
2014	35.06%		DI			9.68%		3.83%			2.75%		

Tabla 11: Magnitud de anomalías de sequía anuales para San Miguel y Morazán

Departamento	San Miguel							Morazán			
Índice	M-04	M-05	M-23	M-07	M-15	M-16	M-18	Z-08	Z-12	Z-13	Z-09
Altitud (m)											
Año	675	860	1370	330	140	180	195	560	770	820	465
1971		13.23%			10.31%			22.92%			28.62%
1972		-7.96%			-5.16%			-14.88%			-17.45%
1973		18.71%			27.71%			50.54%			30.70%
1974		0.19%			4.64%			-3.66%			-7.76%
1975		18.28%			12.59%			5.20%			8.89%
1976		1.34%			-11.67%			-2.40%			0.83%
1977		-8.61%			-29.72%			-13.39%			0.03%
1978		14.75%			4.80%			0.12%			3.69%
1979		12.88%			8.05%			10.45%			-4.75%
1980		23.89%			18.54%			DI			DI
1981		31.43%			19.04%			DI			DI
1982		14.08%			3.96%			DI			DI
1983		-7.20%			-11.25%			DI			DI
1984		-6.34%			3.34%			DI			DI
1985		DI			DI			DI			DI
1986		-14.02%			-9.47%			DI			DI
1987		DI			DI			DI			DI
1988		DI			DI			DI			DI
1989		DI			DI			DI			DI
1990		DI			DI			DI			DI
1991		DI			DI			DI			DI
1992		DI			DI			DI			DI
1993		-3.60%			1.00%			1.06%			DI
1994		-13.32%			-4.26%			0.14%			-20.74%
1995		21.76%			18.64%			25.46%			3.26%
1996		26.95%			16.25%			1.13%			19.21%
1997		-19.34%			-18.29%			-12.72%			-12.32%
1998		16.63%			26.52%			10.86%			11.23%
1999		40.28%			28.11%			51.59%			8.50%
2000		25.03%			25.61%			17.77%			14.37%
2001		-14.09%			-0.02%			-2.74%			-18.31%
2002		-13.12%			10.48%			-4.01%			-14.13%
2003		7.51%			3.29%			13.56%			20.51%
2004		-1.53%			3.21%			-15.36%			3.45%
2005		-27.10%			15.90%			22.92%			29.13%
2006		0.91%			4.84%			27.88%			14.39%
2007		15.60%			34.55%			33.63%			14.22%
2008		DI			DI			29.76%			16.85%
2009		-5.48%			-0.48%			-7.54%			6.44%
2010		23.20%			9.26%			62.67%			44.00%
2011		14.68%			9.54%			53.25%			19.34%
2012		5.14%			3.14%			-2.21%			20.44%
2013		7.48%			-6.62%			4.19%			1.24%
2014		-6.58%			-4.79%			13.03%			-14.85%

Las tablas 9, 10 y 11 representan la magnitud sequía anual para cada estación, calculada a partir de las anomalías porcentuales. Las anomalía negativa representa un déficit en las precipitaciones con respecto al promedio anual histórico. Las celdas donde aparece DI representan años con datos insuficientes.

Según la información mostrada en estas tablas se observa que los años que presentan una mayor magnitud de sequía pluviométrica para la mayoría de los departamentos estudiados son: 1972 con un promedio de -10.05 %, 1974 con un promedio de -12.58 %, 1976 con un promedio de -7.70 %, 1983 con un promedio de -13.66 %, 1985 con un promedio de -13.42 %, 1994 con un promedio de -13.34 %, 1997 con un promedio de -11.56 %, 2001 con un promedio de -5.88 %, 2002 con un promedio de -8.12 %, 2009 con un promedio de -13.83% y 2012 con un promedio de -8.43 %.

Se observa que para los departamentos de San Vicente y La Paz ocurrieron 13 años con magnitudes de sequía significativas; de los cuales La Paz muestra que es un departamento en el que las magnitudes de eventos secos anuales son más acentuadas. También se puede apreciar que para el año de 1974 el departamento de Cabañas presenta una magnitud del -25.85 % de sequía de precipitación, y La Paz muestra una magnitud del -38.79 %.

Según las tablas de magnitudes de sequía, el departamento que presenta eventos secos con mayor magnitud es La Paz con un promedio porcentual del -15.71 %; esto indica que este departamento es uno de los más secos de la zona Paracentral.

Para el departamento de La Unión solo las estaciones N-06 y N-11 presentan cuatro años con magnitudes abajo del -15.0 %. Estas estaciones muestran en promedio un valor del -13.14 % de magnitud anual de toda la serie temporal. Las estaciones N-09, N-10 y N-15 presentan varios años con magnitudes segnificativas, pero con menor acentuación.

Usulután es uno de los departamentos que presenta la mayoría de años con magnitud de eventos secos mas frecuentes, esto es 16 años secos. En este departamento se visualizan tres años consecutivos desde 1983 hasta 1985, con magnitud de sequía abajo de -14 %.

4.5 Comparación entre eventos secos con episodios del fenómeno El Niño/La Niña

Tabla 12: Relación entre años con eventos secos y años con episodios El Niño/La Niña para Cabañas, San Vicente, La Paz y La Unión desde 1971 hasta 2014.

Departamento	Estaciones	Elevación	Evento	N° de Eventos	N° de Eventos Secos	Porcentaje	
Cabañas	B-03	110	Niño	44	9	20.45%	
			Niña	59	8	13.56%	
	B-05	360	SN	95	32	33.68%	
			Total	198	49	24.75%	
	B-08	850	Niño	38	13	34.21%	
			Niña	54	17	31.48%	
			SN	77	38	49.35%	
			Total	169	68	40.24%	
	San Vicente	V-03	840	Niño	58	15	25.86%
		V-04	1320	Niña	66	12	18.18%
V-10		520	SN	124	45	36.29%	
			Total	248	72	29.03%	
V-06		30	Niño	65	31	47.69%	
			Niña	66	11	16.67%	
V-16		35	SN	131	43	32.82%	
			Total	262	85	32.44%	
La Paz	P-03	100	Niño	58	14	24.14%	
	P-08	90	Niña	63	25	39.68%	
	P-16	26	SN	112	26	23.21%	
			Total	233	65	27.90%	
La Unión	N-06	85	Niño	45	17	37.78%	
			Niña	57	6	10.53%	
	N-11	460	SN	90	28	31.11%	
			Total	192	51	26.56%	
	N-09	5	Niño	59	28	47.46%	
	N-10	30	Niña	52	5	9.62%	
	N-15	95	SN	104	39	37.50%	
			Total	215	72	33.49%	

Tabla 13: Relación entre años con eventos secos y años con episodios El Niño/La Niña para Usulután, San Miguel y Morazán desde 1971-2014

Departamento	Estaciones	Elevación	Evento	N° de Eventos	N° de Eventos Secos	Porcentaje
Usulután	U-04	75	Niño	63	15	23.81%
			Niña	65	9	13.85%
	U-14	2	SN	127	33	25.98%
			Total	255	57	22.35%
	U-10	5	Niño	48	4	8.33%
	U-11	75	Niña	60	10	16.67%
	U-23	45	SN	109	26	23.85%
			Total	217	40	18.43%
	U-08	550	Niño	63	22	34.92%
	U-09	610	Niña	63	15	23.81%
	U-24	548	SN	123	33	26.83%
			Total	249	70	28.11%
San Miguel	M-04	675	Niño	49	16	32.65%
	M-05	860	Niña	59	14	23.73%
	M-23	1370	SN	112	33	29.46%
			Total	220	63	28.64%
	M-07	330	Niño	61	18	29.51%
	M-15	140	Niña	65	10	15.38%
	M-16	180	SN	130	46	35.38%
M-18	195	Total	256	74	28.91%	
Morazán	Z-08	560	Niño	41	16	39.02%
	Z-12	770	Niña	55	5	9.09%
	Z-13	820	SN	83	29	34.94%
			Total	179	50	27.93%
	Z-09	465	Niño	41	19	46.34%
			Niña	56	8	14.29%
			SN	82	30	36.59%
Total			179	57	31.84%	

Para establecer una relación entre períodos con eventos secos y episodios con fenómenos El Niño ó La Niña se han comparado el número de eventos secos que coinciden con el número de episodios El Niño ó La Niña para cada mes de la serie temporal. En las tablas anteriores SN significa “un período sin Niño ó sin Niña”

Según las estaciones B-03 y B-05, de los 44 episodios La Niña de los 44 años de la serie estudiada solo 9 eventos se dieron durante la aparición de este fenómeno y de los 59 episodios El Niño, solo 8 eventos secos se dieron durante El Niño. De los 95 eventos sin el fenómeno El Niño ó La Niña, 32 fueron eventos secos.

Para la estación B-08 hay un porcentaje del 49.35 % de eventos secos ocurridos para períodos sin episodios El Niño ó La Niña. En esta estación se han registrado 17 eventos secos durante la aparición de La Niña y solo 13 eventos secos para la aparición de El Niño.

En el departamento de San Vicente, para las estaciones V-03, V-04 y V-10 se observa que hay un 36.29 % de ocurrencia de eventos secos para períodos sin aparición de El Niño ó La Niña. De los 58 eventos con episodio El Niño, sólo 15 fueron eventos secos y de los 66 episodios La Niña solo 12 fueron secos.

Para las estaciones V-06 y V-16 ocurrieron 43 eventos secos sin aparición de El Niño/La Niña; de los 66 episodios La Niña, 11 fueron secos y de los 65 episodios El Niño, 31 fueron secos.

En el departamento de La Paz, de los 58 episodios El Niño, ocurrieron 14 eventos secos; de los 63 episodios La Niña, ocurrieron 25 eventos secos y ocurrieron 26 eventos secos durante períodos sin aparición de ningún fenómeno.

En el departamento de La Unión, para las estaciones N-06 y N-11, se observa que de los 45 episodios El Niño ocurrieron 17 eventos secos y de los 57 episodios La Niña se dieron 6 eventos secos; y de los 90 eventos sin EL Niño ó La Niña, 28 fueron eventos secos.

Para las estaciones N-09, N-10 y N-15 se observa que de los 59 episodios El Niño ocurrieron 28 eventos secos, de los 52 episodios La Niña ocurrieron 5 eventos secos y de los 104 episodios sin aparición de fenómenos El Niño ó La Niña, se dieron 39 eventos secos.

En el departamento de Usulután, para las estaciones U-04 y U-14, de los 63 episodios El Niño ocurrieron 15 eventos secos, de los 65 episodios La Niña, se dieron 9 eventos secos, y de los 127 eventos sin fenómeno El Niño ó La Niña, 33 fueron eventos secos.

Para las estaciones U-10, U-11 y U-23, se observa que de los 48 episodios EL Niño ocurrieron 4 eventos secos, de los 60 episodios La Niña se dieron 10 eventos secos, y de los 109 eventos sin fenómeno, 26 fueron eventos secos.

Para las estaciones U-08, U-09 y U-24, se observa que de los 63 episodios EL Niño ocurrieron 22 eventos secos, de los 63 episodios La Niña se dieron 15 eventos secos, y de los 123 eventos sin fenómeno, 33 fueron eventos secos.

En el departamento de San Miguel, para las estaciones M-04, M-05 y M-23, se observa que de los 49 episodios El Niño ocurrieron 16 eventos secos, de los 59 episodios La Niña se dieron 14 eventos secos, y de los 112 eventos sin fenómeno, 33 fueron eventos secos.

Para las estaciones M-07, M-15, M-16 y M-18, se observa que de los 61 episodios El Niño ocurrieron 18 eventos secos, de los 65 episodios La Niña se dieron 10 eventos secos, y de los 130 eventos sin fenómeno, 46 fueron eventos secos.

En el departamento de Morazán, para las estaciones Z-08, Z-12 y Z-13, se observa que de los 41 episodios El Niño ocurrieron 16 eventos secos, de los 55 episodios La Niña se dieron 8 eventos secos, y de los 83 eventos sin fenómeno, 29 fueron eventos secos.

Para la estación Z-09, se observa que de los 41 episodios EL Niño ocurrieron 19 eventos secos, de los 56 episodios La Niña se dieron 8 eventos secos, y de los 83 eventos sin fenómeno, 30 fueron eventos secos.

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- El índice estandarizado de sequía pluviométrica, muestra que una de las características de la sequía meteorológica para el clima de la zonas oriental y paracentral del país, es que la mayoría de eventos secos que ocurren son de categoría moderada.
- La intensidad de los eventos de sequía no muestran un patrón definido, en cuanto a la altitud o la ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas. Esto muestra que el fenómeno de la sequía no es continuo en el tiempo y el espacio. Esto se respalda en el hecho de que en ocasiones, los índices de sequía para estaciones vecinas muestren diferentes intensidades.
- El mes que presenta una mayor frecuencia de ocurrencia de eventos secos para todos los departamentos de las zonas oriental y paracentral es agosto con un porcentaje promedio del 34.48 %; seguido de julio con un porcentaje del 31.03 % y en tercer lugar mayo con un porcentaje del 28.55 % de ocurrencia. De esta manera se observa que agosto es el mes más seco de la estación lluviosa.
- La frecuencia mensual con la que ocurren los eventos secos de las estaciones situadas a una altitud mayor a los 500 msnm es mayor que para las estaciones situadas a una altitud menor a los 500 msnm.

- La mayoría de los eventos secos ocurren en períodos en los cuales no hay presencia de los fenómenos El Niño ó La niña.
- Ocurren más eventos secos cuando hay presencia del fenómeno El Niño que cuando aparece un fenómeno de La Niña.
- Para los departamentos de Cabañas, San Vicente, La Paz y La Unión se registra una mayor ocurrencia de eventos secos para las zonas con una altitud menor a los 500 msnm que para las zonas con altitud mayor a los 500 msnm.
- En las zonas oriental y paracentral han ocurrido 3 años con anomalías negativas entre los años 1971 y 1980 (1972, 1976 y 1977), 3 años entre 1980 y 1990 (1983, 1985 y 1986); 2 años entre 1990 y 2000 (1994 y 1997); del 2000 al 2010 (2001 y 2009) se han presentado 2 años con anomalías negativas en promedio; y del 2010 al 2014 (2012 y 2013) se han presentado 2 años con anomalías negativas.
- El promedio de magnitud mensual para todas las estaciones indica que el mes de mayo y julio presentan anomalías negativas, es decir, el promedio de precipitaciones está por debajo de lo que se considera normal, esto es, con un -8.16% y -7.08% respectivamente. Lo anterior coincide con la distribución bimodal de las precipitaciones en la epoca lluviosa; donde se presentan dos máximos en los meses de Junio con una anomalia positiva del 14.13% y Septiembre con 38.21%

RECOMENDACIONES

- Este estudio sobre la sequía meteorológica se desarrolló para la zona oriental de El Salvador y los departamentos de Cabañas, San Vicente y La Paz. Para otros investigadores que deseen incursionar sobre este tema, se les recomienda abarcar las tres zonas del país, para obtener una perspectiva más amplia del fenómeno de la sequía
- Para desarrollar un estudio desde una perspectiva más completa de este fenómeno se deberían trabajar con otros parámetros para la caracterización de la sequía meteorológica, como la severidad, la velocidad de implantación; etc.
- Debido a que la sequía meteorológica es un fenómeno que se ve afectado por otras variables climáticas; resultaría muy apropiado estudiarla incorporando otros índices de sequía que incluyan otros parámetros climáticos como el caso de la evapotranspiración.
- Este estudio se desarrollo con el programa de Microsoft Excel. Para estudios posteriores relacionados a la sequía meteorológica ó a cualquier otra variable climatológica se recomienda trabajar con programas predeterminados que permitiría un procesamiento de datos más rápido.
- Para visualizar el comportamiento de la sequía desde un enfoque espacial, se debería trabajar con algún programa predeterminado ó crealo, que permita realizar mapas de sequía.

- Cuando se trabaje con datos climatológicos se recomienda implementar otros métodos de rellenado de datos, y evaluar los resultados. Debido a que los registros históricos de las estaciones meteorológicas se encuentran con muchos períodos carentes de información.

BIBLIOGRAFÍA

- Conde, M. y R. Guerrero. (1972). Estudio preliminar sobre las sequías en El Salvador. (En línea). Consultado el 15 de marzo de 2015.
- Magaña V., J. Amador and S. Medina. (1999). The Midsummer Drought over Mexico and Central America. *J. of Climate*, 12, 1577-1588.
- Nuñez, et al 2005. El índice estandarizado de precipitación como herramienta para la caracterización y el monitoreo de la sequía: una prueba de concepto.
- García, L., Rivas, P. T., Fernández W. (2003). Aspectos generales sobre la canícula y sus impactos en El Salvador. Pag: 1-6
- Valiente. (2001). Sequía: Definiciones, tipologías y métodos de cuantificación. Pag: 59-70
- Birkel. (2005). Sequía en Centroamérica: implementación metodológica espacial para la cuantificación de sequías en el golfo de Fonseca.

Glosario

Sequía: La sequía es una anomalía climatológica transitoria en la que la disponibilidad del agua se sitúa por debajo de lo habitual de un área geográfica.

Sequía meteorológica: Esta se produce cuando ocurre un período prolongado con menos precipitación que la media.

Sequía agrícola: Es la que afecta a la producción agrícola de cultivos o a la ecología del área biogeográfica.

Sequía hidrológica: Se produce cuando las reservas de agua disponibles en fuentes como acuíferos, ríos, lagos y presas caen por debajo de la media estadística.

Edáfico: Del suelo o relativo a él, especialmente en lo que se refiere a las plantas.

Meteorológico: De la meteorología o lo relativo a esta.

Orográfico: De la orografía o relativo a ella (la orografía es la parte de la geografía física que se dedica a la descripción de montañas). A través de sus representaciones cartográficas (mapas), es posible visualizar y estudiar el relieve de una región.

Bimodal: Frecuencia de distribución de datos que muestra dos picos (modos) distintos.

Canícula: La canícula, período canicular es la temporada del año en la cual el calor es más fuerte, tanto en el hemisferio sur como en el hemisferio norte.

Pluviométrico: Se refiere a aquello relacionada a las precipitaciones y su estudio.

Percolación: En física, química y ciencia de los materiales, se refiere al paso lento de los fluidos a través de materiales porosos.

Latitud: Es la distancia angular entre la línea ecuatorial (el ecuador), y un punto determinado de la tierra, medida a lo largo del meridiano en el que se encuentra dicho punto.

Evapotranspiración: Cantidad de agua del suelo que vuelve a la atmósfera como consecuencia de la evaporación y de la transpiración de las plantas.

Antrópico: Relativo al hombre o a lo antropogénico, esto es, a lo causado por el hombre.

Desertificación: Es un proceso de degradación ecológica en el que el suelo fértil y productivo pierde total o parcialmente el potencial de producción.

Fisiográfico: Relativo o perteneciente y alusivo a la fisiografía, como la parte de la geografía que trata acerca de la configuración de la tierra y del mar, formado del globo terráqueo incluido su relieve y la apariencia del terreno.

Tipología: La tipología es la ciencia que estudia los tipos o clases, la diferencia intuitiva y conceptual de las formas de modelo o de las formas básicas. La tipología se utiliza mucho en términos de estudios sistemáticos en diversos campos de estudio para definir diferentes categorías.

Confluencia: 1. Unión o concurrencia de dos o más elementos. 2. Lugar donde confluyen o se juntan los caminos, los ríos, etc.:

Estacional: De las estaciones del año o relativo a ellas:

Anticiclón: Un anticiclón es una zona atmosférica de alta presión, en la cual la presión atmosférica (corregida al nivel del mar) es superior a la del aire circundante.

Azores: Las Azores, oficialmente Región Autónoma de las Azores (en portugués: Região Autónoma dos Açores), es un grupo de nueve islas portuguesas situadas en medio del océano Atlántico, a unos 1400 km al oeste de Lisboa, y forman parte de la Macaronesia

Subsidente: En meteorología, subsidencia se refiere al movimiento descendente de aire frío de las capas superiores, descenso explicado, precisamente, por el aumento de densidad del aire al enfriarse.

Actividad Convectiva: Movimiento ascendente del aire provocado principalmente por el efecto de calentamiento que ocasiona la radiación solar en la superficie terrestre. Este fenómeno origina la formación de nubes de tipo cúmulos, que se pueden convertir en cumulonimbos si la convección es muy fuerte.

ANEXOS

Tabla 14: Estaciones meteorológicas con su índice, nombre y coordenadas geográficas

INDICE	NOMBRE	ELEVACIÓN	LATITUD	LONGITUD
B-03	VILLA DOLORES	110	13°46'48''	88°34'12''
B-05	SAN ISIDRO	360	13°50'12''	88°43'0''
B-08	VILLA VICTORIA	850	13°57'0''	88°38'30''
M-04	LOLOTIQUE	675	13°33'24''	88°21'12''
M-05	CIUDAD BARRIOS	860	13°45'54''	88°16'18.12''
M-07	SAN JORGE	330	13°25'6''	88°20'48''
M-15	BENEFICIO EL SITIO	140	13°30'6''	88°11'54''
M-16	CHAPELTIQUE	180	13°38'0''	88°16'0''
M-18	SESORI	195	13°42'48''	88°21'18''
M-23	CERRO CACAHUATIQUE(FINCA LAS NUBES)	1370	13°45'48''	88°13'54''
N-06	SANTA ROSA DE LIMA	85	13°37'36''	88°53'0''
N-09	HACIENDA CALLETANO	5	13°22'54''	88°54'24''
N-10	EL ENCANTADO (HACIENDA SAN RAMON)	30	13°11'30''	88°58'48''
N-11	YUCUAYQUIN	460	13°33'0''	88°00'12''
N-15	LA UNION	95	13°19'54''	88°52'54''
P-03	ROSARIO DE LA PAZ	100	13°30'6''	88°01'54''
P-08	BENEFICIO ENTRE RIOS	90	13°28'54''	88°50'42''
P-16	AEROPUERTO EL SALVADOR	26	13°26'24''	89°3'24.12''
U-04	USULUTAN	75	13°20'24''	88°26'18''
U-08	BENEFICIO SAN MAURICIO	550	13°26'24''	88°29'24''
U-09	HACIENDA SANTISIMA TRINIDAD	610	13°26'30''	88°31'12''
U-10	PUERTO EL TRIUNFO	5	13°16'24''	88°33'6''
U-11	BENEFICIO LA CANERA	75	13°19'48''	88°31'30''
U-14	PUERTO PARADA	2	13°15'12''	88°26'36''
U-23	HACIENDA NORMANDIA	45	13°21'42''	88°38'18''
U-24	HACIENDA SAN ROBERTO	548	13°26'24''	88°27'30''
V-03	HACIENDA SAN JACINTO	840	13°36'18''	88°52'54''
V-04	HACIENDA EL CARMEN	1320	13°36'42''	88°50'18''
V-06	SANTA CRUZ PORTILLO	30	13°26'24''	88°48'12''
V-10	SANTA CLARA	520	13°42'12''	88°43'48''
V-16	BENEFICIO ACAHUAPA	35	13°36'6''	88°37'0''
Z-08	OSICALA	560	13°48'24''	88°09'12''
Z-09	EL ROSARIO	465	13°51'54''	88°12'48''
Z-12	CERRO OCOTEPEQUE	770	13°44'0''	88°00'30''
Z-13	JOATECA	820	13°53'36''	88°02'36''

Tabla 15: Correlación entre estaciones meteorológicas cercanas

Estaciones correlacionadas		Correlación	Error %	Ecuación 1	Ecuación 2
B-05	B-08	$R^2 = 0.229$	42.0	$y = 0.456x + 72.92$	$y = 0.503x + 68.34$
B-03	B-05	$R^2 = 0.197$	41.4	$y = 0.499x + 68.87$	$y = 0.394x + 84.74$
P-03	P-16	$R^2 = 0.311$	37.6	$y = 0.618x + 42.92$	$y = 0.502x + 66.64$
P-08	V-06	$R^2 = 0.619$	39.1	$y = 0.742x + 31.59$	$y = 0.833x + 27.09$
V-03	V-04	$R^2 = 0.640$	37.9	$y = 0.603x + 62.12$	$y = 1.060x - 5.412$
U-11	U-23	$R^2 = 0.328$	39.2	$y = 0.454x + 42.00$	$y = 0.723x + 79.23$
U-10	U-11	$R^2 = 0.717$	36.8	$y = 0.889x + 20.85$	$y = 0.806x + 22.27$
V-10	V-16	$R^2 = 0.287$	42.2	$y = 0.519x + 65.87$	$y = 0.553x + 48.25$
U-4	U-14	$R^2 = 0.589$	42.9	$y = 0.787x + 35.84$	$y = 0.749x + 24.99$
U-08	U-09	$R^2 = 0.652$	35.1	$y = 0.813x + 36.32$	$y = 0.802x + 27.92$
U-08	U-24	$R^2 = 0.702$	33.0	$y = 0.760x + 46.22$	$y = 0.923x + 7.202$
N-06	N-11	$R^2 = 0.350$	50.8	$y = 0.600x + 51.39$	$y = 0.583x + 49.18$
N-09	N-15	$R^2 = 0.659$	38.9	$y = 0.782x + 29.78$	$y = 0.842x + 11.43$
N-10	N-15	$R^2 = 0.383$	41.0	$y = 0.547x + 42.92$	$y = 0.699x + 54.39$
Z-08	Z-13	$R^2 = 0.328$	46.9	$y = 0.669x + 62.15$	$y = 0.491x + 68.42$
Z-09	Z-08	$R^2 = 0.459$	28.6	$y = 0.737x + 42.66$	$y = 0.623x + 50.53$
M-07	U-24	$R^2 = 0.335$	43.2	$y = 0.732x + 75.34$	$y = 0.458x + 55.07$
M-15	M-04	$R^2 = 0.425$	45.9	$y = 0.741x + 37.25$	$y = 0.573x + 44.51$
M-05	M-23	$R^2 = 0.513$	31.4	$y = 0.758x + 49.04$	$y = 0.676x + 43.72$
M-04	M-16	$R^2 = 0.252$	34.7	$y = 0.424x + 62.84$	$y = 0.595x + 51.13$
M-05	M-18	$R^2 = 0.230$	54.6	$y = 0.359x + 70.97$	$y = 0.641x + 77.26$
Z-08	Z-12	$R^2 = 0.292$	70.2	$y = 0.991x + 58.96$	$y = 0.294x + 87.79$
			41.5		

