



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**PROGRAMA DE MAESTRIA Y DOCTORADO EN
INGENIERIA**

FACULTAD DE INGENIERIA

**EL EFECTO DE LA LONGITUD DE REGISTRO EN
EL CALCULO DEL INDICE DE PRECIPITACION
ESTANDAR**

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

**MAESTRO EN INGENIERIA
(HIDRAULICA)**

PRESENTA:

MORALES SALDIVAR JORGE ANTONIO



TUTOR:
DR. CARLOS ESCALANTE SANDOVAL

2005

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE: Dr. Jesús Gracia Sánchez

SECRETARIO: Dr. Carlos Escalante Sandoval.

VOCAL: Dra. Lilia Reyes Chávez.

1^{er} SUPLENTE: Dr. Paulo Salles Alfonso de Almeida.

2^o SUPLENTE: M. I. Víctor Franco

Ciudad Universitaria

**TUTOR DE TESIS
Dr. Carlos Escalante Sandoval**

FIRMA

*“... para un niño la lluvia es siempre magia
lo retiene entre rejas/ lo remansa
revela los secretos de los sueños
y lo vuelve curioso e incansable
niño sin lluvia es como huérfano
sin lluvia es como naufrago
sin lluvia es como en pena
por que la lluvia es la memoria
que el techo cielo envía generoso
o convulso o travieso
o simplemente aliado del invierno.”*

Mario Benedetti

A URI...

AGRADECIMIENTOS.

A Dios por todo lo que me ha sido dado...

A la personita que siempre ha estado conmigo, en las buenas y en las malas, por su paciencia, por su amor mi esposa Carolina...

A mis padres Alejandro e Isabel por su amor y ejemplo de fe...

A mis amigos de siempre, mis hermanos...

A los revisores técnicos de esta tesis: Dr. Jesús Gracia, Dra. Lilia Reyes, Dr. Paulo Salles, M. I. Víctor Franco por sus valiosos comentarios...

A mi tutor el Doctor Carlos Escalante por sus enseñanzas y por todo el apoyo recibido...

A mis maestros por su ejemplo: Dr. Ramón Domínguez, Dr. Gabriel Echavez, M. I. José Antonio Maza (†)...

A mis compañeros del postgrado...

A la Universidad Nacional Autónoma de México por formar gente comprometida con su país...

A los que creyeron en mí...

A los que no...

El agradecimiento final es para la personita que me dio el impulso para terminar este trabajo a quien dedico todo mi esfuerzo.

Mi hijo...

Uri...

INDICE

INTRODUCCION	6
CAPITULO UNO: LA SEQUÍA	8
1.0 ESCASEZ DE AGUA Y SEQUIA	8
1.0.1 Causas de la sequía	8
1.1 DEFINICIÓN DE SEQUIA	9
1.1.1 Clasificación de las sequías (Escalante y Reyes 2004)	11
1.2 TIPOS DE SEQUIA	12
1.2.1 Sequía meteorológica	12
1.2.2 Sequía hidrológica	13
1.2.3 Sequía agrícola	13
1.2.4 Sequía socio-económica	13
1.3 ANALISIS DE UNA SEQUIA	14
1.3.1 Condiciones Climáticas y Factores hidrológicos	14
1.3.2 Efectos Causados por el hombre	15
1.3.3 Condiciones del Suelo	15
1.4 IMPACTOS DE LA SEQUÍA	15
1.4.1 Usuarios de Agua directamente Afectados	15
1.4.2 Efectos Indirectos	17
1.4.3 Efectos Directos	18
1.5 MEDIDAS DE MITIGACIÓN	19
1.5.1 Valoración y Previsión de los fenómenos de Sequía	19
1.5.2 Métodos de prevención de sequías (Vermees 1998)	20
1.5.3 Instrumentos para reducir los daños (Vermees op. cit.)	21
1.5.4 Programas de mitigación a corto plazo (Wilhite, 1997)	24
1.5.5 Programas de mitigación a largo plazo	24
1.5.6 Evaluación posterior al periodo de sequía	32
CAPITULO DOS: INDICES DE SEQUÍAS	33
2.0 CARACTERIZACIÓN DE SEQUIAS	33
2.1 INDICES DE SEQUÍAS	33
2.1.1 Clasificación de índices de sequías	34

2.1.1.1	Porcentaje de Precipitación Normal	34
2.1.1.2	Variabilidad de la precipitación anual (Escalante y Reyes, op. cit.)	34
2.1.1.3	Deciles	35
2.1.1.4	Índice de Sequía de Palmer	35
2.1.1.5	Índice Palmer de Sequía Hidrológica (Escalante op. Cit.)	36
2.1.1.6	Índice de Suministro de Agua Superficial	37
2.1.1.7	Índice de reclamación de sequía	38
2.1.1.8	Índice de precipitación Estándar	39
2.1.1.9	Indicador de Aridez de Palfai (PAI) (Palfai, 1984)	40
2.1.1.10	Potencial Agro-Hidrológico (AHP) (Palfai et al., 1995)	42
CAPITULO TRES: EL EFECTO DE LA LONGITUD DE REGISTRO EN EL CÁLCULO DEL INDICE DE PRECIPITACIÓN ESTANDAR (SPI) (Wu. H.; et. al.; 2004)		43
3.0	INTRODUCCIÓN	43
3.1	ANTECEDENTES	43
3.2	METODOLOGIA	45
3.3	RESULTADOS	54
3.3.1	Comparación de índices de correlación y concordancia	54
3.3.2	Comparación de la consistencia de la categoría del evento	66
3.3.3	Comparación de los valores del SPI para años específicos	68
3.3.4	Comparación espacio-temporal de los valores del SPI	71
3.3.5	Razones por las cuales existe discrepancia en el valor del SPI	74
CAPITULO CUATRO: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		85
4.0	CONCLUSIONES	85
4.1	RECOMENDACIONES	90
BIBLIOGRAFIA		91
ANEXO A		93
AGRADECIMIENTOS		109

INTRODUCCION.

En esta tesis se pretende investigar el efecto de la longitud del registro de precipitación en el cálculo del Índice de Precipitación Estándar, como se verá mas adelante este indicador se utiliza a nivel mundial para caracterizar el fenómeno de la sequía.

En el capitulo uno se analizan los conceptos relacionados con el término “sequía”, ya que por su importancia, las sequías, de todos los desastres naturales, son las que tienen mayor impacto económico y pueden afectar al mayor número de personas, los terremotos y ciclones pueden tener un gran intensidad física pero son de duración corta y su impacto geográfico es limitado. El número de muertes ocasionadas por dichos desastres puede ser muy alto si resultan afectadas áreas densamente pobladas. En contraste, las sequías afectan grandes extensiones geográficas, llegando a cubrir países enteros o regiones de continentes, y pueden durar desde varios meses hasta varios años. Invariablemente, tienen un impacto directo y significativo sobre la producción alimentaria y la economía en general.

Tradicionalmente, la sequía, y en general los desastres ocasionados por fenómenos naturales, no han sido considerados como dignos de atención especial para los formuladores de las políticas gubernamentales de desarrollo. Los efectos negativos de la sequía son atendidos mayormente a través de medidas contingentes, lo cual parece sugerir que sus efectos son de tipo coyuntural y, por ende, no son un elemento a considerar para la elaboración de los planes de desarrollo.

En este capitulo se definirá, clasificará y se hará el análisis de la sequía, se describirán sus efectos y las formas de mitigarla.

Los efectos de la sequía, sin lugar a dudas, serán más duros sobre la población de extrema pobreza, principalmente en aquellos que no han podido fortalecer sus capacidades productivas por los efectos de su desarrollo.

Ante esta situación, el profundizar en conocer mas sobre el impacto de las sequías se hace imperante no solo desde el enfoque del manejo de los efectos sino más bien en el desarrollo de un Plan de Gestión del Riesgo de las Sequías, es decir, definir estrategias de prevención, mitigación y manejo del desastre.

El capitulo dos consta de una recopilación de los indicadores que se conocen y se utilizan con más frecuencia para expresar numéricamente la sequía.

Es conveniente puntualizar que, en la mayoría de los casos, no se utiliza un solo indicador, sino varios a la vez, para conseguir una mejor caracterización de la sequía o sequedad en una zona determinada. Existen varios indicadores que miden la desviación de las lluvias caídas en un período dado de tiempo, en relación con las precipitaciones medias históricas normales. Aunque ninguno de los indicadores principales es, en todas las circunstancias, intrínsecamente superior a los demás, sí es cierto que, para algunos casos, son mejores unos indicadores que otros. Por ejemplo, el Indicador de Intensidad de la Sequía de Palmer se ha utilizado mucho en el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos para determinar cuándo se debe conceder ayudas de socorro para la sequía; pero el Indicador Palmer se adapta mejor a zonas muy extensas, con topografía uniforme. Los estados del oeste de los Estados Unidos, que tienen un terreno montañoso y, por ello, unos microclimas regionales muy complejos, prefieren complementar el Indicador de Palmer con otros indicadores, como es el Indicador de Suministro de Aguas Superficiales, que tiene en cuenta la masa de nieve y otras condiciones únicas. El Centro Nacional para la Mitigación de la Sequía de los EE.UU. utiliza un indicador

recientemente desarrollado, el Índice de Precipitación Estándar, para hacer un seguimiento de las condiciones de humedad. Los rasgos distintivos de este indicador son que reconoce las sequías en fase de preparación, meses antes que el Indicador Palmer, y que se calcula en varias escalas de tiempo.

La lista que se presenta en el capítulo dista mucho de ser completa, y puede ser ampliada sobre la base de nueva información y de los resultados de los trabajos de investigación y desarrollo, en curso, en diferentes países.

En el capítulo tres se presenta la metodología para investigar el efecto de la longitud del registro de precipitación en el cálculo del Índice de Precipitación Estándar, se analizará a partir de los coeficientes de correlación lineal, el de Spearman, el de concordancia, y a través de la consistencia de la caracterización en las categorías de humedad/sequedad entre registros de diferente longitud. También se comparará el efecto en algún año específico con características de humedad o sequía establecida y se compararán las intensidades de sequías espacial y temporalmente. Se revisarán los estimadores de la función de distribución de probabilidad utilizada y se analizarán sus discrepancias, con esto se podrá inferir el efecto de la longitud de los registros para el cálculo del SPI. En este mismo capítulo se comentarán los resultados.

En el capítulo IV se presentan las conclusiones y recomendaciones generales de la investigación además de la bibliografía utilizada.

Al final se incluyen los anexos con las gráficas del índice para las estaciones en estudio.

CAPITULO UNO: LA SEQUÍA.

1.0 ESCASEZ DE AGUA Y SEQUIA

La escasez de agua en cualquier país es siempre preocupante, pero en los países menos desarrollados produce unas consecuencias sociales, humanas y de desarrollo en general de una especial gravedad. La sequía es una característica del clima, en muchas regiones esta característica es bastante normal y en otras es un fenómeno recurrente. La sequía es una situación temporal a diferencia de la aridez que es la escasez de lluvias como característica permanente del clima de una región.

Una precipitación, que para una zona puede considerarse aceptable y no de sequía, para otra región esa misma precipitación puede ser insuficiente y provocar una situación de sequía. Para cada lugar debe darse una definición de sequía basada en su historia climatológica. A veces algunos factores climáticos como las elevadas temperaturas, las humedades relativas bajas y los fuertes vientos se suelen asociar a la sequía y en cualquier caso lo que si es cierto es que la agravan.

Erróneamente, a veces se le considera como un evento poco frecuente y aleatorio. La sequía sucede virtualmente en casi todas las zonas climáticas, aún cuando sus características varían significativamente de una región a otra. A la sequía se le considera un desastre natural. Se origina de la deficiencia en la precipitación sobre un periodo extendido de tiempo. Esa deficiencia ocasiona una escasez de agua para el desarrollo de actividades de grupos o sectores de la población. También se le relaciona con la ocurrencia temporal de las lluvias (v. g. estación principal en la que ocurre, retraso en el inicio de la época de lluvias, ocurrencia de las lluvias en relación a las etapas principales de crecimiento de los cultivos) y la efectividad de las lluvias (v. g. intensidad de las lluvias, número de eventos de lluvias). Existen otros factores climáticos que agravan la severidad de una sequía y que son asociados con ella, como son altas temperaturas, fuertes vientos y baja humedad relativa

La sequía no debe ser vista como un simple fenómeno natural. Su impacto en la sociedad proviene de la interrelación entre el evento natural y la demanda en el suministro de agua.

1.0.1 Causas de la sequía

La sequía puede presentarse en el tiempo (ausencia de precipitación en el período de lluvias) y en el espacio (afectando a zonas más o menos amplias). Normalmente, se producen ciclos de años húmedos y secos de 2, 5 y hasta 7 años de duración. Su ocurrencia no es fácilmente detectable como tal, sino que se le reconoce por los efectos que causa.

Entre las causas más relevantes, para que se produzca la sequía podemos mencionar las siguientes:

A. Las manchas solares. (El Sol cuando contiene manchas solares en su estructura, altera la cantidad de energía que llega a la superficie de la tierra).

B. Las alteraciones en la circulación de los vientos generados por modificación en el albedo superficial (El cambio en el albedo superficial, se entiende como la capacidad de retención de energía solar de los diferentes tipos de superficie terrestre), puede manifestarse en la pérdida de plantas perennes, despales, sobrepastoreo en grandes extensiones.

C. La existencia de una espesa capa de polvo en la atmósfera. Una fuerte cantidad de polvo en estado de suspensión que impide que la tierra se enfríe, creando un aumento lento pero constante de la temperatura. Esta capa de polvo se produce por efecto de la erosión eólica, después del lavado de segmentantes por lluvia y producción de polvo.

D. Cambios en la temperatura superficial del océano y mares, el cual consiste en un recalentamiento de la superficie del mar frente a las costas del Perú, alterando la circulación general de la atmósfera, este fenómeno es conocido popularmente como El Niño/Oscilación del Sur.

E. Incremento en la atmósfera del contenido de anhídrido carbónico (dióxido de carbono) y otros gases de efecto invernadero.

La sequía es un componente normal de la variabilidad climática y se da en todas partes del globo. No obstante, aparece con mayor frecuencia y probabilidad más alta, en las regiones semiáridas y subhúmedas.

Las sequías normalmente infligen a las economías nacionales grandes daños, dando lugar a condiciones difíciles para la mayoría de los habitantes de las tierras secas.

En la mayoría de las regiones agrícolas, las sequías traen con frecuencia grandes catástrofes para la población. En tiempos de sequía, la disminución del rendimiento de los cultivos alcanza de 20% a 30% y a veces de 40% a 50%.

1.1 DEFINICIÓN DE SEQUIA

La palabra sequía es uno de los vocablos de uso frecuente, no obstante, pocas veces se reflexiona sobre su significado real, ya que por ejemplo, cuando se busca la definición del diccionario, uno se sorprende al encontrar definiciones tan escuetas como: “sequía es el tiempo seco de larga duración”. Conceptos como este, enfrentan fallas graves, ya que no precisa los parámetros que son necesarios para considerar al tiempo como seco; en lo que respecta a la larga duración, el término es ambiguo, porque se puede referir a un mes, un año o varios años. Una definición, más completa que la anterior, es la de F. J. Monkhouse, quién considera que la sequía consiste en “un periodo más o menos prolongado sin precipitación atmosférica, o con cantidades inapreciables”, el mismo autor señala que el criterio para determinar la duración de dicho período, varía según los servicios meteorológicos de los distintos países.

Florescano, considera que una definición tentativa de sequía sería la siguiente: “ausencia de humedad, especialmente por falta de lluvia, siendo más adecuado entender la sequía no sólo como escasez de agua, sino como su carencia total y, por así decir, contingente, que durante un lapso afecta las condiciones de desarrollo de plantas y animales” (Florescano, Enrique y Susan Swan, 1995, p. 13). Dentro de esta definición, Florescano introduce la relación que tiene la vida de los seres vivos, con la disponibilidad del agua. Sobre este punto, conviene resaltar que la sequía, ha sido estudiada principalmente en relación con las actividades del hombre, sobre todo con la agricultura y la ganadería, debido a que la falta de lluvia, históricamente ha representado

una de las grandes calamidades en las tareas agrícolas y ganaderas de todos los pueblos. Sin embargo, establecer cuales son las causas que originan la sequía no resulta una tarea sencilla, debido a que intervienen fenómenos tan diversos y complejos como la circulación general de la atmósfera, el relieve, los ciclones, el ciclo de manchas del Sol, por mencionar algunos de los principales factores.

Una definición operativa de sequía puede ser una reducción temporal notable del agua y la humedad disponibles, por debajo de la cantidad normal o esperada para un período dado.

Los componentes esenciales de tal definición son los siguientes:

- 1 Que la reducción sea temporal (si la reducción fuese permanente, “seco” o “árido” serían términos más adecuados).
- 2 Que la reducción sea significativa.
3. Que la reducción se defina con respecto a una “norma”.
4. Que el periodo empleado como base para la “norma” esté especificado.

La manera de definir la “norma” es de suma importancia, se puede definir de alguna de las siguientes dos maneras:

Técnicamente: por ejemplo, podría declararse una sequía si la disponibilidad de agua cae por debajo del 80% del promedio de disponibilidad de los últimos 20 años, Sin embargo el periodo de estudio escogido de base para el cálculo del promedio puede ser muy engañoso.

Culturalmente: basado en el nivel de disponibilidad de agua que la sociedad considera que sea la “norma”. Todas las sociedades tienden a estabilizar sus sistemas socioeconómicos de acuerdo con su percepción de lo que es una precipitación pluvial normal, y a dicha percepción se le da mucho mayor importancia a lo que se ha observado recientemente. De esta manera, después de diez años consecutivos en lo que ha llovido más de lo normal, la sociedad se acostumbra a ese nivel de precipitación y entonces consideran que hay sequía cuando el primer año tiene lluvias normales.

Por otra parte, Ramírez y Brenes (2001) definen la sequía como un desastre natural lento que no presenta trayectorias definidas y tiende a extenderse de manera irregular a través del tiempo y el espacio. La severidad de una sequía depende no solamente del grado de reducción de la lluvia, de su duración o de su extensión geográfica, sino también de las demandas del recurso hídrico para la permanencia de los sistemas naturales y para el desarrollo de las actividades humanas, razón por la cual es posible expresar el grado de severidad de la sequía en términos de sus impactos sociales y económicos.

En los términos más generales, la sequía es considerada como un fenómeno climático cíclico provocado por una reducción en la precipitación pluvial temporal, que se manifiesta en forma lenta y afecta a personas, actividades económicas, al ambiente, e incluso puede interferir en el desarrollo social y económico de los pueblos. Se trata, ante todo, de un fenómeno climático que tiene la consideración de riesgo natural por su potencialidad catastrófica, singularizado también por su azonalidad y el hecho de que los caracteres que presenta como catástrofe se instalan lentamente y, una vez finalizado el periodo deficitario, la restauración de las condiciones estimadas como normales puede demorarse mucho.

Podemos distinguir cuatro tipos de sequías principales, las cuales se sustentan en los tipos de impactos que este fenómeno trae como consecuencia:

- 1 Sequía meteorológica
- 2 Sequía hidrológica
- 3 Sequía agrícola
- 4 Sequía socio-económica

1.1.1 Clasificación de las sequías (Escalante y Reyes 2004)

Podemos clasificarlas por su clima o por su magnitud:

A) Por Clima

- a) Permanentes: se producen en zonas de clima árido.
- b) Estacionales: se localizan en lugares con temporadas de lluvias y estiaje bien definidas.
- c) Contingentes: se presentan en cualquier época del año ya sea por falta de lluvias, a periodos extensos de calor o a la coincidencia de ambos.
- d) Invisibles: se observan cuando las lluvias no cubren las pérdidas de humedad por evaporación.

B) Por magnitud

- a) Leves: su causa es la escasez parcial de lluvia, no repercuten de manera significativa en la producción, ni en la economía.
- b) Moderadas: afectan a la producción agrícola ya que existe una disminución significativa en la precipitación pluvial.
- c) Severas: son originadas por la disminución total de lluvias, con gran repercusión en la producción.
- d) Extremadamente severas: son aquellas en donde existe una permanente escasez de agua, provocando crisis tanto en la agricultura como en la ganadería, con sus repercusiones en la economía y la sociedad.

También, se pueden clasificar por su periodicidad, por sus efectos sobre las plantas y por sus causas:

a) Por su periodicidad:

1) Sequías accidentales o extemporáneas: son aquellas que se presentan en forma accidental en un lugar cuyo régimen de precipitaciones es suficiente para asegurar un balance hídrico satisfactorio para los cultivos, pero en un momento determinado las condiciones del tiempo se presentan en forma anormal y determina una sequía. Este tipo de sequía es debido a una alteración de la circulación general de la atmósfera.

2) Sequías periódicas o permanentes: son aquellas que presentan cierta regularidad, es decir, que se pueden llamar periodo seco o estación seca y sirven para caracterizar el clima de un lugar debido a su aparición año tras año. Estas sequías son debidas a la circulación general de la atmósfera.

b) Por sus efectos sobre las plantas

1) Visibles o aparentes: son aquellas donde la falta de agua en el suelo provoca pérdida de turgencia en las plantas y el bajo contenido de agua en el suelo se observa por su efecto sobre ellas. El contenido de agua es cercano al punto de marchitez permanente.

2) Invisibles u ocultas: son aquellas que se producen sin que la planta tenga síntomas de pérdida de turgencia y el bajo contenido de agua en el suelo se mantiene entre capacidad de campo y punto de marchitez permanente. Si el contenido de agua en el suelo no es optimo, la planta tiene déficit para satisfacer la demanda atmosférica y durante todo el periodo que esto ocurra no produce al máximo. En este tipo de sequía sus efectos se observan en los resultados finales, o sea en el rendimiento.

c) Por sus causas u origen.

1) Sequías edáficas: son aquellas que se producen por el bajo contenido de agua en el suelo provocando una rotura del balance hídrico. Es una sequía peligrosa.

2) Sequías atmosféricas: se produce un desequilibrio causado por una gran demanda atmosférica que sobrepasa la capacidad de extracción de agua del suelo por parte de la planta. Esta sequía se produce porque la demanda atmosférica es mayor a la capacidad de extracción de agua del suelo por parte de las plantas. Ej. : Al mediodía o en verano.

1.2 TIPOS DE SEQUIA.

1.2.1 Sequía meteorológica

La sequía meteorológica se define normalmente comparando la precipitación de un lugar y momento concreto con la precipitación media de ese lugar para un periodo de tiempo muy largo. Por eso la definición es específica de cada lugar. La sequía meteorológica tiene como consecuencia la desecación del suelo y eso casi siempre tiene un efecto directo sobre la producción de los cultivos.

En este caso sólo consideramos el factor objetivo de la reducción de precipitación sin tener en cuenta los efectos de esa reducción en las reservas de agua, las necesidades humanas o la agricultura.

Desde el punto de vista meteorológico, la sequía entonces puede definirse como una condición anormal y recurrente del clima que ocurre en todas las regiones climáticas de la tierra. Este fenómeno se caracteriza por una marcada reducción de la cantidad de precipitación que se presenta en una zona, y puede producir serios desbalances hidrológicos.

1.2.2 Sequía hidrológica

La sequía hidrológica está asociada con los efectos que tienen los periodos con poca precipitación sobre los niveles de los ríos, los embalses y los acuíferos (embalses de agua subterráneos). Esta sequía suele notarse normalmente después de la meteorológica, primero disminuye la precipitación durante un tiempo y después empiezan a bajar los niveles de los embalses y de los ríos.

Este tipo de sequía afecta a los usos que dependen del nivel de agua de los ríos y embalses, como es la energía hidroeléctrica, los usos recreativos, los ecosistemas, la industria, etc.

En términos hidrológicos, se habla de sequía cuando se presenta una precipitación menor a la media estacional en escala regional, lo que se traduce en un nivel de recarga anormal de los cursos de agua y de las reservas de agua superficial o subterránea (Barakat y Handoufe, 1998).

1.2.3 Sequía agrícola

Ocurre cuando no hay suficiente agua para que puedan crecer los cultivos. Esta sequía no depende sólo de la cantidad de agua que haya o que llueva, también depende de cómo se use el agua de bien o mal.

La sequía agrícola se nota después de la sequía meteorológica (cuando disminuye la precipitación), pero antes de la sequía hidrológica (cuando descienden los niveles de agua en ríos, lagos y embalses).

Es importante destacar que los efectos de la sequía no son iguales en los cultivos de regadío y los de temporal. En los primeros los impactos suelen ser menos importantes porque pueden seguir regándose con el agua de los embalses aún cuando no llueve. Los cultivos de temporal, en cambio, dependen totalmente de las precipitaciones y si no llueve, no tienen agua suficiente para vivir.

Por lo tanto en el sector agrícola, la sequía se refiere al déficit marcado y permanente de lluvia que reduce significativamente la producción agrícola con relación a la normal o los valores esperados para una región dada. Para algunos especialistas, el déficit de humedad en el suelo que está ligado a los efectos sobre la producción vegetal -agricultura y pastizales en ganadería-, es frecuentemente denominado como sequía edáfica (Barakat y Handoufe, *op. cit.*; Bootsma et. al.; 1996).

La diferencia de estos tres tipos de sequía se pone de manifiesto a través de los impactos que ocasionan. Cuando la sequía comienza, el sector agrícola es generalmente el primer afectado al estar ligada a la humedad del suelo, si la escasez de precipitaciones continúan, acabaran siendo afectados los consumidores que dependen de agua superficial o subterránea.

1.2.4 Sequía socio-económica

Se define asociando los tipos de sequías con la oferta y demanda de agua necesarias para una buena economía en una región.

La sequía en el sector socio-económico ocurre cuando las lluvias son insuficientes y tienen un efecto significativo sobre las comunidades y su economía (Barakat y Handoufe, *op. cit.*; Bergaoui y Alouini, 2001).

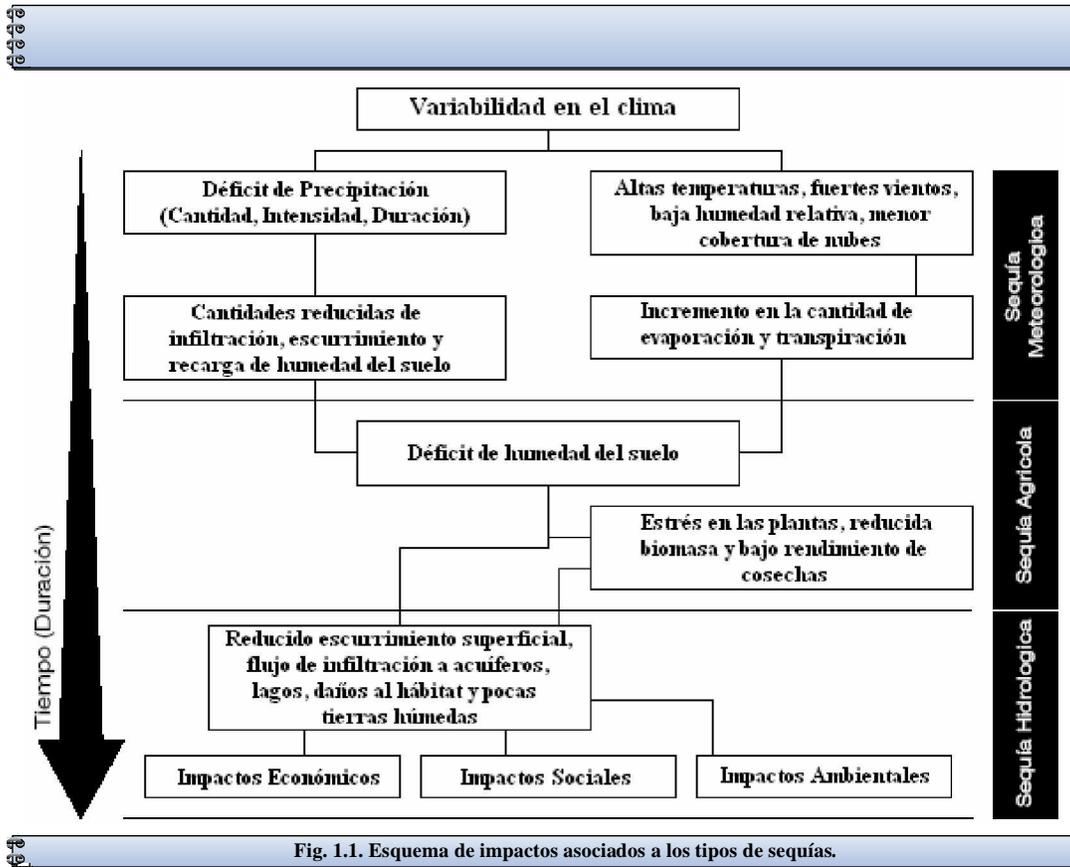


Fig. 1.1. Esquema de impactos asociados a los tipos de sequías.

1.3 ANALISIS DE UNA SEQUIA

1.3.1 Condiciones Climáticas y Factores hidrológicos

Para poder caracterizar un periodo de sequía, es decir, para poder estimar el inicio, el final y la severidad de dicho fenómeno, se debe conocer las condiciones climáticas de cada región.

Entre los datos meteorológicos más importantes que se deben tomar en cuenta son aquellos que caracterizan la lluvia, la temperatura y las condiciones de humedad del suelo.

En meteorología también se utilizan diversos indicadores para determinar si una situación puede considerarse como de aridez o de sequía, y se pueden clasificar, por grupos, de acuerdo con su estructura lógica:

- Indicadores de anomalías en las precipitaciones

- Indicadores de déficit de vapor de agua (en caso de alto déficit de saturación se utiliza comúnmente en meteorología la expresión “sequía atmosférica”, que no suele significar una situación de sequía real)

- Indicadores de balance (que comparan, en forma de cociente ordinario, las “entradas” (precipitaciones) con los “salidas” (evapotranspiración)).

- Indicadores de humedad del suelo

1.3.2 Efectos Causados por el hombre

Entre los efectos causados por la actividad humana (antropogénicos) deben mencionarse las circunstancias agronómicas. El uso inadecuado de la tierra, la elección errónea de las plantas, tanto en especies como en variedades, los métodos de cultivo, la mala gestión agrotecnológica, el inadecuado suministro de agua, etc.

Sin embargo dos de las actividades que mayor efecto podrían tener sobre este fenómeno son las actividades mineras e industriales que contaminan el agua de las regiones reduciendo cada vez más la calidad del suministro de agua en las cuencas.

1.3.3 Condiciones del Suelo

El suelo también puede ser un factor muy importante en el desarrollo de la sequía. Se debe investigar el tipo de suelo, particularmente, su estructura física y el contenido real de humedad en la zona a ser analizada.

Podemos mencionar que tanto los suelos arenosos relativamente profundos, como los que poseen horizontes cultivables de poco espesor son más sensibles a la sequía que los arcillosos o limosos, con mayor capacidad de retención de agua.

Si se realiza un análisis del balance hídrico de la región en estudio, es posible determinar el momento en el que se llega a la situación de sequía y aplicar rápidamente las medidas oportunas para paliar los efectos negativos.

1.4 IMPACTOS DE LA SEQUÍA

1.4.1 Efectos directos

La rama de la economía más expuesta a la sequía es la agricultura, cayendo sobre esta los mayores impactos económicos.

Además del impacto sobre la agricultura, la sequía también tiene efectos negativos directos en la “Gestión del Agua”. La escasez de agua prolongada influye directamente en los recursos hídricos de una región, altera las condiciones de equilibrio y crea situaciones difíciles para cualquier tipo de abastecimiento de agua. Por lo tanto, es importante estimar exactamente los recursos hídricos superficiales y subterráneos de una determinada región, los posibles cambios de estos recursos, y calcular los balances de agua en diferentes condiciones climáticas e hidrológicas. Durante la época de escasez de agua, las condiciones de calidad se hacen más importantes, especialmente cuando se trata de embalses, lagos y aguas superficiales; por lo tanto

el impacto de una sequía prolongada sobre la calidad del agua debe ser estudiado y evaluado con mayor interés.

Los datos retrospectivos disponibles sobre la susceptibilidad a la sequía de una zona determinada y de la sensibilidad a la sequía de las diferentes plantas cultivadas en la región, deberían ser examinados y evaluados utilizando todos los resultados disponibles de la investigación realizada en la región sobre este tema. Los análisis comparativos de las cosechas, junto con las condiciones climáticas e hidrológicas pueden darnos las mejores respuestas sobre la intensidad de la sequía en los periodos examinados y sobre los daños concretos y pérdidas económicas en la producción agrícola. Este tipo de análisis puede ayudarnos a descubrir las diferencias entre las especies y variedades de las plantas cultivadas utilizadas, así como su capacidad de tolerancia a la falta de agua y la duración de sus períodos vegetativos, como características importantes para reducir los daños. Asimismo es necesario estudiar el efecto del cultivo precedente en la rotación, y determinar cuáles han sido las mejores plantas y rotaciones en la región, de manera que se puedan reducir sensiblemente los daños de la sequía. Una cuestión igualmente importante es el efecto de la densidad de siembra o de plantación porque, si ésta es demasiado alta, los efectos de la sequía serán todavía más acusados. Por último, se deben evaluar el resto de las prácticas agrícolas utilizadas, como son las del cultivo y cuidado del suelo, los métodos para su conservación, el procedimiento de aportación de nutrientes, la defensa contra las malas hierbas y las enfermedades de las plantas, etc. El mejor instrumento para reducir los daños causados por la sequía es el riego, por lo que convendría estudiar detalladamente el uso y las posibilidades potenciales de desarrollo del regadío en la región.

Una evaluación similar debería ser realizada para los cultivos hortícolas, especialmente en el caso de plantaciones de frutales y viñedos. La ubicación espacial de tales plantas frutícolas, sus especies y variedades y sus técnicas de cultivo, son de gran importancia, si se quieren reducir al mínimo los efectos de la sequía en sus plantaciones. Para el cultivo de hortalizas y de plantas ornamentales, especialmente en invernaderos, el riego es absolutamente indispensable.

Un déficit de agua prolongado puede causar graves daños en el ecosistema forestal como, por ejemplo, su defoliación y el deterioro de las copas de los árboles y, como consecuencia, la reducción del espesor de los anillos corticales y de la producción de madera. Los árboles que sufren los efectos de la sequía se verán afectados, con más frecuencia, por plagas y enfermedades secundarias de insectos y hongos. En el caso de las sequías hay que prestar una atención especial a los incendios forestales por la gran magnitud de pérdidas económicas y ecológicas que pueden acarrear.

Los impactos de la sequía sobre la ganadería pueden ser directos o indirectos. Los animales sufren por continuas temperaturas altas y por la falta de agua, pero no será la misma respuesta de estos a las sequías prolongadas que la respuesta de las plantas, en sus diversas especies y variedades. Los principales efectos indirectos se ven reflejados en la escasez de forraje, que afecta al estado de salud de los animales y tiene un gran impacto en la producción ganadera y en el valor económico de la ganadería en general. Un problema especial en este sentido es el abastecimiento de agua a las piscifactorías, especialmente a los estanques de cría de peces, en donde la escasez de agua puede causar daños de gran consideración que, igualmente, deben ser tomados en cuenta.

El tercer campo de impactos económicos causados por la sequía es la industria. En ella, los efectos son, generalmente, indirectos. Sin embargo, la industria alimenticia se ve involucrada de una manera más directa ya que una parte considerable de su materia prima proviene de la agricultura y se puede perder durante un periodo de sequía. Esto puede provocar una situación de inestabilidad del proceso alimentario en diferentes sectores, y también tener un impacto negativo en la amplia gama de servicios. Todos estos efectos deben ser tomados en

consideración y, si es posible, el aspecto financiero también debería ser expresado dentro de la estrategia nacional para la sequía.

Uno de los efectos más perjudiciales y peligrosos de la sequía se refleja en el medio ambiente, en los recursos naturales, hábitats y ecosistemas. Estos daños no se han estudiado adecuadamente, ni han sido descubiertos en el pasado; el tema ha surgido en los últimos años. El problema requiere una gran atención porque la sociedad casi no puede hacer nada para reparar los daños causados en los ecosistemas que ya han sido perjudicados o que, incluso, están muertos. Por lo tanto, la única medida eficaz para estos casos es la debida protección de los recursos naturales, especialmente en áreas sensibles desde el punto de vista medioambiental.

Es necesario mencionar cuidadosamente todos aquellos efectos de la sequía que tienen referencia con los principales elementos del medio ambiente, como son la calidad y cantidad de los impactos sobre el agua, el suelo, el aire y los organismos vivos (flora y fauna). Se debería dedicar un capítulo aparte a la evaluación de las zonas naturales protegidas y parques naturales, donde se pueden formular acciones específicas para proteger las especies, los hábitats y los ecosistemas maltratados. Se debería hacer una lista, por orden de prioridades, en la que figurasen todos los bienes naturales protegidos de una región, así como las acciones a seguir para su preservación a largo plazo.

Debemos poner especial atención en los efectos medioambientales combinados, como son el incremento de la contaminación y el aumento del volumen de diversos tipos de residuos en el medio ambiente, y, en particular, los residuos y materias tóxicos. Estos efectos, complejos y combinados, pueden llegar a ser más fuertes durante los periodos de sequía, especialmente debido a la mucha menor dilución y capacidad de depuración de los receptores de tales residuos.

1.4.2 Efectos Indirectos

En este apartado haremos mención de los efectos negativos que puede tener una sequía en cualquier región tanto al comercio, economía e impacto ambiental.

La reducción de la producción de las materias primas básicas causada por la sequía afecta, por lo general, de forma negativa, al comercio, especialmente en las relaciones de exportación e importación. Las pérdidas de almacenamiento de productos vendibles, altera los acuerdos de intercambio de mercancías entre los países y puede desequilibrar los planes de exportación y otras obligaciones. Al mismo tiempo, la economía del país necesita compensar sus pérdidas aumentando las importaciones, principalmente de alimentos, lo que supone un gasto extraordinario, tanto para las personas como para el gobierno. Si se quiere mantener un desarrollo sostenible y armónico del país es importante hacer un cálculo de estos efectos generales para toda la economía nacional.

En cuanto a los impactos económicos, también deben finalmente ser objeto de evaluación, los efectos sobre los asuntos financieros. Por lo general, el mundo financiero responde con una subida de precios a las pérdidas de producción de los productos agrícolas, de los procesos alimentarios, del intercambio de mercancías y del consumo de energía, lo cual acelera la inflación y estimula procesos y tendencias poco convenientes en el mundo financiero: los agricultores y productores entran en bancarrota, se retiran las inversiones, se suspenden las mejoras de las condiciones de producción, etc. Dependiendo del grado de estos efectos, la economía nacional puede verse afectada gravemente por sus impactos, cuya prevención es muy importante para cualquier país, y para cualquier gobierno.

Durante mucho tiempo, los impactos sociales de la sequía no han sido, en absoluto, tomados en cuenta, aun cuando existen aspectos sensibles y situaciones embarazosas, para los que tales efectos también deberían ser estudiados. Entre ellos podemos citar los impactos sobre la salud pública, sobre el empleo o desempleo, y sobre la política y los asuntos exteriores. En todos estos campos la sociedad se ve profundamente involucrada y tiene el máximo interés en que se prevengan los efectos negativos. Durante la sequía, se puede observar un incremento de las enfermedades cardiovasculares, alergias e infecciones respiratorias; estas últimas se deben al incremento de contaminación del aire por el polvo procedente de una mayor erosión eólica. La sequía produce un efecto de disminución de la capacidad de soporte socioeconómico de una zona, debido a la cual, la tasa de desempleo puede elevarse, y el nivel general de vida de la población puede reducirse, lo que es especialmente peligroso para zonas desfavorecidas. En estos casos, la sequía puede ser motivo de inestabilidad política en la región y, si tales zonas en situación de desventaja se encuentran en la frontera entre dos países, también puede crear problemas en el ámbito de las relaciones entre ambos estados.

Sobre el turismo, la sequía produce unos efectos extraños: las condiciones climáticas pueden ser favorables para quienes desean un ambiente caluroso y seco, pero los efectos perjudiciales generales de la sequía pueden causar un rápido descenso del turismo nacional y/o internacional que puede traducirse en grandes pérdidas para aquellos países en los que este sector es de gran importancia.

1.4.3 Efectos benéficos

Se ha hablado de los impactos negativos de la sequía y resaltado sus efectos perjudiciales, pero la sequía también tiene efectos benéficos en cualquier región, pero no se toman en cuenta por sus menores repercusiones económicas y/o sociales. Sin embargo, las ventajas deben ser incluidas en el programa general de investigación y evaluación, con el fin de sopesar los aspectos negativos y positivos, y mostrar los dos términos de la ecuación. Entre los aspectos positivos se encuentra la reducción de los mosquitos, los menores gastos de retirada de la nieve y de otras actividades relacionadas con ello, la urgencia de economizar agua, que lleva a establecer patrones de ahorro permanentes, el incremento de la actividad mercantil, etc. La sequía puede llevar a mejorar la eficiencia del uso y del control de calidad del agua, y, en un nivel secundario, puede reducir la inmigración y el consiguiente aumento de población en zonas especialmente propensas a las sequías. Los economistas y otros investigadores han señalado que la sequía puede ser muy eficaz para alcanzar ciertas ventajas que pueden contribuir a solucionar algunos problemas económicos. La sequía puede ayudar a controlar los excesos de producción de la agricultura y de otros sectores, contribuyendo así a una mayor estabilidad de precios y a la supervivencia de aquellos colectivos agrarios que se ven afectados por problemas de superproducción.

Entre los aspectos positivos está la urgencia de ahorrar agua, que puede llevar a establecer patrones de ahorro permanente. La sequía puede llevar a mejorar la eficiencia del uso y del control de la cantidad y calidad del agua, y, en un nivel secundario, puede reducir la inmigración y el consiguiente aumento de población en zonas especialmente propensas a las sequías.

1.5 MEDIDAS DE MITIGACIÓN

1.5.1 Valoración y Previsión de los fenómenos de Sequía

Una de las acciones preventivas más importantes es la predicción y todos los métodos para concientizar a la población y darle una información tan amplia como sea posible, utilizando todos los medios de divulgación existentes.

Hoy en día tenemos buenos métodos de cálculo e indicadores que permiten, tanto determinar de forma continua la aparición y el grado de intensidad de la sequía, como realizar predicciones.

Debe adoptarse el empleo de un método común en el caso de comparaciones y valoraciones, a un nivel internacional, así como para dibujar un mapa regional o continental de sensibilidad a la sequía basado en los resultados de los cálculos.

En este punto se hará una categorización de los Periodos de Sequía dependiendo de su intensidad mencionando los posibles impactos que estos periodos pueden producir, el cuadro siguiente elaborado por la “National Drought Mitigation Center” de los Estados Unidos puede servir como referencia:

ÍNDICE DE SEVERIDAD DE SEQUÍA DE PALMER	ÍNDICE DE PRECIPITACIÓN STANDARD	POSIBLES IMPACTOS
-1.00 a -1.99	-0.50 a -0.70	Inicio de Periodos de Sequía; a corto plazo reducen la capacidad de crecimiento de las cosechas y cultivos; periodos de déficit de agua prolongados.
-2.00 a -2.90	-0.80 a -1.20	Daño a las cosechas, Uso de ríos, reservas subterráneas, pozos y almacenamientos superficiales de agua requieren de restricciones inminentes para poder cubrir la demanda de agua de la región.
-3.00 a -3.90	-1.30 a -1.40	Pérdidas probables de cosecha y cultivos, Riego de cosechas reducido, se debe imponer restricciones de uso de agua
-4.00 a -4.90	-1.50 a -1.90	Pérdidas mayores de cosechas, escasez de agua extendida, se debe imponer mayores restricciones de uso de agua.
-5.00 o Menos	-2.00 o Menos	Perdidas y Escasez excepcionales de cosechas y cultivos, la escasez de agua en ríos, reservas subterráneas, pozos y almacenamientos superficiales de agua es claramente apreciable. Se genera un periodo de emergencia por escasez de agua.

Tabla 1.1 Valoración de periodos de sequía y sus posibles impactos.⁽¹⁾

Un factor de valoración que debe ser tomado en cuenta, es aquel que se refiere a pérdidas económicas y este puede ser determinado a través de la disminución de la producción en la región además del alza de los costos de producción para el caso de los sectores domiciliario, minero e industrial.

⁽¹⁾ El índice de severidad de sequía de Palmer PDSI y el índice de precipitación estándar SPI son los índices más utilizados a nivel mundial por que son los que caracterizan mejor los periodos de sequía, en el capítulo II se detallarán a mayor profundidad.

Existen hoy en día indicadores como los analizados que permiten determinar tanto la aparición como la intensidad de la sequía además de la realización de mapas de sensibilidad regional, basados en los resultados de cálculo.

Debería establecerse un servicio continuo de previsión de sequías en aquellos países afectados, lo que podría ayudar a los agricultores, a los especialistas en la gestión del agua y a cualquier persona interesada en alcanzar una mejor preparación para afrontar los efectos. Los indicadores que continuamente se están determinando pueden utilizarse como base de cálculo de las ayudas gubernamentales, y de otras medidas que se adoptan para reducir los daños.

La estrategia de la sequía debería recoger las prácticas agrícolas que se utilizan en el estiaje, así como los medios preventivos aplicables en la gestión del agua, en la industria, en los servicios y en el comercio.

Un cuadro resumen de los impactos del fenómeno sequía es el siguiente:

IMPACTO ECONÓMICO	IMPACTO SOCIAL	IMPACTO AMBIENTAL
Agricultura	Salud	Plantas y Animales
Industria	Nutrición	Calidad del Agua
Turismo y Recreación	Recreación	Reservorios Superficiales
Energía	Seguridad Pública	Aguas Subterráneas
Financiamiento	Valores Culturales	
Transporte	Valores Estéticos	

Tabla 1.2 Impacto de sequía por sectores

1.5.2 Métodos de prevención de sequías (Vermes 1998)

Los métodos de prevención se pueden clasificar en tres grupos, orientados hacia:

a) La oferta

Entre estos métodos algunos que según experiencias ayudan a mitigar los daños causados por las sequías consisten en utilizar mejor y con mayor eficiencia, las reservas existentes, el desarrollo de nuevas fuentes de suministro y el uso de prácticas complejas o no convencionales para incrementar los recursos a suministrar.

Existen medidas generales de gestión del agua para hacer un mejor uso de los recursos hídricos existentes, entre los que en primer lugar está el almacenamiento de las aguas superficiales, aún cuando también son importantes la utilización de embalses subterráneos, intercambio de agua entre cuencas o dentro de la misma cuenca. La mejora de los suministros por métodos de ahorro del agua y en especial los que tienen como resultado una reducción de las pérdidas, en este terreno lo mejor es entre otras prácticas revestir o impermeabilizar los canales, controlar la vegetación acuática, para reducir el consumo de agua, conservar el suelo para aumentar su capacidad de infiltración, reducir la evaporación mediante gestión de los escurrimientos, en general aplicar métodos de riego que ahorren agua.

Para el desarrollo de nuevas fuentes de suministro se puede mencionar el uso de lagos y embalses de nivel constante, la utilización de aguas subterráneas fósiles, la reutilización de aguas residuales, especialmente para la agricultura.

Dentro de la compleja mejora de los recursos de agua para el suministro se puede mencionar la interconexión y ampliación de grandes sistemas de abastecimiento, el uso conjunto de todos los recursos hídricos, y la gestión especial de la nieve y del hielo, que también forman parte de la redistribución temporal de los recursos de agua para suministro.

b) La demanda

El objetivo de estas es hacer que los recursos existentes, cualquiera que sea su cantidad sirvan a los usuarios de la manera más eficaz posible.

Dentro de estos métodos se puede mencionar la modificación de la demanda a nivel de explotación, la reducción al mínimo de las pérdidas por escurrimiento, drenaje y evaporación, el cumplimiento de la asignación de dotaciones de agua y el análisis de sequías históricas.

c) La reducción al mínimo de los impactos y las pérdidas.

Estos se utilizan ampliamente y son aquellos que permiten anticiparse a que periodos de sequía se presenten, empleando predicciones y análisis de datos, investigando la frecuencia y duración de las sequías en el pasado, y realizando pronósticos y alertando al público para que este mejor preparado, lo que da como resultado acciones concientes y sistemáticas que pueden ayudar a aliviar sus consecuencias.

Hay una tendencia a cubrir de árboles las cimas de las colinas y las partes altas de las cuencas de recepción, y a establecer fajas forestales contra la pérdida de agua y la erosión, y para estimular la infiltración.

1.5.3 Instrumentos para reducir los daños (Vermes op. cit.)

Existen varios métodos prácticos que ayudan a reducir los daños potenciales de una sequía prolongada, una lista para la reducción de los posibles riesgos es la siguiente:

a) Estimación

- Establecer los criterios que disparen las acciones relacionadas con la sequía.
- Desarrollar sistemas de alerta precoz
- Inventariar y explorar nuevos recursos de agua.
- Evaluar la cantidad y calidad de las nuevas fuentes de agua
- Evaluar el uso de las aguas subterráneas.
- Sistematizar los registros de datos.
- Estudiar la efectividad de los programas de ahorro de agua
- Establecer procedimientos de alerta para los problemas de calidad de agua.
- Hacer un seguimiento de las fuentes de suministro de agua pública vulnerables a la sequía.
- Evaluar las capacidades para soportar las pérdidas ligadas a la sequía, tales como rentas, bienes, flexibilidad de los créditos y procesos de toma de decisiones, subsidios, préstamos, la posibilidad de aplicar programas de bienestar social y los efectos de los programas y normas gubernamentales.
- Realizar el inventario y seguimiento de los recursos naturales, dentro de las zonas más importantes.
- Investigar, más a fondo, la relación entre las sequías y los incendios.
- Investigar los efectos de la sequía en diferentes grupos sociales, según ocupación, nivel socioeconómico, etnia, edad, sexo, para seleccionar los “grupos objetivo”.

b) Legislación y Normativa pública

- Examinar los estatutos que rigen los derechos de agua, en cuanto a su posible modificación en periodos de escasez.
- Aprobar legislaciones para la protección de los caudales entrantes.
- Aprobar una legislación para la protección y gestión de las aguas subterráneas.
- Realizar un plan hidrológico Nacional o Estatal.
- Desarrollo de planes de emergencia.
- Promulgar una ley que facilite la reutilización de aguas.
- Establecer normas para el uso seguro de aguas residuales.
- Aprobar una legislación para ofrecer a los agricultores préstamos garantizados, de bajo interés.
- Imponer límites a la expansión urbana.
- Tener disponible, en las oficinas locales o en los organismos nacionales/federales, mientras duren las condiciones de sequía, alguna persona, con autoridad y capacidad de decisión, en asuntos relacionados con la vida silvestre.

c) Ahorro de agua y reducción de demanda

- Promover el ahorro voluntario de agua
- Reducción del uso de aguas subterráneas
- Mejorar el uso del agua y la eficiencia de las conducciones
- Poner en marcha programas de medición y de detección de filtraciones de agua
- Instituir el uso conjunto de aguas superficiales y subterráneas

d) Ahorro de agua para las explotaciones agrícolas

- Instalación de sistemas de retorno de agua.
- Revestir canales para la reducción de filtraciones.
- Utilizar sistemas de riego por aspersión o localizado por goteo.
- Programar el riego según la demanda de los cultivos.
- Hacer un seguimiento de la humedad del suelo.
- Mejorar las prácticas de cultivo
- Aplicar riegos anticipados y profundos en épocas de disponibilidad del agua
- Utilizar medios para suprimir la evaporación.
- Utilización de aguas residuales tratadas para el riego
- Cultivar especies tolerantes a la sequía y/o a la salinidad.

e) Incremento del agua para abastecimiento y el aumento de los suministros

- Proponer programas de rehabilitación de embalses.
- Realizar estimaciones de la vulnerabilidad de los recursos hídricos para abastecimientos.
- Proporcionar fondos para proyectos de reciclaje de agua.
- Realizar una buena gestión de la calidad del agua y de la reutilización de las aguas residuales.
- Poner en marcha medidas estructurales menores para obtener recursos de agua temporales a partir de recursos subterráneos.
- Utilizar los conceptos de banco de aguas subterráneas para asignar y almacenar los sobrantes, el agua inactiva o la recuperada.
- Establecer bancos de agua para la venta voluntaria, transferencia o intercambio de este recurso

f) Educación y participación pública

- Establecer comités de asesoramiento público.
- Incluir la participación pública en la planificación de medidas que reduzcan los impactos del fenómeno.
- Implementación de programas de concientización sobre ahorro de agua.
- Organizar reuniones informativas sobre la sequía para el público y los medios de comunicación
- Organizar talleres sobre temas especiales relacionados con la sequía
- Publicar técnicas de ahorro de agua y gestión de la sequía.
- Establecer un centro de información sobre la sequía.
- Incluir a los medios de comunicación en la planificación de la sequía
- Elaborar materiales de formación en varios idiomas, y dirigidos a los diversos grupos sociales.
- Proporcionar formación sobre diferentes perspectivas culturales de los recursos hídricos

g) Salud y Alimentación Pública

- Establecer programas de ayuda alimentaria para las personas afectadas por la sequía.
- Realizar campañas de información pública acerca de los peligros para la salud causados por la sequía, como por ejemplo el deterioro de la calidad del agua, la mayor erosión eólica, etc.

h) Planes de contingencia para la sequía

- Adoptar una estrategia de emergencia para el reparto de agua, para su aplicación en los periodos de sequía severa.
- Evaluar los escenarios de los peores casos de sequía, como base de posibles acciones futuras.
- Establecer centros de mitigación de riesgos naturales.

i) Asistencia Técnica

- Asesorar al público sobre los recursos hídricos potenciales.
- Realización de análisis de vulnerabilidad de los sistemas de abastecimiento existentes.
- Recomendar medidas de ahorro de agua.
- Crear un centro de información sobre la sequía y difundir datos climáticos en tiempo real.
- Desarrollar y comercializar tecnologías innovadoras, tales como mejoras de los sistemas de riego, urinarios sin agua, etc.
- Establecer planes especiales de protección de los valores ligados a los humedales, los refugios de vida silvestre o el intercambio de agua.

j) Respuestas de Emergencia

- Subvencionar las mejoras en los sistemas hidráulicos, los nuevos sistemas y los nuevos pozos.
- Subvencionar programas de recuperación posteriores a una sequía.

El sistema de control, regulación y apoyo de las autoridades gubernamentales y/o locales se deberá elaborar, así como determinar las fuentes y medios de compensación o ayudas por daños catastróficos, que se pueden planificar de acuerdo con los cálculos continuos de la sequía. Además de la protección individual contra la sequía, el sistema de seguros juega un papel importante para quienes más sufren sus efectos; también es necesario establecer, a nivel central o regional, unos fondos de ayuda y fondos de garantía para aquellas personas que han sufrido grandes pérdidas por causa de esta catástrofe natural.

1.5.4 Programas de mitigación a corto plazo (Wilhite, 1997)

Estos programas deben “formar parte” estrictamente de un plan para la mitigación de los efectos de una sequía, es decir, deben ser incorporados dentro de los programas a largo plazo como herramientas de reducción de impactos. Estos programas están dirigidos a responder en el momento mismo en que se presenta el evento. Estos programas pueden incluir guías para la conservación voluntaria del agua, mejora en la calidad de comunicación entre el público en general, procedimientos administrativos fluidos para evaluar acciones de asistencia de emergencia y sistemas de difusión de prácticas que incrementen el rendimiento de las actividades para agricultores y ciudadanía en general.

1.5.5 Programas de mitigación a largo plazo

Los programas de mitigación a largo plazo se pueden presentar como una guía de aplicación, esta guía propuesta por varias instituciones dedicadas al análisis del fenómeno, está orientada a la reducción del riesgo de las sequías (Knutson *et. al.* 1998).

Esta guía presenta medidas tales como programas de educación para proporcionar los fundamentos necesarios para entender las consecuencias de una sequía o la aplicación de indicadores científicos aplicados para el monitoreo de una sequía; programas para convencer a la gente que adopte medidas para mejorar el contenido orgánico del suelo, conserven el agua, y de alguna forma incrementen la resistencia y la capacidad de recuperación de los sistemas naturales y sociales que son vulnerables a la sequía.

El National Drought Mitigation Center (Escalante y Reyes *op. cit.*) propone una guía de seis pasos para identificar algunas acciones que se pueden realizar para reducir los impactos potenciales relacionados por las sequías antes de que estas ocurran.

PASO 1. COMISIÓN DE LA SEQUÍA. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

Para este tipo de análisis interdisciplinario, es esencial reunir al grupo correcto de personas y proporcionarles la información necesaria para la toma de decisiones justas y eficaces que reduzcan el riesgo de una sequía.

Los conocimientos de este grupo de personas deben abarcar varios aspectos, medioambientales, económicos y sociales. Cualquier déficit de información y tipo de perspectiva podría afectar los resultados esperados.

Algunos de los datos de información requeridos son los siguientes:

INFORMACIÓN MEDIO AMBIENTAL

Precipitación.-

Debido a que es un importante componente del suministro de agua, el análisis de las características de la precipitación es un componente crítico del riesgo de una sequía.

Primero es importante analizar las características locales y regionales de la precipitación, es decir realizar un análisis climatológico. La climatología representa la composición del clima sobre un periodo largo de tiempo y proporciona de herramientas para el análisis de eventos pasados y utilizar estas para la predicción de eventos futuros. Algunas preguntas importantes que se debe hacer y se debe considerar, son las siguientes:

¿Cuál es la precipitación promedio anual?

¿Cuál es la estacionalidad de la precipitación?

¿Cuáles son los extremos y la variabilidad de la precipitación?

La precipitación anual es el punto de partida, la precipitación media mensual es el siguiente valor para definir la climatología regional, es además importante definir la distribución y estacionalidad de la precipitación a lo largo de los años. Sin embargo es el análisis de extremos potenciales de precipitación los que pueden ayudar a definir la vulnerabilidad. Una región que experimenta una gran variabilidad de precipitación y mayor cantidad de valores extremos puede ser más susceptible a que se incremente el número de periodos de sequía.

La sequía se presenta en casi todos los tipos de clima, pero las características de una sequía varían dependiendo de la región.

La climatología proporciona también referencias importantes como los registros de sequías extremas de una región y los impactos de estos periodos, además permite identificar los sectores más vulnerables de la región en ese periodo.

Deben hacerse preguntas específicas con respecto a la sequía:

¿Qué tan a menudo se presentan sequías en la región?

¿Qué tan intensos o severos han sido los periodos de sequía?

¿Qué tan extensos han sido los periodos de sequía?

¿Cuál ha sido la extensión de las zonas afectadas?

¿Cuál es la sequía más intensa?

Suministro de Agua.-

Para la planificación de la sequía es necesario tener un inventario adecuado de las fuentes de suministro de agua. Se debe categorizar las fuentes de suministro tanto superficiales como subterráneas. Las superficiales pueden ser clasificadas como, almacenamientos superficiales y corrientes de agua.

EFFECTOS DE LA SEQUÍA

Efectos de la sequía en el Suelo.

Se incrementa la erosión de suelo y plantas debido al viento. Aumenta la deposición de sedimentos y aumenta la turbiedad de los ríos. Las capas de suelo se reducen disminuyendo la capacidad de crecimiento de las plantas.

Efectos de la sequía en los niveles de agua superficial y subsuperficial.

Se reduce el nivel de agua en los lagos y ríos, se incrementa la turbiedad y salinidad de los mismos.

Efectos de la sequía en el aire.

El Aire se torna seco, caliente y con polvo, se seca el suelo y se incrementa la evaporación de los cuerpos de agua. Aumentan las dolencias respiratorias.

Efectos de la sequía en las plantas y animales.

Se dañan ecosistemas que dependen de la humedad del suelo o la presencia de agua libre. Las diferentes especies se vuelven más vulnerables a las enfermedades.

OTRA INFORMACIÓN

Información Económica

Información Social

Información personalizada o propia de la región

PASO 2. EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS DE LAS SEQUÍAS

Se debe examinar las consecuencias de un evento dado, se debe valorar los efectos de la sequía considerando, las pérdidas económicas, sociales, agrícolas, etc.

Los impactos se deben analizar tanto para eventos pasados como recientes, pero además debe analizarse ¿Qué impactos de la sequía se verán en el futuro? Esta pregunta es crucial relacionarla con el crecimiento poblacional y el cambio de la demanda de agua. La tabla 1.3 muestra los impactos de la sequía en las tres categorías analizadas (económicos, sociales y ambientales)

Para ayudar a la valoración de los diferentes impactos se propone el siguiente cuestionario que ayuda a determinar los impactos preponderantes en una región:

Evento			Impacto Económico
H	A	P	

Pérdidas en la Producción de la Cosecha

			Pérdidas de Cosechas Anuales
			Daños en la calidad de las Cosechas
			Reducción en la productividad de las tierras (Erosión del viento)
			Infestación de Insectos
			Enfermedades en las Plantas
			Daños producidos por la fauna sobre las cosechas

Pérdidas en la Producción del Ganado

			Productividad Reducida
			Reducción de superficie de tierras efectivas para pastoreo
			Costos elevados de agua para el ganado
			Costos elevados de comida para el ganado
			Rangos elevados de mortalidad de Ganado
			Ruptura de ciclos de reproducción
			Reducción del peso medio del ganado
			Incremento en la Depredación
			Incremento en el rango de sensibilidad al fuego

Pérdidas en la producción de Madera

			Propagación de Incendios
			Enfermedades en los árboles
			Infestación de Insectos
			Productividad dañada de tierras boscosas

Pérdidas en la producción Pesquera

			Daños al hábitat de los pescados
			Pérdidas del pez joven debido a la reducción de niveles de agua
			Pérdidas de ingresos a los directamente afectados
			Desempleo debido a la reducción de producción por las sequías
			Pérdidas en la Industria del Turismo y la Recreación
			Pérdidas de los fabricantes y vendedores de equillo recreativo
			Incremento en la demanda de Energía y Reducción del Suministro
			Incremento en los costos de la Industria Energética y consumidores debido al uso de combustibles en vez de sistemas hidroeléctricos
			Perdidas en la industria directamente relacionadas con la producción Agrícola
			Incremento en el Precio de los alimentos
			Incremento en la importación de alimentos (Precios Elevados)
			Reducción del suministro de agua
			Disminución de la capacidad de Navegabilidad de ríos, lagos y canales.
			Incremento de costos por transporte y transferencia de Agua
			Costo por desarrollo de nuevas fuentes de abastecimiento
			Costo por reducción de humedad del suelo
			Disminución del desarrollo económico
			Disminución del precio de las tierras

Evento			Impacto Ambiental
H	A	P	

Daños a la fauna

			Reducción y degradación de pescados en su hábitat salvaje
			Falta de alimento y suministro de agua
			Enfermedad
			Incremento en la depredación de especies que habitan cerca del agua
			Migración y Concentración (Pérdida de especies en algunas áreas y concentración en otras)
			Incremento del riesgo de pérdida de especies en peligro de extinción

Daños a la flora

			Incremento en el número y severidad de incendios
			Pérdida de Humedales
			Impactos por incremento de salinidad del agua
			Reducción de la humedad del suelo
			Pérdida de la biodiversidad
			Erosión del suelo por el viento y el agua
			Reducción de niveles de lagos y almacenamientos superficiales y artificiales
			Efectos en la calidad del agua (ejemplo: concentración de sal, pH, aumento de la temperatura del agua, oxígeno disuelto, turbiedad)
			Efectos en la calidad del aire (ejemplo: Polución, Polvo)
			Calidad del Paisaje (ejemplo: Polvo, vegetación, etc.)

Evento			Impacto Social
H	A	P	

			Estrés físico y mental (ejemplo: Ansiedad, depresión, pérdida de seguridad, violencia doméstica)
			Reducción en la nutrición (ejemplo: costos elevados de alimentos)
			Tensión relacionada con deficiencias de alimentación
			Pérdida de vidas humanas
			Seguridad pública para bosques y el rango de incendios
			Incremento de enfermedades respiratorias
			Conflictos entre usuarios de agua
			Conflictos políticos
			Conflictos administrativos
			Otros conflictos sociales
			Reevaluación de valores sociales
			Impactos culturales
			Desigualdad en la distribución de elementos de alivio de la sequía
			Desigualdad en los impactos de la sequía basados en: Grupos socioeconómicos
			Desigualdad en los impactos de la sequía basados en: Grupos étnicos
			Desigualdad en los impactos de la sequía basados en: Edad
			Desigualdad en los impactos de la sequía basados en: Género
			Antigüedad
			Pérdida de sitios culturales
			Pérdida de valores estéticos
			Conflictos por usos institucionales del agua

Evento			Impacto Social
H	A	P	

Reducción en la calidad de vida, cambios en el estilo de vida

			En áreas rurales
			En áreas urbanas específicas
			Aumento de zonas de pobreza
			Incremento de datos e información necesarios y actividades de coordinación
			Migración (Rural a áreas urbanas)

TABLA 1.3 Valoración de impactos de una sequía (H) Sequía Histórica, (A) Sequía Actual, (P) Sequía Potencial.

PASO 3. LISTADO DE JERARQUIZACIÓN DE IMPACTOS DE LAS SEQUÍAS

Una vez realizada la valoración de los impactos de una sequía se debe realizar un listado de los impactos relevantes en la región.

La nueva lista de los “recientes” impactos debe ser clasificado de acuerdo a la importancia de los mismos. Para ser eficaz y justo, la nueva clasificación debe considerar aspectos tales como costos, extensión, tendencias sobre el tiempo, opinión pública y la habilidad que tenga la región afectada para su recuperación. El público en general, comités públicos, grupos científicos y políticos deben participar en la clasificación, es recomendable que las decisiones a ser tomadas tengan la participación de tantos grupos como sea posible para la formulación de políticas equitativas.

Una vez determinado el impacto de más alta prioridad, puede ser útil la formulación de las siguientes preguntas.

¿Qué impactos son los que más afectan al estilo de vida individual o de grupo?

¿Si estos impactos no se distribuyen uniformemente, los grupos más afectados deben recibir mayor atención?

¿Hay una tendencia de impactos particulares que son más problemáticos que otros?

También puede ser útil desarrollar algún tipo de matriz, como la mostrada en la tabla 1.4 que puede ayudar a organizar la información utilizada en la toma de decisiones:

Impacto	Costo	¿Igualmente distribuido?	¿Incrementándose?	¿Prioridad pública?	¿Recuperación equitativa?	Rango del impacto

Tabla 1.4 Matriz de decisiones sobre los impactos de la sequía

De la lista de impactos priorizados mediante la matriz anterior, la siguiente necesidad es decidir que impactos deben ser analizados y cuales son tan pequeños que pueda posponerse su atención. De nuevo (Urgencia, Distribución, etc.) deben tenerse en cuenta.

El resultado de los pasos anteriores es el desarrollo de listas de impactos de alta prioridad los cuales son relevantes para una determinada región o actividad, esta lista esta apoyada por investigadores científicos, políticos y el público en general.

PASO 4. VALORACIÓN DE LA VULNERABILIDAD

La valoración de la vulnerabilidad es una herramienta que permite identificar las causas sociales, económicas y ambientales de los impactos de una sequía. Es el puente entre la valoración de los impactos y la formulación de políticas, dirigiendo la atención hacia las causas de la vulnerabilidad en lugar de aplicar políticas en el instante en que sucede el fenómeno. Por ejemplo el efecto directo de las deficiencias de la precipitación puede reducir el rendimiento de las cosechas. La causa puede ser que los granjeros no utilizan semillas resistentes a la sequía por su costo mas elevado o por algún compromiso a las creencias culturales.

Es importante por lo tanto la realización de combinaciones de factores que producen un impacto dado (por ejemplo: ambientales, económicos y sociales). Podría ser benéfica la realización de diagramas de interrelación como los presentados a continuación:

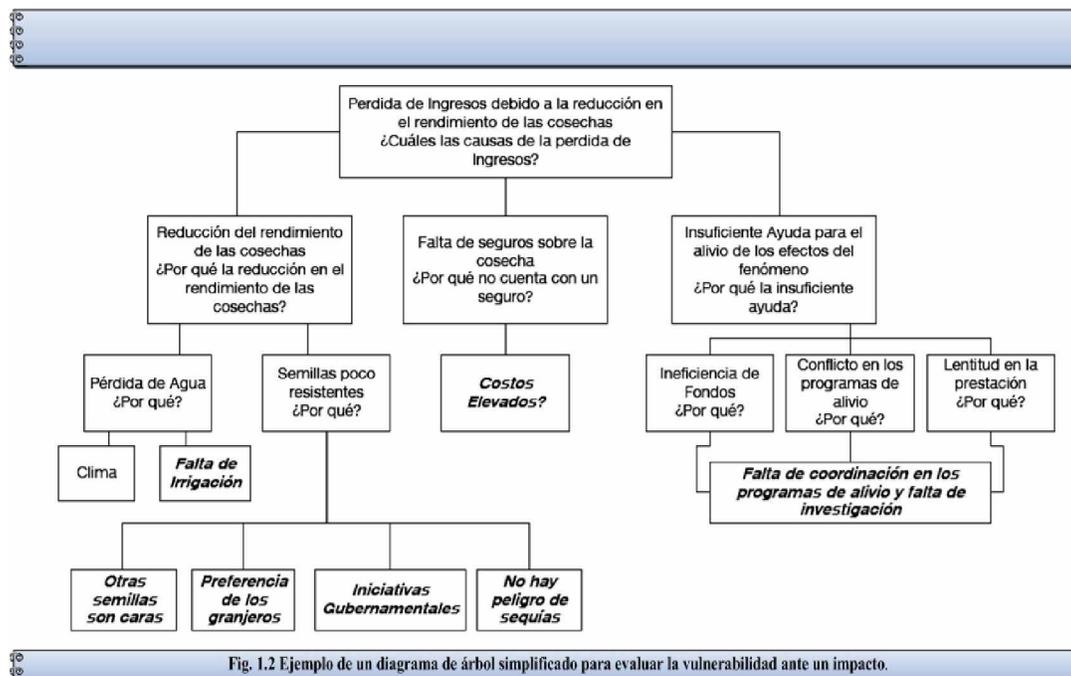


Fig. 1.2 Ejemplo de un diagrama de árbol simplificado para evaluar la vulnerabilidad ante un impacto.

El diagrama anterior como otros que pueden ser realizados muestra lo complejo que resulta entender los impactos de la sequía. Básicamente el propósito del diagrama anterior es demostrar que los impactos pueden ser examinados desde diferentes perspectivas para exponer las verdaderas causas. Las causas mostradas en negrita en la figura 1.2 son aquellas sobre las cuales se debe actuar, en este ejemplo, para reducir los impactos. Estas causas se las denominara “Causas Básicas”.

PASO 5. IDENTIFICACIÓN DE ACCIONES

Una vez que los impactos de la sequía han sido priorizados (Paso 3) y la correspondientes causas de vulnerabilidad han sido expuestas (Paso 4), llega el momento de identificar las acciones necesarias para reducir el “Riesgo de la Sequía”. De acuerdo al enfoque global la meta es mitigar los efectos de una sequía en lugar de actuar cuando esta ocurre, por lo tanto las acciones a tomar se deben enfatizar en mitigar los efectos y no así en las políticas de confrontación en el momento que ocurre una sequía. En este punto se debe investigar que acciones pueden ser tomadas para el tratamiento de cualquiera de las causas básicas.

La siguiente secuencia de preguntas puede ayudar en la identificación de las posibles acciones potenciales.

Primero. ¿Pueden las causas básicas ser mitigadas (pueden estas ser modificadas antes de una sequía); Si es posible, cómo?

Segundo. ¿Pueden las causas básicas ser atendidas (pueden estas ser atendidas durante o después de un periodo de sequía); Si es posible, cómo? ¿Es esta una causa básica o simplemente un aspecto de una causa básica que no puede ser modificada y deber ser aceptada como un riesgo relacionado con la sequía para una actividad o región?

Como una referencia en la identificación de las posibles acciones potenciales, la lista presentada en los instrumentos para reducir los daños tema 1.5.3 muestra varias acciones propuestas para la planificación de la reducción de los impactos de las sequías.

Estas acciones no son necesariamente recomendaciones. Como se discutirá en el siguiente paso, no todas las ideas son apropiadas para todos los casos, muchas de ellas se aplican mejor en el momento en que se presenta el fenómeno, en políticas a corto plazo, en administración de una crisis, en lugar de mitigación a largo plazo o administración del riesgo. Las respuestas de emergencia son importantes en la planificación de una sequía pero estas deben ser únicamente una parte de las estrategias de mitigación.

PASO 6. DESARROLLO DE LAS ACTIVIDADES POR REALIZAR

Una vez identificados los impactos, causas y acciones potenciales el siguiente paso es elegir que acciones serán incluidas en la planificación de la reducción del riesgo.

Esta selección debe basarse en la factibilidad, efectividad, costo y equidad. Para la selección de las acciones apropiadas puede ser útil responder las siguientes preguntas.

- ¿Cuáles son los rangos de Beneficio/Costo?
- ¿Qué acciones son factibles y apropiadas para el público en general?
- ¿Qué acciones son sensibles al ambiente local?
- ¿Están las acciones dirigidas a la correcta combinación de causas para reducir el impacto?
- ¿Estas acciones son a corto o largo plazo?
- ¿Las acciones tomadas afectan al orden individual o de grupo?

Una vez completado el Paso 6, el análisis ha finalizado, se ha seguido un proceso que permite identificar los impactos de la sequía, vulnerabilidad y las causas básicas ligadas a la vulnerabilidad. Pero aún más importante se ha logrado identificar la lista de “Acciones a seguir” a largo plazo para mitigar los efectos de una sequía.

1.5.6 Evaluación posterior al periodo de sequía

Una evaluación posterior al periodo de sequía permite la recopilación de documentación y análisis de las acciones de evaluación y respuesta de las organizaciones involucradas en el fenómeno, es decir, el gobierno e instituciones no gubernamentales, y provee mecanismos para impulsar recomendaciones que permitan mejorar el sistema. Es decir se trata de evaluaciones que permiten aprender de los éxitos y el fracaso de las medidas adoptadas en periodos de sequía ya pasados.

Esta evaluación debe incluir un análisis de los aspectos climáticos y de medio ambiente, su impacto social y económico, el alcance de las medidas de mitigación en periodos de sequía pasados, en que medida se produjo una reducción en los impactos causados por la sequía, además de mecanismos que permitan facilitar la ayuda o asistencia a las áreas afectadas y en la recuperación posterior al fenómeno. El siguiente ejemplo de matriz puede ayudar a organizar las acciones relevantes.

Impacto de la sequía	Causa de Vulnerabilidad	Acciones posibles	(M) (R) (RA)	Factible?	Efectiva en la reducción de los impactos?	Beneficio/Costo	Justo	¿Por hacer?
Perdida de Ingresos por reducción del rendimiento de las cosechas	Variable Climática	Modificación del clima	M					
		Monitoreo del clima	M					
	Falta de Irrigación	Mayor suministro de Agua durante la sequía	RA					
		Asistencia Gubernamental para proyectos	M					
	Semillas Costosas	Subsidio en la venta de semillas	M					
	Preferencia de los granjeros sobre una determinada semilla	Realización de talleres	M					
		Investigaciones	M					
		Reforzar la comunicación	M					
	Iniciativas gubernamentales para la cosecha de plantas específicas	Incentivos	M					
	Ninguna advertencia de sequía	Monitoreo del clima	M					
		Identificar "Indicadores"	M					
	Costos elevados de seguros para las cosechas	Subsidios Gubernamentales	RA					
	Falta de investigación acerca de políticas de alivio de la sequía	Identificar grupos de trabajo y criterios de alivio	M					

Tabla 1.5 Matriz de identificación de acciones contra el riesgo de una sequía ((M) Mitigación, (R) Respuesta y (RA) Riesgo asumido.

CAPITULO DOS: INDICES DE SEQUÍAS

2.0 CARACTERIZACIÓN DE SEQUIAS

La mayoría de los métodos orientados a la evaluación de la sequía tienen la finalidad de determinar a través del tiempo la ocurrencia de eventos anormales de la precipitación que se presentan en una región (Komuscu, 1999). Los índices de sequía se fundamentan en un análisis estadístico de información meteorológica que permite la identificación del evento, su intensidad, duración, frecuencia y distribución geográfica. En el ámbito mundial, se han desarrollado diversos sistemas de monitoreo de la sequía, con distintos niveles de detalle. Destacan, por su carácter nacional y con sistemas en tiempo real el Drought Monitor (EUA), NOAA Drought Information Center (EUA) y el Drought Watch (Canada). A nivel más global, existen el Drought Monitoring Centerter (Africa) y el North American Drought Monitor, implementado por diversas instituciones de Canadá, Estados Unidos de América y México en el año 2002.

Con el fin de comparar y definir las características de las sequías se han propuesto un conjunto de índices.

2.1 INDICES DE SEQUÍAS.

Un índice de sequía agrupa miles de datos de lluvia, nieve, flujo de corriente y otros indicadores de suministro de agua en una imagen comprensible. Un índice es típicamente un número único, pero mucho más útil que los datos crudos para tomar decisiones.

Los índices de sequías agrupan grandes cantidades de datos en un valor numérico, permitiendo con ello dar una noción del déficit hídrico en una determinada zona. Entre las principales variables, que pueden considerar los índices de sequías, se encuentran:

- Precipitación
- Evapotranspiración
- Caudales en cauces naturales
- Niveles de lagos y embalses
- Niveles de acuíferos
- Pronósticos
- Temperatura
- Pérdida de humedad del suelo
- Humedad antecedente del suelo
- etc.

El primer uso que se le puede dar a los índices de sequías está en la definición de las mismas y la caracterización de sus grados de severidad.

Las características de la sequía serán expresadas en términos de:

- 1 Índice de sequía,
- 2 Intensidad-duración-frecuencia

Una vez que se tiene conciencia de que se está en un periodo de sequía, se pueden activar sistemas de alerta, que tengan por fin adoptar las medidas pertinentes para mitigar las consecuencias del fenómeno. Por tal motivo, los índices de sequías debiesen ser del interés de todo tomador de decisión relacionado con el recurso hídrico, agricultores y los concesionarios de servicios de agua potable.

Existen muchos índices y ninguno de ellos es mejor que el resto de todos en todas las circunstancias. Ello ocurre por que la naturaleza de las fuentes y los usos, de los distintos sistemas hídricos. Además, la cantidad de información, disponible para calcular los índices no es la misma en todas partes. Por ejemplo, en sistemas que tengan embalses será mejor utilizar un índice que tenga como entrada, para su cálculo, los niveles de los mismos o que tenga una memoria de largo plazo, acorde a su tipo de regulación, anual.

2.1.1 Clasificación de índices de sequías

Los índices se pueden clasificar en particulares y generalizados. Los primeros son los que toman en cuenta una o más variables, particulares del sistema, y emplean su magnitud como un indicador, en base a la experiencia histórica o con una base técnica. Los niveles de embalses, del acuífero, la lluvia precipitada, son ejemplos de este tipo de índice.

Los índices generalizados, por otra parte, tienen por objeto estandarizar la información, de modo tal que esta sea comparable con otros sistemas.

2.1.1.1 Porcentaje de Precipitación Normal

El Porcentaje de Precipitación Normal ((PPN) es uno de los índices más sencillos, y también más usado. Se calcula dividiendo la precipitación acumulada a la fecha por la precipitación normal a la fecha; comúnmente se consideran los últimos 30 años; y se multiplica por 100. Por precipitación normal se entiende la precipitación media. Puede ser calculada para una variedad de escalas de tiempo. Usualmente estas escalas de tiempo van desde un grupo de meses, representativos de una estación, a un año (que puede ser el calendario o el hidrológico). También es posible calcularlo mes a mes, a partir de un mes dado, que puede ser, por ejemplo, el primer mes del año hidrológico o civil.

Una de las desventajas de usar este índice es que el promedio de las precipitaciones es usualmente distinto a la mediana, que es el valor que es excedido por el 50% de la serie. Esto es debido a que las series de precipitación no siempre siguen una distribución normal.

Otra desventaja es que en la suma acumulada de precipitaciones el último valor tiene el mismo peso que el primer valor de la sumatoria. En periodos prolongados las condiciones más recientes pueden dominar el estado del sistema.

2.1.1.2 Variabilidad de la precipitación anual (Escalante y Reyes, op. cit.)

A la relación de la desviación estándar a la media de la precipitación anual, se le conoce como coeficiente de variación de la precipitación media anual, se utiliza frecuentemente como un índice de sequía. Donde las sequías son más frecuentes el coeficiente es mayor de 0.35; para el caso contrario el coeficiente varía entre 0.15 y 0.25.

2.1.1.3 Deciles

Otra técnica para monitorear la sequía consiste en ordenar los datos de precipitación mensual en deciles. Esta técnica fue desarrollada para evitar alguna de las debilidades de la aproximación "porcentaje del normal". Esta técnica divide la distribución de ocurrencias de registros de precipitación a largo plazo en décimos de la distribución. Cada una de estas categorías es un "decil". El primer decil es la cantidad de lluvia no excedida por el 10% más bajo de las ocurrencias de precipitación. El segundo decil es la cantidad de precipitación no excedida por el 20 % más bajo de las ocurrencias. Estos deciles continúan hasta que la cantidad de lluvia identificada por el décimo decil es la cantidad de precipitación más grande dentro del registro de largo plazo. Por definición el quinto decil es la mediana, y es la cantidad de precipitación que no exceda el 50 % de las ocurrencias sobre el periodo de registro. Los deciles son agrupados en cinco categorías.

Deciles 1-2 20 % más bajo	Muy abajo de lo normal
Deciles 3-4 Siguiente 20 % más bajo	Abajo de lo normal
Deciles 5-6 Mitad 20 %	Cercano a lo normal
Deciles 7-8 Siguiente 20 % más alto	Arriba de lo normal
Deciles 9-10 20 % más alto	Muy arriba de la normal

Tabla 2.1 Clasificación de deciles

Una desventaja de este índice es el requerimiento de datos, por lo cual se necesita mucha información para establecer adecuadamente los deciles.

2.1.1.4 Índice de Sequía de Palmer

El Índice de Severidad de Sequías de Palmer, PDSI (Palmer Drought Severity Index), desarrollado por Palmer en 1965, ha sido usado cerca de cuatro décadas como un indicador meteorológico de la severidad de las sequías. El índice de Palmer es particularmente útil para analizar las sequías a nivel de cuencas o regiones, como a nivel nacional, por el hecho de estar estandarizado. Cuando se compara el índice de Palmer con el escurrimiento superficial, el índice refleja el correspondiente déficit de agua, por lo que es apropiado para medir sequías hidrológicas.

El PDSI se basa en un balance hídrico hecho en un elemento de suelo, el que lleva un registro de las condiciones de humedad del sistema. El valor de PDSI es un reflejo de cómo las condiciones de humedad del suelo se comparan con las condiciones normales. Un valor del PDSI es usualmente una combinación de las condiciones climáticas recientes del sistema y los valores previos del índice. Palmer supuso que la severidad de los efectos de las sequías es proporcional a los cambios relativos de las condiciones normales del clima. Por ejemplo, si un clima tiene desviaciones muy leves respecto a la normal, experimenta un periodo seco moderado, los efectos podrían ser dramáticos. Por otra parte, para causar efectos similares en un clima que tiene grandes variaciones, puede ser necesario un período muy seco.

Para el cálculo del índice se necesita información mensual de precipitación y evapotranspiración potencial. A partir de las entradas se pueden calcular todos los términos básicos de la ecuación de Balance Hídrico, incluyendo la evapotranspiración, la recarga del suelo, el escurrimiento superficial y la pérdida de humedad de la capa superficial de suelo.

El índice es la suma del valor de anomalía de humedad reciente y una fracción del valor previo, definiéndose como anomalía de humedad la siguiente expresión:

$$d = P - P' \quad (2.1)$$

Donde P es el valor precipitación mensual, y P' es el valor de precipitación climatológicamente normal para el mes, esta representa la ecuación de Balance Hídrico definida como:

$$P' = ET + RO + (R' - L') \quad (2.2)$$

Donde ET es la evapotranspiración, RO es el escurrimiento, R' es la recarga de humedad del suelo, y L' es la pérdida de agua del suelo. Los valores anteriores representan los valores promedio mensuales de un periodo de calibración, es decir, el periodo de registro de datos.

El Índice de anomalía de Palmer (Z) se define como:

$$Z = k d \quad (2.3)$$

y el índice de Severidad de Sequía de Palmer PDSI para un determinado mes se define como:

$$PDSI_i = 0.897PDSI_{i-1} + Z_i/3 \quad (2.4)$$

(K) es el factor climático de peso y es aplicado para obtener índices comparables significativamente en tiempo y espacio. Los valores del PDSI caen dentro de muchas categorías entre valores de sequía extrema y valores de humedad extrema.

El indicador de Palmer es famoso porque (1) ofrece a los responsables de la toma de decisiones una medida de las anomalías meteorológicas recientes, para una región determinada, (2) ofrece una oportunidad para situar las condiciones actuales en la perspectiva histórica, y (3) proporciona representaciones en el espacio y en el tiempo de las sequías históricas. Sin embargo, a la hora de utilizar este indicador, existen limitaciones y desventajas considerables pues, por ejemplo, puede tardar varios meses en pronosticar las previsiones de sequías, no es muy adecuado para zonas montañosas o con frecuentes cambio climáticos extremos, es complejo y por lo tanto tiene una escala de tiempos integrada y sin especificar, que puede inducir a error. Alley, et al. 1984, ofrecen una evaluación más detallada de este indicador.

2.1.1.5 Índice Palmer de Sequía Hidrológica (Escalante op. Cit.)

El PHDI (Palmer Hydrological Drought Index) describe la deficiencia anormal de humedad en el suelo, utilizando el mismo principio, ecuaciones de suministro de humedad, demanda y la consideración de la máxima severidad en la sequía como el PDSI. La principal diferencia es que en el inicio y el término de los periodos secos y húmedos, el PHDI responde más lentamente a los cambios en el clima. Esto ocurre a través del uso de una relación en el PDHI que expresa la humedad recibida como un porcentaje de aquella requerida para que termine la sequía. La

ventaja de este retraso en la respuesta es que mientras el clima puede retornar a la normalidad puede existir aún un déficit en la humedad del suelo, escurrimiento y nivel de los lagos. Una respuesta más lenta en el tiempo permite la recuperación de esas características hidrológicas y así el índice describe mejor a la sequía hidrológica.

Por estar diseñado para hacer un seguimiento a corto plazo de las condiciones de humedad que afectan a un cultivo en desarrollo, el PHDI no es un buen instrumento para hacer un seguimiento de la sequía a largo plazo. Otro rasgo característico del PHDI, que limita su uso, es que, normalmente, comienza y finaliza cada temporada vegetativa con valores próximos a cero, por lo que no se puede utilizar para valorar las condiciones de humedad fuera de la época vegetativa general, y, en especial, en períodos de sequía que se prolongan durante varios años. El PHDI tampoco es de aplicación durante la fase de germinación de las semillas, al comienzo del período de crecimiento de un cultivo concreto.

PHDI	CLASE
4.00 o más	Extremadamente húmedo
3.00 a 3.99	Muy húmedo
2.00 a 2.99	Moderadamente húmedo
1.00 a 1.99	Ligeramente húmedo
0.50 a 0.99	Incipientemente húmedo
0.40 a - 0.49	Incipientemente seco
-0.5 a -0.99	Cercano a lo normal
-1.0 a -1.99	Sequía ligeramente moderada
-2.0 a -2.99	Sequía moderada
-3.0 a -3.99	Sequía severa
-4.0 a less	Sequía extrema

Tabla 2.2 Clasificación de PDSI

2.1.1.6 Índice de Suministro de Agua Superficial

Este indicador fue desarrollado por Shafer y Dezman, en 1982, como un complemento del Indicador de Palmer, con el fin de evaluar las condiciones de humedad en el estado de Colorado. El Índice de suministro de agua superficial (ISAS), complementa al Índice de Palmer para condiciones de humedad. El Índice de Palmer es básicamente un algoritmo de humedad del suelo calibrado para regiones relativamente homogéneas. No está diseñado para grandes variaciones topográficas a través de una región y no considera la acumulación de nieve y su subsecuente escurrimiento. El ISAS fue diseñado para ser un indicador de las condiciones de humedad de superficie, incluyendo la acumulación de nieve en la montaña.

El objetivo del ISAS es incorporar tanto las características hidrológicas como climatológicas en un solo índice parecido al Índice de Palmer y aplicarlo a la mayoría de las cuencas de los ríos. Los valores del ISAS están estandarizados para permitir la comparación entre cuencas. Cuatro variables son requeridas: acumulación de nieve, el flujo laminar, precipitación y el agua almacenada en los embalses. El ISAS es dependiente de la estación del año; por lo tanto es calculado en el invierno y toma en cuenta la nieve acumulada, precipitación y las reservas de agua acumuladas. Durante el verano el flujo laminar reemplaza la acumulación de nieve como un componente del ISAS. (Para esta época del año o para esta estación)

El procedimiento para determinar el ISAS para una cuenca en particular es el siguiente: los datos mensuales de precipitación son colectados y sumados para todas las estaciones

climatológicas, junto con las estaciones a través de la cuenca que tienen datos de almacenamientos, acumulación de nieve y flujo laminar. Cada componente sumado es normalizado usando un análisis de frecuencia obtenido de un conjunto de datos en un periodo de largo plazo. La probabilidad de no excedencia es determinada para cada componente basada en el análisis de frecuencia. Esto permite comparaciones de las probabilidades entre las componentes. Cada componente tiene un peso asignado, dependiendo de su contribución típica al agua superficial dentro de la cuenca. Estos componentes "pesados" son sumados para determinar el valor del ISAS en toda la cuenca. Al igual que el Índice de Palmer, el ISAS está centrado en cero y tiene un rango entre -4.2 a $+4.2$.

El ISAS se ha utilizado, junto con el Indicador de Palmer, para poner en marcha la activación y desactivación del Plan de Sequías en Colorado. Una de sus ventajas es que es sencillo de calcular y que ofrece una medida representativa de los recursos de aguas superficiales de la región en estudio. Sin embargo, algunas de sus características limitan su aplicación, por el hecho de que el ISAS se calcula específicamente para cada cuenca o región y, por ello, es difícil comparar los valores del mismo entre unas y otras. Cualquier cambio o interrupción en las mediciones tomadas por cualquier estación de observación, o en la gestión del agua dentro de la cuenca, como puede ser la desviación del cauce o el establecimiento de nuevos embalses, significa que todo el cálculo del ISAS para esa cuenca tiene que ser realizado de nuevo, con el objetivo de tener en cuenta las nuevas distribuciones de frecuencia y/o los cambios en el peso de cada elemento de las sumas. Los fenómenos extremos, si están fuera de las series históricas de datos, también suponen un problema, y el indicador tendrá que ser calculado de nuevo para incluir estos fenómenos dentro de la distribución de frecuencias de un elemento de la cuenca.

2.1.1.7 Índice de reclamación de sequía

El Índice de reclamación de sequía (IRS) fue desarrollado por el Bureau of Reclamation norteamericano (USBR) como una herramienta para definir la severidad y duración de la sequía y para predecir el inicio y el final de ese periodo.

Al igual que el ISAS, el IRS es calculado a nivel de cuenca de un río. Incorpora los componentes de la precipitación, nieve acumulada, flujo laminar y niveles de reserva. El IRS difiere del PDSI en que está construido con una componente de demanda basada en la temperatura y una duración dentro del índice. El IRS es adaptable a cada región en particular y su principal fortaleza es la habilidad de tomar en cuenta tanto el clima como los factores de suministro de agua. Como se muestra en la Tabla 1.8, los valores del IRS y designación de severidad son similares a los índices de SPI, PDSI y el ISAS.

4 o más	Extremadamente húmedo
1.5 a 4	Moderadamente húmedo
0 a 1.5	Normal a ligeramente húmedo
0 a -1.5	Normal a ligeramente seco
-1.5 a -4	Moderadamente seco
-4 o menos	Extremadamente seco

Tabla 2.3 Índice de Reclamación de sequía

La ventaja del (IRS) es que, incluyendo un componente de temperatura, también tiene en cuenta la evaporación. Sin embargo, debido a que este indicador es único para cada cuenca, las comparaciones entre cuencas son limitadas.

2.1.1.8 Índice de precipitación Estándar

El entendimiento de que el déficit de precipitaciones tiene diferentes impactos en los niveles del acuífero, volúmenes almacenados, humedad del suelo y, por supuesto, en el escurrimiento superficial, lleva a Mckee et al., en 1993 a desarrollar el índice de precipitación estándar o SPI (Standardized Precipitation Index). El SPI es diseñado para cuantificar el déficit de precipitaciones para distintas escalas en el tiempo. Estas escalas de tiempo reflejan el impacto de las sequías en la disponibilidad de agua de las distintas fuentes del sistema. Las condiciones de humedad del suelo responden a anomalías de la precipitación en escalas de tiempo pequeñas, mientras que las aguas subterráneas, ríos y embalses responden a anomalías en escala de tiempo mayores. Por estas razones Mckee propone el cálculo del SPI para 3, 6, 12, 24 y 48 meses.

Para calcular el SPI se procede de la siguiente manera:

Se generan series para la escala de tiempo, para las que se desea calcular el SPI. Por ejemplo si se desea calcular el SPI para una escala de tres meses, se calcula como lo muestra la tabla 2.4.

PRECIPITACIÓN MENSUAL	ESCALA DE TRES MESES
X_1	
X_2	
X_3	$X_1 + X_2 + X_3$
X_4	$X_2 + X_3 + X_4$
X_5	$X_3 + X_4 + X_5$
...	...
X_n	$X_{n-2} + X_{n-1} + X_n$

Tabla 2.4 Cálculo de la serie para determinar el SPI

A la serie generada en el primer paso se le ajusta una función de distribución.

Dado un cierto nivel de precipitación acumulada, para la escala de tiempo seleccionada, se calcula la probabilidad de excedencia, en base a la función de distribución seleccionada.

Para el complemento de la probabilidad, calculada en el punto anterior, se calcula el valor de la variable normalizada, como la inversa de la función de distribución normal acumulada. El valor resultante corresponde al SPI.

En un sistema de abastecimiento de agua se pueden definir valores umbrales para ver en que fase de una sequía se encuentra el sistema (Guttman, 1998). Mckee et. al. (1993) hace uso del sistema de clasificación mostrado en la tabla 2.5, para la caracterización del estado de sequía. Debe decirse, que clasificar sequías, de una forma estándar, como el señalado, si bien permite hacer comparaciones entre distintas zonas, sólo toma en consideración la disponibilidad del recurso hídrico, pero no así su demanda.

VALOR DEL SPI	INTENSIDAD DE SEQUIA
2.0 y más	Extremadamente húmedo
1.5 a 1.99	Muy húmedo
1.0 a 1.49	Moderadamente húmedo
-0.99 a 0.99	Normal
-1.0 a -1.49	Moderadamente seco
-1.5 a -1.99	Muy seco
-2.0 y menos	Extremadamente seco

Tabla 2.5 Caracterización de sequías según el SPI

El valor del (SPI) al ser normalizado indica que los periodos secos y húmedos se presentan de la misma forma, entonces, este índice puede ser también aplicado para el seguimiento de periodos húmedos.

Un fenómeno de sequía aplicando este índice se puede caracterizar de la siguiente manera, cada periodo de sequía tiene un comienzo y un final definido, la intensidad es diferente cada mes y la intensidad es el valor mínimo del (SPI) en el periodo de sequía.

El índice de severidad de sequía de Palmer PDSI y el índice de precipitación estándar SPI son los índices más utilizados a nivel mundial por que son los que caracterizan mejor los períodos de sequía, es decir permiten determinar claramente, el inicio, la duración, la intensidad y el final de cada período de sequía.

Podemos mencionar las ventajas y desventajas que ofrecen estos dos métodos de la siguiente manera:

ÍNDICE DE SEVERIDAD DE SEQUÍA DE PALMER	ÍNDICE DE PRECIPITACIÓN ESTÁNDAR
Ofrece una medida de las anomalías meteorológicas de la región, precipitación, evapotranspiración, etc. Permite la representación tanto temporal como espacial del fenómeno. Dentro de las desventajas se puede mencionar el mayor número de variables requeridas para su obtención, lo que en regiones, caracterizadas por la falta de datos meteorológicos es desfavorable, su cálculo es más complejo, además para la determinación de la evapotranspiración se limita al uso del método de Thornthwaite, el cual es aceptable pero representa solo una aproximación.	Permite una representación tanto temporal como espacial del fenómeno, requiere de menor número de datos para su determinación lo que significa una ventaja en zonas con deficiencia de registros, se puede determinar para diferentes escalas de tiempo. Al ser un índice estandarizado los periodos secos y húmedos tiene la misma probabilidad de ocurrencia, por lo tanto también se puede monitorear periodos húmedos con este índice. Una de las desventajas es que para validar los resultados se debe realizar un estudio de correlación con el (PDSI) para ver que escala de tiempo se aplica mejor a las condiciones de la región lo que implica tiempo.

Tabla 2.6 Ventajas y desventajas de los índices PDSI y SPI.

2.1.1.9 Indicador de Aridez de Palfai (PAI) (Palfai, 1984)

Este indicador lo desarrolló Palfai, en 1984, principalmente para su uso en Hungría, y en la cuenca Cárpatha, para caracterizar la intensidad de una situación de aridez (sequedad), mediante un solo dígito, derivado de unos pocos parámetros meteorológicos e hidrológicos. En la fórmula básica para el cálculo del indicador de aridez (PAI), la temperatura media del aire (°C), en el período entre abril y agosto, se divide entre la precipitación total (mm), obtenida como suma de los valores mensuales ponderados entre octubre y agosto, y se multiplica por 100. Los pesos mensuales de los valores de precipitación se basan en las condiciones de almacenamiento de humedad y en los cambios de la demanda general de agua por los cultivos. Las estimaciones de

los factores de peso son las siguientes (con relación a las condiciones naturales de la cuenca del Cárpatos):

0,1	en octubre
0,4	en noviembre
0,5	de diciembre a abril
0,8	en mayo
1,2	en junio
1,6	en julio
0,9	en agosto

Es evidente que el mes de julio es el periodo más crítico, desde el punto de vista de suministro de agua.

Para expresar la aridez con mayor exactitud se debe corregir el valor base del PAI0 mediante los siguientes factores:

a) Factor de corrección de la temperatura (días calurosos) (Kt), es la relación entre el número de días calurosos ($t_{max} = 30^{\circ}C$) durante el periodo de junio a agosto, y la media nacional multianual de este valor que, para Hungría, es de 16 días.

b) Factor de corrección de la precipitación (Kp), es la relación entre el número de días del periodo más largo de precipitación mínima (cuando la suma de las precipitaciones en días sucesivos no excede, como máximo, de 5 ó 6 mm), entre mediados de junio y mediados de agosto, y la media nacional multianual del mismo valor que, para Hungría, son 20 días.

c) Factor de corrección de aguas subterráneas (Kgw), es la relación entre la profundidad media (m) del manto freático durante los meses de noviembre a agosto (m), y el valor plurianual de esta profundidad, en una zona concreta. El empleo de este factor de corrección es importante para zonas llanas. En la práctica, lo mejor es utilizar los datos de los 2 ó 3 pozos de observación más próximos a la estación meteorológica o al punto de observación de otros datos.

El valor final del Indicador de Aridez Palfai (PAI) se obtiene a partir del valor base (PAI0), corregido como sigue:

$$PAI = Kt \times Kp \times Kgw \times PAI0 \quad (2.5)$$

Según experiencias realizadas en Hungría, el umbral de partida del Indicador de Aridez Palfai debería ser $PAI = 6.0$. Los valores menores, para un lugar concreto, corresponden a años húmedos, mientras que los superiores indicarían diferentes grados de severidad de la sequedad, según las siguientes categorías:

PAI	Aridez
6 y 8	moderada
8 y 10	media
10 y 12	severa
mayor que 12	extrema

Tabla 2.7 Grados de severidad de la sequedad de Palfai

El indicador se puede utilizar para hacer comparaciones entre situaciones húmedas y/o secas de diferentes periodos así como de diferentes áreas, y también es válido para fines de predicción, siempre y cuando el cálculo de los valores del PAI se haga de manera continua. Para una mejor caracterización de la situación de la sequía de una determinada zona agrícola o de una masa de cultivo, es aconsejable utilizar este indicador junto con el Potencial Agro-hidrológico.

2.1.1.10 Potencial Agro-Hidrológico (AHP) (Palfai et al., 1995)

Este indicador marca la demanda de agua como la capacidad de una zona determinada de satisfacer las necesidades de un cultivo concreto, que exista en ella, mediante el cociente entre el agua consumida (V_f) y la requerida (V_i). En otras palabras, el Potencial Agro-Hidrológico es la relación entre la evapotranspiración real de un cultivo (E_{treal}), y la evapotranspiración óptima del mismo ($E_{toptima}$). Según Petrasovits, (1984), este indicador puede mostrar, hasta qué punto y durante cuánto tiempo, es un terreno capaz de satisfacer la demanda de agua del cultivo que lo ocupa; este indicador también es útil para expresar la frecuencia de las sequías y de los diferentes grados de escasez de agua.

Los valores numéricos del AHP están comprendidos entre 0 y 1. De acuerdo con las investigaciones húngaras tales valores son:

- | | |
|----------------------|---|
| Si $AHP = 1,0 - 0,8$ | la escasez de agua del cultivo es sólo teórica, porque a las plantas se les suministra agua de forma continua e ilimitada. |
| Si $AHP = 0,8 - 0,5$ | la capacidad para satisfacer la demanda de agua de la zona sigue siendo continua, pero se va restringiendo progresivamente. |
| Si $AHP = 0,5 - 0,3$ | la escasez de agua empieza a ser alta, el suministro de agua a las plantas es periódico y restrictivo, y, como consecuencia, aparecen síntomas de estrés hídrico. |
| Si $AHP < 0,3$ | se produce un gran estrés hídrico, que causa considerables pérdidas de biomasa y, si esta situación se prolonga, también causa la muerte de la planta. |

Para expresar la severidad (o intensidad) de la sequía pareció bueno determinar el número de días con estrés hídrico, es decir, el número de días en los que los valores del AHP estaban por debajo de 0,5 (lo que significa que las plantas disponían de menos de la mitad del agua que necesitaban). El término “estrés hídrico” indica la tensión fisiológica que se produce en la planta como consecuencia de una falta – o exceso - de agua, que causa en ella daños vegetativos o degenerativos, y reduce su cosecha. Cuantos más días dure la situación de estrés hídrico más severa será la sequía para las masas de cultivo, o para toda una zona.

Con la ayuda de este método se puede hacer el diagnóstico de la sequía de una parcela agrícola dada, o de una zona, y, mediante el cálculo de los datos de frecuencia, se puede calcular el grado de sensibilidad frente a la sequía de toda clase de plantas o de parcelas cultivadas, lo cual puede servir de base para determinar una estrategia ante la sequía.

Para cada parcela (área), o para cada cultivo, se puede calcular la relación que existe entre los valores del AHP y los rendimientos potenciales de una determinada especie vegetal, y mediante estos resultados se puede expresar la intensidad del efecto de la sequía.

CAPITULO TRES: EL EFECTO DE LA LONGITUD DE REGISTRO EN EL CÁLCULO DEL INDICE DE PRECIPITACIÓN ESTANDAR (SPI) (Wu. H.; *et.al.* ; 2004)

3.0 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se pretende investigar el efecto de la longitud del registro de precipitación en el cálculo del SPI, se analizará a partir de los coeficientes de correlación lineal, el de Spearman, el de concordancia, y a través de la consistencia de la caracterización en las categorías de humedad/sequedad entre registros de diferente longitud. También se comparará el efecto en algún año específico con características de humedad o sequía establecida y se compararan las intensidades de sequías espacial y temporalmente. Se revisarán los estimadores de la función de distribución de probabilidad utilizada y se analizarán sus discrepancias, con esto podremos inferir el efecto de la longitud de los registros para el cálculo del SPI.

3.1 ANTECEDENTES

El Índice Estándar de Precipitación (SPI) fue diseñado para mejorar la detección del comienzo de la sequía y para el monitoreo de la misma (McKee et al., 1993). Entre otros el Centro Climatológico de Colorado (CCC, 2004), el Centro Climatológico de la región Oeste (WRCC, 2004) y el Centro Nacional de Mitigación de la Sequía (NDMC, 2004), todas ellas instituciones Americanas recurren al uso del Índice de Precipitación Estandarizado (SPI); para el monitoreo del estado de la sequía en los Estados Unidos de Norte América. Hayes et. al.(1999) demostraron como el SPI al variar las escalas de tiempo podría ser usado operacionalmente para monitorear la sequía desde su inicio hasta su finalización en el sureste de los Grandes Planicies y del suroeste de los Estados Unidos de Norteamérica. Ellos concluyeron que usando el SPI para monitorear la sequía, este seria una herramienta que permitiría detectar a tiempo las condiciones iniciales, y que podría impulsar la respuesta oportuna de las autoridades.

El SPI se basa en un análisis que permite determinar anomalías en el régimen de humedad de una región en particular en la cual se cuente con datos históricos de precipitación.

El SPI es una medición de la sequía más simple que el Índice de Severidad de la Sequía de Palmer (PDSI) y se basa solamente en las probabilidades de ocurrencia de precipitación para un periodo dado. Algunos investigadores han demostrado que el SPI con diferentes escalas de tiempo, es una mejor herramienta para detectar el inicio y fin de una sequía (Szalai y Szinell, 2000). Las ideas y teorías que fundamentan al SPI se basan en admitir que la lluvia, como componente básica del ciclo hidrológico, según su abundancia o escasez, es el factor que define que un periodo y área determinados sean o no deficientes en agua, con respecto a las condiciones normales de largo plazo. Una excelente cualidad del SPI y que no se ha desarrollado para otros métodos, es que se pueden hacer los ajustes y transformaciones mencionados a periodos diferentes múltiples de un mes. Esto es importante porque frecuentemente se requiere analizar lo que sucede en un periodo determinado: la estación lluviosa, el año agrícola, el año calendario, dos o tres años consecutivos, o cualquier otro periodo de interés (McKee et al., op. cit).

Este índice, además de ser una variable que se puede determinar fácilmente, se puede aplicar a cualquier región del mundo, porque no depende más que de la precipitación ocurrida en esa región. A escala mundial de acuerdo con datos del NDMC alrededor de sesenta países utilizan el SPI para monitorear y analizar las sequías.

El procedimiento a seguir para su determinación puede ser automatizado y se explica a continuación:

La determinación de una función de densidad de probabilidad es un paso esencial en el cálculo del SPI. Guttman (1999) comparo diferentes valores del SPI para seis diferentes funciones de probabilidad. Él concluyo que la función de distribución de probabilidad Pearson de tres parámetros es la de mejor ajuste para el cálculo del SPI. Para nuestro análisis utilizaremos la función Gamma de dos parámetros, obteniendo los parámetros por máxima verosimilitud, ya que es la función que más se utiliza a nivel mundial para estimar el SPI.

La función de densidad gamma esta definida por:

$$g(x) = \frac{x^{-1} e^{-x/\alpha}}{\Gamma(\beta)} \quad (3.1)$$

para $x > 0$

donde α es el parámetro de escala ($\alpha > 0$) y β es el parámetro de forma ($\beta > 0$), x es la precipitación acumulada ($x > 0$). Y

$$\Gamma(\beta) = \int_0^{\infty} y^{-1} e^{-y} dy \quad (3.2)$$

Donde $\Gamma(\beta)$ es la función Gamma completa.

Los parámetros de la distribución se estiman para la escala de interés deseada (pueden ser semanas o meses), la estimación de los parámetros por máxima verosimilitud es por:

$$\alpha' = x_m / \beta \quad (3.3)$$

$$\beta' = 1/(4A) [1 + (1 + 4A/3)^{1/2}] \quad (3.4)$$

Donde $A = \ln(x) - [\sum \ln(x)]/n$, n es el número de datos, y x_m es la media.

Se procede a obtener con los parámetros estimados, la distribución acumulada de un evento observado de precipitación para un mes dado y para una escala de tiempo en determinada estación climatológica.

Se obtiene la probabilidad acumulada con la expresión:

$$H(x) = q + (1 - q) G(x) \quad (3.5)$$

Donde q es la probabilidad asociada al número de ceros y $G(x)$ es la función Gamma incompleta, $q = m/n$; si m es el número de ceros en la serie y n es el total de valores registrados. La ecuación anterior se resuelve mediante tablas de la función Gamma incompleta o por medio de un esquema numérico (en nuestro caso la aproximación se hace a través de Excel).

Obtenidas las probabilidades acumuladas, se deberán transformar mediante la aproximación (3.6) a variables normales estandarizadas, las cuales serán el SPI.

Para una probabilidad acumulada $0 < H(x) \leq 0.5$

$$SPI \approx v - (b_0 + b_1v + b_2v^2) / (1 + b_3v + b_4v^2 + b_5v^3) \quad (3.6)$$

Donde

$$\begin{aligned} b_0 &= 2.515517 & b_3 &= 1.432788 \\ b_1 &= 0.802853 & b_4 &= 0.189269 \\ b_2 &= 0.010328 & b_5 &= 0.001308 \end{aligned}$$

$$v = [\ln \{1 / H^2(x)\}]^{1/2} \quad (3.7)$$

Para una probabilidad acumulada $0.5 < H(x) \leq 1$ se cambia $H(x)$ por $[1 - H(x)]$ en (3.7) y se le cambia el signo al valor del SPI obtenido con la ecuación (3.6).

3.2 METODOLOGIA.

a) La región a analizar es una zona de la Ciudad de Morelia, Michoacán.

b) Los datos requeridos serán la precipitación diaria de cinco estaciones meteorológicas: estas serán la 16022, la 16055, la 16081, la 16114 y la 16120. La tabla 3.1 resume los nombres y longitud de registros utilizados en este estudio, en las tablas 3.2 a la 3.6 se presentan los datos de precipitación utilizados en el análisis.

Tabla 3.1 Estaciones utilizadas en el estudio.

ESTACIÓN	PERIODO DE REGISTRO	Longitud de registro utilizado en el cálculo del SPI	
		Registro Largo	Registro Corto
16022	1940-2002	1940-2002	1973-2002
16055	1937-2002	1937-2002	1973-2002
16081	1948-2002	1948-2002	1973-2002
16114	1964-2002	1964-2002	1973-2002
16120	1954-2002	1954-2002	1973-2002

c) Se analizarán seis escalas de tiempo del SPI 3, 6, 9, 12, 24 y 36 meses, se incluyen intervalos grandes ya que es práctica común. Los cálculos del SPI fueron desarrollados en hoja de cálculo de Excel, para las escalas de tiempo mencionadas en el párrafo anterior. Debido a la gran cantidad de datos que se obtuvieron, se presenta como ejemplo la hoja de cálculo correspondiente al intervalo de tres meses para el mes de julio de la estación 16022.

Tabla 3.2 Registro de precipitación mensual estación 16022

16022	Lluvias acumuladas Hp(mm)													
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual	
1938														
1939														
1940	19,9	23,7	11,5	38,3	9,8	146,2	184,0	123,2	45,0	13,4	35,0	44,3	694,3	
1941	19,9	23,7	11,5	38,3	9,8	192,9	204,1	125,0	149,7	80,6	7,9	38,8	902,2	
1942	0,2	14,2	0,5	0,0	7,4	92,4	209,2	203,0	97,9	55,4	44,0	19,3	743,5	
1943	0,0	0,0	4,5	0,0	14,5	166,5	123,8	116,8	214,6	30,3	10,8	21,5	703,3	
1944	8,0	0,0	5,9	0,0	15,0	128,2	111,6	179,0	160,3	106,0	5,0	0,0	719,0	
1945	3,0	0,0	2,8	6,9	62,1	154,2	142,8	87,4	74,4	41,2	10,4	1,0	586,2	
1946	11,5	1,3	1,0	16,6	30,3	106,3	108,6	114,5	99,2	65,0	1,5	0,0	555,8	
1947	9,6	0,3	0,0	7,2	33,5	150,9	91,0	166,4	113,0	36,4	22,1	89,9	720,3	
1948	47,3	0,0	0,0	30,9	36,4	101,2	216,1	135,6	41,0	76,9	50,7	0,5	736,6	
1949	0,0	0,0	0,0	0,0	33,1	142,2	177,6	108,1	232,3	22,7	0,0	0,0	716,0	
1950	0,5	0,3	26,4	10,4	78,8	149,2	234,2	106,7	199,9	59,1	0,0	3,5	869,0	
1951	0,0	0,0	2,3	1,2	73,6	120,2	127,8	394,8	211,4	38,2	0,4	3,1	973,0	
1952	4,2	0,6	0,0	42,4	66,5	159,4	147,8	124,0	144,0	4,3	82,7	0,5	776,4	
1953	0,0	2,1	4,3	4,0	4,4	101,9	156,9	102,4	63,8	87,1	59,2	29,3	615,4	
1954	3,5	3,2	0,0	38,6	82,3	136,6	174,5	120,6	112,5	101,7	7,2	3,0	783,7	
1955	30,7	0,0	0,0	14,3	18,2	100,4	181,1	196,1	200,6	102,6	56,3	0,1	900,4	
1956	6,3	1,5	0,0	19,2	136,5	134,0	208,4	115,6	92,5	8,7	16,6	9,1	748,4	
1957	0,0	11,9	0,0	7,0	20,7	157,1	163,6	179,6	99,2	65,0	0,8	3,1	708,0	
1958	134,0	1,2	0,0	0,7	65,4	205,5	322,2	252,0	239,7	95,0	64,2	12,9	1392,8	
1959	8,0	3,2	0,2	118,0	110,8	112,9	248,8	166,4	108,7	50,2	12,6	2,4	942,2	
1960	10,5	0,0	0,0	12,4	29,2	107,4	116,7	122,1	174,1	46,6	0,6	21,3	640,9	
1961	11,9	1,7	8,2	0,0	23,3	160,0	250,3	138,8	69,8	7,3	28,1	1,3	700,7	
1962	0,0	0,0	0,3	10,5	34,7	133,1	196,5	160,8	241,8	66,7	3,1	4,5	852,0	
1963	0,0	9,3	12,9	0,3	40,3	136,5	240,3	214,1	155,5	71,4	2,7	26,6	909,9	
1964	24,3	0,0	0,0	0,0	45,1	214,8	168,5	160,8	241,2	42,5	33,8	19,2	950,2	
1965	7,3	31,4	0,5	33,1	30,1	127,1	178,6	232,5	128,1	83,4	17,8	0,8	870,7	
1966	17,1	11,9	8,9	44,4	75,9	196,2	187,5	150,9	99,8	97,3	0,4	2,6	892,9	
1967	94,1	0,1	5,4	40,1	44,3	246,5	152,2	178,8	245,4	71,6	9,8	8,0	1096,3	
1968	0,0	26,8	13,8	23,5	104,4	157,9	379,8	131,0	186,6	48,0	22,5	17,2	1111,5	
1969	2,1	0,0	0,0	2,4	34,7	71,3	180,9	268,9	190,8	43,2	3,1	12,6	810,0	
1970	0,0	18,3	0,0	0,0	9,9	105,3	151,0	142,2	162,8	46,7	7,3	0,0	643,5	
1971	1,0	0,0	27,6	2,3	42,0	103,6	205,8	171,6	140,8	78,4	3,9	8,6	785,6	
1972	1,1	1,1	14,1	15,8	70,1	189,8	223,7	114,8	195,7	12,3	9,8	0,0	848,3	
1973	1,4	0,3	0,0	22,1	30,2	123,1	181,7	186,3	175,2	125,2	32,2	1,0	878,7	
1974	0,0	12,2	17,1	2,4	24,1	186,8	15,8	15,8	6,5	5,0	6,5	15,8	308,0	
1975	15,8	0,0	0,0	0,0	53,1	131,2	148,4	294,7	173,4	28,7	0,0	0,0	845,3	
1976	0,0	1,1	22,4	4,7	29,9	122,0	272,3	137,7	113,6	241,7	29,2	12,5	987,1	
1977	14,7	23,2	0,0	15,5	53,2	163,6	181,1	145,2	150,8	67,0	32,4	4,8	851,5	
1978	20,3	4,7	15,5	1,5	21,5	171,7	231,5	235,3	134,8	147,1	0,0	34,7	1018,6	
1979	0,0	22,8	1,0	0,6	11,6	81,2	214,9	139,5	131,0	0,0	3,1	58,3	664,0	
1980	99,0	15,5	1,8	54,9	72,0	107,3	155,1	255,3	138,3	15,3	20,1	4,4	939,0	
1981	63,3	26,0	1,9	26,2	36,1	205,3	151,8	264,0	67,1	43,6	21,1	11,4	917,8	
1982	2,8	20,8	3,2	27,0	39,2	37,0	168,4	146,2	94,3	31,7	12,3	12,1	595,0	
1983	27,3	4,6	19,2	0,0	78,7	53,5	336,8	179,2	96,5	62,1	21,2	11,5	890,6	
1984	14,1	17,8	0,3	0,0	40,3	106,2	154,5	172,2	158,4	47,7	7,1	7,5	726,1	
1985	0,0	0,5	7,1	29,3	102,0	216,9	154,4	161,8	83,3	42,0	21,4	1,8	820,5	
1986	1,8	0,3	0,0	12,0	81,1	142,1	132,1	98,6	180,3	24,7	7,0	3,9	684,0	
1987	0,0	14,5	10,2	20,5	1,4	87,4	137,6	197,7	110,9	0,2	27,5	1,2	609,1	
1988	4,5	8,3	29,7	0,0	0,0	134,6	230,1	220,4	210,7	13,1	11,6	0,1	863,0	
1989	9,4	9,7	1,5	0,0	9,7	88,9	110,0	106,8	150,1	19,2	17,4	23,2	545,9	
1990	60,4	26,5	9,5	34,1	92,3	245,0	183,1	183,8	167,2	137,0	4,8	14,8	1158,6	
1991	0,5	0,0	0,0	0,1	31,6	130,5	234,9	167,0	174,0	81,7	28,3	8,7	857,4	
1992	110,6	19,0	0,3	33,1	114,0	36,1	131,0	192,9	165,4	90,3	84,1	0,0	976,8	
1993	7,3	4,1	2,8	0,0	14,9	188,3	201,3	202,9	131,3	31,4	3,0	0,0	787,3	
1994	26,1	0,0	0,0	5,4	50,0	209,9	100,7	102,8	153,5	52,0	3,1	7,3	710,8	
1995	3,8	31,3	0,4	13,0	89,7	118,6	240,8	255,0	142,4	11,3	29,3	30,8	966,4	
1996	0,0	0,0	0,0	9,0	30,3	184,7	164,7	86,4	155,8	61,3	1,8	0,0	694,0	
1997	0,0	0,0	41,4	8,2	48,6	193,6	162,3	94,9	37,7	7,8	74,5	3,2	672,2	
1998	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	109,3	174,0	190,1	168,2	104,2	0,0	0,0	745,8	
1999	0,0	0,0	8,5	0,0	16,4	258,8	103,0	165,6	51,0	48,8	0,0	1,0	653,1	
2000	0,0	5,8	2,8	4,1	82,2	201,2	156,4	158,2	95,0	74,0	12,6	10,5	802,8	
2001	2,0	16,1	18,3	7,5	57,1	232,5	147,7	179,3	158,2	76,2	0,0	0,0	894,9	
2002	26,4	19,8	0,7	0,9	28,5	184,9	130,4	195,8	156,6	52,0	3,1	7,3	806,4	

Tabla 3.3 Registro de precipitación mensual estación 16055

16055	Lluvias acumuladas Hp(mm)												
	Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1937	0,0	17,7	39,3	11,5	33,1	57,9	101,9	140,4	53,8	43,7	8,3	30,7	538,3
1938	3,1	14,6	6,2	10,4	15,4	47,1	54,8	219,0	68,9	63,7	59,7	8,3	571,2
1939	7,3	0,0	13,9	2,1	76,3	61,2	93,4	150,5	66,0	79,6	0,0	0,0	550,3
1940	14,8	29,8	34,9	0,0	34,4	77,6	151,0	131,2	13,5	24,1	52,6	35,0	598,9
1941	3,2	9,4	0,0	23,0	16,5	186,4	230,5	192,5	146,4	86,7	20,6	17,9	933,1
1942	0,0	13,6	0,0	2,1	18,7	9,4	260,7	204,6	108,9	63,7	35,4	11,5	728,6
1943	0,0	0,0	8,4	3,2	55,9	161,0	124,5	181,7	304,3	57,2	28,9	28,9	954,0
1944	5,3	0,0	28,4	0,0	35,0	51,2	89,5	154,6	215,0	10,5	12,7	0,0	602,2
1945	19,0	20,9	8,3	8,3	43,9	81,4	171,8	19,7	75,3	75,1	9,4	0,0	533,1
1946	16,8	21,0	8,4	44,9	58,6	153,9	10,4	62,5	96,4	143,0	16,7	22,8	655,4
1947	53,0	0,0	0,0	0,0	83,9	83,9	57,0	203,9	182,9	17,8	42,0	71,8	796,2
1948	65,2	0,0	0,0	27,0	25,9	93,5	274,1	27,8	80,5	35,1	31,2	10,4	670,7
1949	0,0	10,3	5,1	0,0	28,8	77,2	150,2	68,9	144,4	11,4	0,0	0,0	496,3
1950	15,5	3,1	30,5	7,3	29,7	126,7	170,9	41,2	125,6	38,5	7,3	0,0	596,3
1951	0,0	0,0	8,3	10,5	85,3	73,3	141,8	119,3	150,7	38,1	16,7	0,0	644,0
1952	3,1	28,6	0,0	46,1	113,2	175,4	163,0	159,0	48,4	0,0	40,2	0,0	777,0
1953	3,1	7,1	30,7	8,2	0,0	28,9	61,2	134,6	65,3	56,5	21,7	8,4	425,7
1954	5,1	11,3	6,2	45,2	83,5	114,6	123,3	108,5	128,5	97,8	11,4	0,0	735,4
1955	0,0	0,0	0,0	8,3	12,4	82,3	194,4	159,1	111,3	127,8	34,0	5,1	734,7
1956	0,0	5,2	0,0	19,7	119,3	135,7	181,0	170,6	162,2	27,5	21,7	26,4	869,3
1957	0,0	0,0	9,5	0,0	31,0	90,9	100,2	60,2	81,8	49,0	26,7	14,7	464,0
1958	63,7	7,1	0,0	7,3	5,2	137,9	215,8	125,2	206,3	37,2	47,9	14,5	868,1
1959	3,1	8,2	0,0	78,0	69,7	85,1	92,7	143,9	92,8	43,5	5,1	4,1	626,2
1960	3,1	0,0	0,0	3,1	15,6	50,8	133,9	177,2	151,2	56,5	0,0	29,0	620,4
1961	3,1	0,0	4,1	0,0	51,1	206,8	186,3	158,4	93,3	12,3	8,4	0,0	723,8
1962	0,0	0,0	0,0	8,3	48,4	132,9	154,9	215,6	352,2	101,3	0,0	5,3	1018,9
1963	0,0	6,4	22,8	14,5	30,2	163,8	192,9	213,1	151,4	95,3	21,3	23,5	935,2
1964	30,8	0,0	5,1	0,0	37,6	207,6	169,2	181,5	160,5	58,2	36,0	25,7	912,2
1965	4,1	27,6	0,0	31,4	26,2	174,7	209,7	360,6	238,1	67,1	15,0	0,0	1154,5
1966	12,7	3,1	11,2	25,3	75,9	202,4	147,1	153,5	165,5	95,1	0,0	0,0	891,8
1967	81,9	0,0	0,0	7,1	49,3	163,3	163,9	262,4	236,0	110,3	4,1	0,0	1078,3
1968	0,0	15,4	6,2	6,2	28,7	147,9	157,0	173,6	204,6	66,4	3,1	3,1	812,2
1969	3,1	0,0	0,0	0,0	0,0	90,9	153,8	125,2	203,3	38,9	47,9	3,1	666,2
1970	0,0	8,3	0,0	0,0	9,3	58,1	172,6	146,2	221,2	11,3	2,1	0,0	629,1
1971	0,0	0,0	19,7	8,2	62,2	172,1	211,4	191,3	156,0	77,8	3,1	3,1	904,9
1972	0,0	0,0	13,4	7,2	7,2	206,8	213,2	182,5	85,7	19,5	6,2	0,0	741,7
1973	0,0	0,0	0,0	10,2	19,4	122,7	172,4	187,7	92,7	113,1	0,0	3,1	721,3
1974	3,1	0,0	18,8	32,9	51,1	205,9	128,7	211,4	134,3	5,0	8,2	3,2	802,6
1975	37,1	23,5	0,0	0,0	55,0	252,5	123,1	205,4	151,2	26,5	0,0	0,0	874,3
1976	0,0	0,0	6,2	3,1	24,6	126,4	293,7	212,2	249,4	183,1	76,4	38,2	1213,3
1977	34,8	13,5	0,0	31,2	76,5	48,5	283,7	167,5	264,4	56,5	0,0	3,1	979,7
1978	20,5	13,3	4,1	8,2	40,1	188,0	218,8	314,5	151,4	105,3	0,0	16,4	1080,6
1979	0,0	31,5	0,0	0,0	25,6	111,8	180,5	180,2	132,4	0,0	0,0	35,1	697,1
1980	109,1	0,0	0,0	7,1	41,6	130,5	207,8	289,3	194,3	49,5	32,7	0,0	1061,9
1981	57,4	0,0	0,0	54,2	140,1	260,2	261,6	246,1	78,5	51,2	20,5	36,3	1206,1
1982	0,0	13,6	0,0	8,2	54,2	81,4	195,5	138,2	117,0	32,6	11,6	23,0	675,3
1983	40,3	8,7	20,5	0,0	71,1	38,2	288,6	274,0	169,7	58,6	25,0	0,0	994,7
1984	11,6	20,5	0,0	0,0	47,7	225,0	211,4	190,7	139,6	66,8	18,2	0,0	931,5
1985	0,0	0,0	31,8	69,5	195,0	195,0	236,2	356,6	120,8	64,3	27,2	6,4	1302,8
1986	3,1	0,0	0,0	8,2	36,1	119,3	237,1	187,2	162,0	93,6	15,5	20,5	882,6
1987	0,0	3,1	3,1	72,5	0,0	150,4	216,4	222,7	61,3	0,0	10,3	3,1	742,9
1988	0,0	16,7	18,7	0,0	0,0	122,7	391,1	295,4	111,1	19,5	6,2	0,0	981,4
1989	3,1	14,5	0,0	3,1	5,1	51,1	87,9	176,9	219,6	39,8	0,0	25,6	626,7
1990	0,0	0,0	25,6	57,7	19,4	122,7	312,2	328,9	166,7	132,8	0,0	0,0	1166,0
1991	0,0	0,0	0,0	31,2	58,0	197,8	240,8	336,8	282,5	128,0	18,7	11,3	1305,1
1992	183,4	25,6	31,0	24,2	193,0	46,6	260,6	302,5	272,2	126,7	51,8	0,0	1517,6
1993	31,0	20,5	8,5	5,1	0,0	239,7	334,3	266,5	164,0	25,5	22,2	0,0	1117,3
1994	34,1	28,5	0,0	0,0	29,2	296,3	106,2	250,3	237,6	87,5	18,5	5,0	1093,2
1995	0,0	8,9	8,5	23,3	118,6	138,2	316,3	296,3	136,1	45,4	96,8	30,1	1218,5
1996	0,0	0,0	0,0	0,0	92,0	143,0	171,4	184,6	251,5	136,5	3,1	0,0	982,1
1997	6,6	0,0	75,6	100,9	129,8	202,2	346,7	137,2	118,6	26,1	58,1	0,0	1201,8
1998	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	335,8	426,2	273,0	117,0	180,6	21,0	0,0	1353,6
1999	0,0	0,0	0,0	0,0	65,1	186,4	310,9	160,4	164,1	113,4	3,1	5,1	1008,5
2000	0,0	0,0	0,0	0,0	46,9	313,0	84,4	199,3	94,0	104,4	23,3	25,8	891,1
2001	0,0	22,1	25,6	24,1	59,2	352,0	250,4	237,4	269,0	60,8	0,0	13,6	1314,2
2002	21,1	0,0	15,0	54,3	152,1	197,8	219,7	233,9	170,0	60,8	0,0	13,6	1138,3

Tabla 3.4 Registro de precipitación mensual estación 16081

16081 Año	Lluvias acumuladas Hp(mm)												Anual
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
1938													
1939													
1940													
1941													
1942													
1943													
1944													
1945													
1946													
1947													
1948	42,5	0,0	0,0	23,6	16,3	96,5	230,2	120,3	69,9	24,3	15,5	0,6	639,7
1949	0,0	4,3	0,0	0,0	65,9	110,8	130,4	110,6	87,8	38,6	0,0	0,0	548,4
1950	0,0	2,0	12,5	9,6	64,5	116,8	228,9	75,5	193,7	32,2	0,0	10,2	745,9
1951	0,0	0,0	0,5	12,5	65,7	142,8	161,5	88,6	148,1	66,3	24,2	0,0	710,2
1952	3,5	0,0	0,0	28,9	67,7	227,2	165,8	189,5	191,1	24,3	63,3	2,3	963,6
1953	2,1	8,4	11,7	0,0	4,6	139,9	206,2	155,1	90,6	51,9	51,0	20,2	741,7
1954	6,0	8,5	0,0	30,5	80,6	109,2	212,5	141,5	149,4	81,8	8,4	0,0	828,4
1955	3,7	0,0	0,0	0,0	13,7	87,3	169,4	227,5	178,2	105,0	20,9	0,0	805,7
1956	0,0	0,0	0,0	42,1	101,2	142,5	234,3	176,4	80,8	36,2	16,2	15,6	845,3
1957	0,0	4,3	0,0	0,0	26,5	130,4	126,1	149,6	62,8	44,1	0,8	1,4	546,0
1958	135,0	0,5	0,0	12,3	76,4	147,2	272,9	189,4	214,1	51,9	42,5	9,7	1151,9
1959	9,8	8,8	144,4	144,4	85,7	108,5	232,2	214,8	82,5	79,8	0,2	3,6	1114,7
1960	6,6	0,0	0,0	2,2	28,0	57,8	141,9	180,2	101,5	49,3	0,0	14,2	581,7
1961	15,7	1,3	2,3	0,0	34,0	157,3	136,9	77,3	78,0	29,8	22,1	2,3	557,0
1962	0,0	0,0	0,2	7,8	47,8	118,5	128,5	168,6	247,1	52,1	0,0	18,8	789,4
1963	0,0	1,0	14,0	0,0	53,4	190,1	181,5	182,7	131,0	63,5	4,7	16,8	838,7
1964	18,3	0,0	15,5	8,7	41,7	244,3	119,9	124,3	145,9	86,4	17,6	22,0	844,6
1965	9,5	45,3	0,0	5,5	47,8	171,6	192,4	258,6	130,1	56,9	7,8	0,0	925,5
1966	14,5	11,8	21,5	44,1	100,5	151,9	197,0	183,8	55,9	98,7	0,0	4,7	884,4
1967	90,7	0,0	28,4	28,5	45,7	173,1	157,2	139,6	240,3	109,5	11,2	3,7	1027,9
1968	0,0	25,9	9,1	24,4	56,5	183,8	231,5	116,7	123,8	70,2	4,0	13,5	859,4
1969	2,5	0,0	0,0	6,2	6,2	81,2	188,2	173,3	226,5	34,9	1,5	4,4	724,9
1970	0,0	33,6	0,0	0,0	16,2	171,9	182,4	147,0	203,4	43,3	13,3	0,0	811,1
1971	4,3	3,5	23,6	5,1	61,5	221,9	198,4	167,1	156,4	91,5	0,8	2,6	936,7
1972	2,1	0,3	15,0	22,6	92,7	178,0	270,4	151,5	228,6	25,1	34,2	0,0	1020,5
1973	0,5	0,2	0,0	14,8	46,7	122,9	223,4	117,1	181,0	160,0	0,5	3,0	870,1
1974	0,0	13,3	58,3	31,8	21,7	142,1	282,9	182,0	125,8	18,4	14,7	3,1	894,1
1975	23,8	0,0	0,0	0,0	37,1	141,5	142,5	188,7	169,1	30,1	0,0	0,0	732,8
1976	0,0	0,7	22,1	7,0	35,0	200,0	270,4	147,9	165,1	171,6	35,5	4,7	1060,0
1977	19,6	8,8	0,0	13,1	80,8	80,8	150,6	142,7	159,6	38,5	16,2	3,1	713,8
1978	19,4	4,6	14,6	1,1	27,5	153,2	249,2	197,3	136,1	102,9	1,5	0,0	907,4
1979	0,0	29,0	0,0	0,0	9,2	97,7	184,7	94,2	126,5	0,0	1,4	38,4	581,1
1980	97,0	4,8	0,0	35,9	4,6	85,8	135,3	234,7	154,0	24,7	12,5	3,1	792,4
1981	63,9	18,3	1,3	16,1	52,5	178,5	108,5	154,5	48,6	33,1	10,5	16,9	702,7
1982	0,0	8,1	0,7	23,0	47,1	33,2	176,5	141,1	60,2	17,9	6,8	8,3	522,9
1983	22,2	3,0	16,7	0,0	57,0	85,6	291,8	188,9	85,8	39,7	20,3	2,1	813,1
1984	13,1	7,4	0,2	0,0	23,4	84,2	177,4	125,2	124,3	29,4	5,1	11,7	601,4
1985	0,4	2,1	15,5	13,7	46,9	147,6	196,0	138,4	70,0	49,4	12,5	8,0	700,5
1986	3,3	0,6	2,0	13,4	57,8	139,2	134,4	145,1	112,4	38,3	11,5	4,8	662,8
1987	0,0	1,0	4,9	35,6	11,1	84,9	162,8	183,1	53,3	0,0	28,8	0,9	566,4
1988	3,9	2,0	29,0	1,7	0,1	134,0	260,4	240,4	150,3	24,9	2,0	0,0	848,7
1989	14,2	0,3	0,0	0,0	13,4	71,8	60,7	177,8	156,1	37,6	6,9	19,0	557,8
1990	10,5	9,2	5,3	9,8	44,3	192,3	209,0	167,0	125,3	86,6	1,8	3,9	865,0
1991	3,8	3,2	0,0	0,3	53,0	111,4	281,9	163,4	222,5	65,7	4,6	2,5	912,3
1992	131,0	20,0	0,5	27,5	74,3	23,0	179,2	194,4	208,4	77,3	25,6	0,5	961,7
1993	6,4	7,5	4,7	19,3	1,0	257,0	241,2	222,4	112,7	52,7	7,5	0,0	932,4
1994	15,6	4,8	0,0	1,4	27,7	233,5	74,5	128,4	130,5	91,9	3,8	1,1	713,2
1995	4,6	22,3	5,2	12,9	87,0	94,2	147,0	205,2	127,4	63,7	24,6	92,9	887,0
1996	4,6	0,0	2,6	3,1	45,3	111,6	108,0	99,0	118,2	21,5	4,4	0,0	518,3
1997	3,5	0,0	48,6	25,8	55,4	171,1	194,6	113,9	51,6	14,6	32,0	2,1	713,2
1998	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	187,0	142,1	236,7	287,9	131,7	3,3	0,0	988,9
1999	0,0	0,0	3,6	0,7	34,7	201,2	208,3	164,5	80,3	29,3	0,0	8,4	731,0
2000	0,0	8,5	0,0	0,0	69,5	185,1	86,9	76,2	32,7	49,7	13,1	15,0	536,7
2001	0,0	0,4	7,3	18,2	74,9	179,7	173,6	209,6	107,8	70,9	5,8	0,0	848,2
2002	17,2	32,8	16,0	12,8	92,0	284,0	158,9	167,0	125,3	86,6	1,8	3,9	998,3

Tabla 3.5 Registro de precipitación mensual estación 16114

16114	Lluvias acumuladas Hp(mm)													
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual	
1938														
1939														
1940														
1941														
1942														
1943														
1944														
1945														
1946														
1947														
1948														
1949														
1950														
1951														
1952														
1953														
1954														
1955														
1956														
1957														
1958														
1959														
1960														
1961														
1962														
1963														
1964	27,2	0,0	6,0	7,4	36,5	293,1	293,9	113,0	391,9	110,0	31,0	17,9	1327,9	
1965	8,0	53,0	0,0	28,0	52,2	479,5	423,5	403,0	290,5	7,0	0,0	0,0	1744,7	
1966	32,0	0,0	38,5	17,0	138,0	306,0	291,0	306,0	38,0	121,0	0,0	0,0	1287,5	
1967	156,0	3,0	10,0	22,0	105,0	394,5	387,0	390,5	331,5	201,0	0,0	0,0	2000,5	
1968	17,0	60,0	23,0	26,0	11,0	238,0	359,0	324,0	295,0	81,9	0,0	47,0	1481,9	
1969	0,0	0,0	5,0	0,0	0,0	105,0	422,0	405,5	344,5	55,2	3,0	0,0	1340,2	
1970	0,0	18,0	0,0	0,0	27,0	203,0	194,5	220,0	387,5	12,0	20,5	0,0	1082,5	
1971	0,0	3,5	24,0	2,0	42,0	136,0	213,5	224,5	219,0	131,5	5,5	7,5	1009,0	
1972	0,0	0,0	6,0	16,0	58,5	160,5	319,6	202,0	186,0	10,0	7,5	0,0	966,1	
1973	0,0	0,0	0,0	95,5	85,5	227,5	282,0	221,5	224,0	116,0	0,0	6,0	1258,0	
1974	0,0	0,0	5,0	11,0	16,0	254,5	261,0	280,5	162,5	14,0	12,5	0,0	1017,0	
1975	21,0	0,0	0,0	0,0	106,5	244,5	218,0	236,5	118,0	0,0	0,0	6,0	950,5	
1976	0,0	0,0	5,0	5,0	31,0	149,0	328,5	173,0	194,5	146,0	18,0	0,0	1050,0	
1977	6,0	10,0	0,0	28,0	98,0	53,0	181,0	316,5	202,5	34,0	0,0	0,0	929,0	
1978	0,0	5,0	9,0	0,0	54,0	129,0	155,0	209,0	169,2	79,0	2,0	0,0	811,2	
1979	0,0	5,0	0,0	0,0	40,0	50,0	285,1	110,5	66,0	0,0	0,0	13,7	570,3	
1980	59,0	0,0	9,0	12,2	18,1	126,5	110,0	239,3	141,3	35,7	0,5	0,0	751,6	
1981	88,5	2,5	3,0	0,2	3,5	118,1	150,9	170,0	37,8	21,0	18,4	22,7	636,6	
1982	29,4	24,7	2,0	11,9	52,4	93,7	222,2	174,0	88,0	59,5	9,7	21,8	789,3	
1983	29,4	11,7	18,9	0,0	92,9	107,2	566,5	521,2	231,8	43,1	84,8	4,2	1711,7	
1984	39,4	21,0	0,0	0,0	84,1	282,1	464,4	212,7	278,2	69,8	5,2	4,8	1461,7	
1985	0,0	0,0	30,7	31,0	28,2	22,0	0,0	1,2	1,2	10,4	28,7	10,4	163,8	
1986	1,2	1,2	0,0	22,0	76,4	279,7	268,7	205,4	249,9	111,3	6,9	0,0	1222,7	
1987	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	235,2	0,0	0,0	0,0	237,2	
1988	5,1	3,7	54,0	2,0	0,2	514,2	249,4	272,6	179,4	39,1	4,4	0,0	1324,1	
1989	5,5	5,7	0,9	0,0	5,7	52,0	64,3	62,5	87,8	11,3	10,2	13,6	319,3	
1990	35,3	15,5	5,6	19,9	54,0	143,3	107,1	107,5	97,8	80,1	2,8	8,7	677,7	
1991	0,3	0,0	0,0	2,1	18,5	76,3	137,4	97,7	101,8	47,8	16,5	5,1	503,6	
1992	79,6	11,0	0,6	5,3	43,9	26,9	61,6	99,1	114,4	58,5	39,2	2,6	542,8	
1993	20,8	0,9	3,0	0,0	8,0	88,6	139,5	120,5	96,6	15,4	3,7	0,2	497,2	
1994	0,6	1,9	1,3	2,0	19,6	113,3	59,6	63,6	55,3	31,2	5,9	18,9	373,3	
1995	2,1	22,8	4,2	28,1	27,1	44,3	120,3	173,8	160,5	0,0	15,3	16,9	615,5	
1996	0,0	0,1	0,0	4,6	22,6	111,5	102,5	69,3	126,7	0,0	1,1	5,2	443,6	
1997	0,2	0,0	27,9	9,8	45,0	76,7	85,7	50,6	52,7	16,8	37,5	2,9	405,8	
1998	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	228,9	309,6	218,9	325,5	172,6	0,0	0,0	1255,5	
1999	0,0	0,0	5,4	0,0	13,6	193,7	177,2	277,4	321,3	116,0	0,0	0,0	1104,6	
2000	0,0	0,0	0,0	0,0	123,2	275,4	99,6	265,7	108,3	160,3	1,1	9,9	1043,5	
2001	1,1	0,0	21,7	0,4	31,4	186,2	165,0	140,0	79,2	0,0	0,0	0,0	625,0	
2002	0,0	3,6	1,7	9,0	0,0	138,3	70,2	142,0	114,2	2,0	0,0	13,3	494,3	

Tabla 3.6 Registro de precipitación mensual estación 16120

16120 Año	Lluvias acumuladas Hp(mm)													Anual
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic		
1937														
1938														
1939														
1940														
1941														
1942														
1943														
1944														
1945														
1946														
1947														
1948														
1949														
1950														
1951														
1952														
1953														
1954	1,8	11,8	0,3	53,9	66,0	147,2	158,7	154,5	121,0	118,0	32,3	0,0	865,5	
1955	2,4	0,0	0,0	4,2	4,1	95,9	224,5	210,2	226,2	137,0	40,2	0,0	944,7	
1956	1,0	1,9	0,0	25,0	171,7	124,7	218,8	205,7	116,1	18,6	12,3	13,7	909,5	
1957	0,0	1,0	0,0	0,6	38,8	136,4	156,5	150,1	99,3	60,9	0,0	5,5	649,1	
1958	129,2	1,2	0,0	0,0	33,5	162,0	288,5	233,1	239,8	112,6	55,3	21,8	1277,0	
1959	10,4	5,5	0,0	103,4	83,5	116,9	195,6	178,7	153,3	132,1	5,1	4,0	988,5	
1960	17,6	0,0	0,0	7,1	48,8	81,4	120,8	150,9	145,5	56,7	5,9	12,8	647,5	
1961	13,2	1,5	12,6	2,8	12,9	161,3	208,2	127,0	68,7	9,7	17,9	0,0	635,8	
1962	0,0	0,0	0,0	9,3	27,2	129,5	140,6	166,2	255,6	66,0	5,4	6,4	806,2	
1963	0,0	6,9	20,2	0,0	56,3	123,3	221,0	182,8	173,2	65,9	4,1	10,4	864,1	
1964	17,2	0,0	5,5	2,3	83,5	155,8	210,9	129,7	221,1	21,6	35,5	26,4	909,5	
1965	6,6	38,5	0,0	38,9	16,2	104,1	163,3	194,5	114,6	67,0	22,4	0,2	766,3	
1966	18,7	11,4	15,6	38,6	82,6	143,6	222,6	192,2	104,9	108,8	2,2	1,5	942,7	
1967	129,8	0,0	7,4	35,5	57,8	194,7	194,7	161,4	170,1	76,5	13,1	7,7	1048,7	
1968	0,5	24,2	22,2	12,6	96,1	234,4	197,0	190,0	159,9	51,5	6,5	14,0	1008,9	
1969	1,8	0,0	42,9	5,6	15,4	69,6	212,3	10,4	195,8	37,3	0,6	10,4	602,1	
1970	0,0	18,1	0,0	0,0	7,6	102,4	192,9	166,4	173,2	11,4	8,7	0,0	680,7	
1971	0,8	0,0	24,7	95,6	40,6	95,6	160,1	213,1	138,9	79,2	20,4	8,4	877,4	
1972	0,9	3,4	5,0	11,0	61,1	288,9	200,8	124,2	157,7	41,7	9,4	3,0	907,1	
1973	1,7	10,7	0,0	34,5	42,2	160,1	140,4	203,5	137,4	134,1	2,5	0,4	867,5	
1974	0,0	16,1	23,4	7,2	19,7	162,8	185,5	122,3	121,4	15,1	8,9	2,5	684,9	
1975	16,2	0,0	0,0	0,0	57,6	0,0	0,0	51,4	245,0	51,4	0,0	0,0	421,6	
1976	0,2	0,4	8,3	7,5	79,5	91,6	289,1	150,9	124,4	230,2	52,9	20,0	1055,0	
1977	3,7	39,3	0,0	50,7	83,9	140,2	233,1	171,9	167,1	98,6	34,4	4,2	1027,1	
1978	20,0	6,8	14,5	8,8	23,6	156,4	224,6	195,8	181,0	151,1	0,0	32,3	1014,9	
1979	0,0	35,5	8,2	10,1	22,0	157,0	176,0	154,1	142,5	1,2	7,3	66,5	780,4	
1980	0,0	0,0	2,6	22,4	59,8	0,0	141,6	227,4	189,2	20,0	13,2	1,3	677,5	
1981	59,1	0,0	0,0	8,3	0,0	0,0	234,7	293,7	92,2	0,0	23,9	8,0	719,9	
1982	2,1	26,9	4,6	25,1	34,5	44,0	210,9	179,2	119,5	44,8	13,0	12,0	716,6	
1983	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	312,2	131,7	0,0	35,0	22,9	0,0	501,8	
1984	13,6	8,8	0,5	0,0	46,7	169,6	177,4	158,1	139,5	48,8	9,1	0,6	772,7	
1985	0,3	5,1	6,5	13,6	97,8	183,0	178,1	182,2	78,2	35,3	18,2	1,1	799,4	
1986	2,3	0,5	1,9	16,4	82,6	144,7	134,5	100,4	183,6	25,2	11,0	0,0	703,1	
1987	0,0	14,8	10,4	20,9	1,4	89,0	140,1	201,3	112,9	0,2	28,0	1,2	620,2	
1988	4,6	8,5	30,2	0,0	0,0	137,1	234,3	224,4	214,5	13,3	11,8	0,1	878,8	
1989	9,6	9,9	1,5	0,0	9,9	90,5	112,0	108,8	152,8	19,6	17,7	23,6	555,9	
1990	61,5	27,0	9,7	34,7	94,0	249,5	186,4	187,2	170,3	139,5	4,9	15,1	1179,8	
1991	0,5	0,0	0,0	0,1	32,2	132,9	239,2	170,1	177,2	83,2	28,8	8,9	873,1	
1992	138,6	19,1	1,0	9,3	76,5	46,8	107,3	172,5	199,1	101,8	68,3	4,6	944,9	
1993	36,2	1,5	5,2	0,0	14,0	154,3	242,9	209,8	168,2	26,8	6,4	0,3	865,6	
1994	1,1	3,3	2,3	3,5	34,2	197,2	103,7	110,8	96,3	54,3	10,2	32,9	649,8	
1995	3,6	39,7	7,3	49,0	47,2	77,1	209,5	302,6	279,4	0,0	26,6	29,5	1071,5	
1996	0,0	0,1	0,0	8,0	39,4	194,1	178,5	120,7	220,5	0,0	1,9	9,0	772,2	
1997	0,4	0,0	48,6	17,0	48,5	165,5	189,1	134,3	91,8	29,3	65,2	5,0	794,7	
1998	1,6	0,0	0,0	0,0	3,6	157,0	214,2	213,1	216,8	104,1	9,6	0,0	920,0	
1999	0,0	0,0	9,7	0,0	0,0	151,9	193,6	218,3	67,4	36,4	0,0	0,0	677,3	
2000	0,0	5,7	2,7	4,0	80,7	197,5	153,5	155,3	93,2	72,6	12,4	10,3	788,0	
2001	2,0	15,8	18,0	7,4	56,0	228,2	145,0	176,0	155,3	74,8	0,0	0,0	878,4	
2002	25,9	19,4	0,7	0,9	28,0	181,5	128,0	192,2	153,7	51,0	3,0	7,2	791,5	

Tabla 3.7 Hoja de calculo del SPI para el mes de julio de la estación 16022.

	Año	X _{3m}	LN X	G(X)	H(X)	H<0.5	H>0.5	SPI
1	1940	340,0	5,8289	0,393	0,393	1,36607		-0,27
2	1941	406,8	6,0083	0,691	0,691		1,532	0,498
3	1942	309,0	5,7333	0,254	0,254	1,65574		-0,662
4	1943	304,8	5,7197	0,237	0,237	1,69786		-0,717
5	1944	254,8	5,5405	0,078	0,078	2,25697		-1,417
6	1945	359,1	5,8836	0,484	0,484	1,20544		-0,041
7	1946	245,2	5,5021	0,059	0,059	2,37752		-1,562
8	1947	275,4	5,6182	0,132	0,132	2,01322		-1,118
9	1948	353,7	5,8684	0,458	0,458	1,24952		-0,105
10	1949	352,9	5,8662	0,454	0,454	1,25614		-0,114
11	1950	462,2	6,136	0,859	0,859		1,978	1,075
12	1951	321,6	5,7733	0,309	0,309	1,53355		-0,5
13	1952	373,7	5,9235	0,551	0,551		1,266	0,128
14	1953	263,2	5,5729	0,098	0,098	2,15518		-1,293
15	1954	393,4	5,9748	0,637	0,637		1,424	0,351
16	1955	299,7	5,7028	0,216	0,216	1,74997		-0,785
17	1956	478,9	6,1715	0,892	0,892		2,112	1,24
18	1957	341,4	5,8331	0,4	0,4	1,35384		-0,253
19	1958	593,1	6,3854	0,989	0,989		2,992	2,277
20	1959	472,5	6,158	0,88	0,88		2,061	1,177
21	1960	253,3	5,5346	0,075	0,075	2,2755		-1,439
22	1961	433,6	6,0721	0,783	0,783		1,749	0,783
23	1962	364,3	5,898	0,508	0,508		1,191	0,02
24	1963	417,1	6,0333	0,729	0,729		1,616	0,609
25	1964	428,4	6,0601	0,767	0,767		1,707	0,729
26	1965	335,8	5,8165	0,374	0,374	1,40318		-0,322
27	1966	459,6	6,1304	0,853	0,853		1,958	1,049
28	1967	443,0	6,0936	0,811	0,811		1,824	0,88
29	1968	642,1	6,4647	0,996	0,996		3,35	2,683
30	1969	286,9	5,6591	0,169	0,169	1,88549		-0,958
31	1970	266,2	5,5842	0,106	0,106	2,11964		-1,249
32	1971	351,4	5,8619	0,447	0,447	1,26861		-0,132
33	1972	483,6	6,1813	0,901	0,901		2,149	1,285
34	1973	335,0	5,8141	0,37	0,37	1,41032		-0,332
35	1974	226,7	5,4236	0,032	0,032	2,62336		-1,852
36	1975	332,7	5,8072	0,359	0,359	1,43099		-0,36
37	1976	424,2	6,0502	0,753	0,753		1,673	0,684
38	1977	397,9	5,9862	0,656	0,656		1,46	0,401
39	1978	424,7	6,0514	0,755	0,755		1,677	0,69
40	1979	307,7	5,7291	0,249	0,249	1,6687		-0,679
41	1980	334,4	5,8123	0,367	0,367	1,4157		-0,339
42	1981	393,2	5,9743	0,636	0,636		1,423	0,349
43	1982	244,6	5,4996	0,058	0,058	2,38521		-1,571
44	1983	469,0	6,1506	0,873	0,873		2,033	1,142
45	1984	301,0	5,7071	0,221	0,221	1,73659		-0,767
46	1985	473,3	6,1597	0,882	0,882		2,067	1,185
47	1986	355,3	5,873	0,466	0,466	1,23625		-0,086
48	1987	226,4	5,4222	0,032	0,032	2,62797		-1,858
49	1988	364,7	5,8992	0,51	0,51		1,194	0,025
50	1989	208,6	5,3404	0,016	0,016	2,88284		-2,153
51	1990	520,4	6,2546	0,949	0,949		2,438	1,634
52	1991	397,0	5,9841	0,652	0,652		1,454	0,391
53	1992	281,1	5,6387	0,15	0,15	1,94919		-1,038
54	1993	404,5	6,0027	0,682	0,682		1,514	0,473
55	1994	360,6	5,8878	0,491	0,491	1,19338		-0,023
56	1995	449,1	6,1072	0,827	0,827		1,873	0,943
57	1996	379,7	5,9394	0,578	0,578		1,314	0,197
58	1997	404,5	6,0027	0,682	0,682		1,514	0,473
59	1998	283,3	5,6465	0,157	0,157	1,92486		-1,008
60	1999	378,2	5,9354	0,572	0,572		1,302	0,18
61	2000	439,8	6,0863	0,802	0,802		1,799	0,847
62	2001	437,3	6,0806	0,794	0,794		1,779	0,821
63	2002	343,8	5,8401	0,411	0,411	1,33305		-0,224
		23265,5	370,7					
	n=	63		A=	0,02752			
	NUMERO DE CEROS=	0		ALFA=	FORMA	18,3361		
	q= ceros/n	0		BETA=	ESCALA	20,1402		
	p= 1-q	1						
	media =	369,293						

En la columna uno se presenta el número de orden.

En la columna dos aparecen los años de registro (1940, 1941, ...).

En la columna tres están los datos de la muestra modulada (x), esto es: para obtener el dato de precipitación de 3 meses para el mes de julio de 1940, se tuvieron que sumar las precipitaciones de los meses de mayo, junio y julio de 1940, para 1941, los correspondientes a ese año y así sucesivamente.

La columna cuatro es la correspondiente a los logaritmos naturales de la muestra modulada (Ln x), de aquí se tuvieron que separar los ceros por que no esta de finido el Ln de cero.

La columna cinco es la función Gamma incompleta, obtenida como función de Excel.

En la columna seis se presentan las probabilidades corregidas con la ecuación 2.5.

En las columnas siete y ocho aparece la variable transformada, ecuación 2.7.

Por ultimo en la columna 8 se localizan los valores calculados del SPI, ecuación 2.6. En el anexo A se presentan las graficas comparativas de las cinco estaciones en estudio para los intervalos de tiempo mencionados.

d) Las diferencias de los valores calculados para diferentes longitudes de registro se analizarán de cuatro formas:

d1) Se obtendrá el SPI para los seis periodos de tiempo mencionados para dos escalas de tiempo, una será la longitud total del registro y la otra será para intervalos diferentes de 30 años como mínimo.

Se calculará el coeficiente de correlación r , y se calculará el coeficiente de correlación de Spearman r_s . Los coeficientes de correlación lineal han sido ampliamente utilizados para describir el incremento o disminución en forma proporcional y de manera consistente entre dos variables, sin embargo son incapaces de describir el tipo o la magnitud de posibles covariaciones. El índice de concordancia (d) es sensible a las diferencias entre dos variables y refleja el grado en el cual una de las variables es correctamente estimada por la otra (Willmott, 1981). Así que el coeficiente de concordancia también será calculado.

Coeficiente de correlación Lineal.

Mide la asociación lineal entre los pares de SPI obtenidas para registros de diferente longitud y calculado para seis escalas de tiempo diferentes, se nombraran Var1 y Var2. Para calcular el coeficiente de correlación r de Pearson entre estas dos variables se necesita calcular previamente la covarianza entre las dos variables y las desviaciones típicas muestrales.

Cálculo de la Covarianza Muestral

La covarianza entre dos variables Var1 y Var2 viene dada por:

$$s_{xy}^2 = 1/(n - 1) \sum (x_i - x_m)(y_i - y_m) \quad (3.8)$$

donde x_i indica el valor de la variable Var1 para el individuo i , y_i indica el valor de la variable Var1 para el individuo i , x_m la media de Var1 e y_m la media de Var2.

Cálculo de las desviaciones típicas muestrales

Las desviaciones típicas muestrales s_x y s_y se calculan a partir de las expresiones siguientes:

$$s_x = [1 / (n-1) \sum (x_i - x_m)^2]^{1/2} \quad (3.9)$$

$$s_y = [1 / (n-1) \sum (y_i - y_m)^2]^{1/2} \quad (3.10)$$

Siendo s_x la desviación típica de la variable Var1 y s_y la desviación típica de la variable Var2.

A partir de los coeficientes calculados con anterioridad se calcula el coeficiente de correlación r de Pearson dado por:

$$r = s_{xy}^2 / (s_x s_y) \quad (3.11)$$

Coficiente de Spearman

Se asignará un rango a cada valor del SPI de acuerdo a su orden en la lista. Entonces se determinará el coeficiente de correlación de Spearman r_s , el cual también mide la asociación lineal entre los pares de SPI pero en función de los rangos de los valores calculados para diferente longitud de registro.

Calculo de Rangos:

Para los datos de las variables Var1 y Var2 se calculan los rangos de los valores de éstas, a los que se denota por: $R_i(\text{Var1})$ y $R_i(\text{Var2})$, siendo $R_i(\text{Var1})$ los rangos de Var1 asociados al individuo i y $R_i(\text{Var2})$ los rangos de Var2 asociados al individuo i .

Cálculo de valores intermedios:

A continuación, se realizan los siguientes cálculos intermedios:

$$D = \sum [R_i(\text{Var1}) - R_i(\text{Var2})]^2 \quad (3.12)$$

$$T_x = \sum_{\text{Empates en var1}} (N^{\circ} \text{Empates}^3 - N^{\circ} \text{empates}) \quad (3.13)$$

$$T_y = \sum_{\text{Empates en var2}} (N^{\circ} \text{Empates}^3 - N^{\circ} \text{empates}) \quad (3.14)$$

$$A = (n^3 - n - T_x) / 12 \quad (3.15)$$

$$B = (n^3 - n - T_y) / 12 \quad (3.16)$$

A partir de los coeficientes calculados con anterioridad, se calcula el coeficiente de correlación r_s de Spearman dado por:

$$r_s = (A + B - D) / [2 (AB)^{1/2}] \quad (3.17)$$

Se puede demostrar que si se calcula el coeficiente de correlación lineal sobre las variables $R_i(\text{Var1})$ y $R_i(\text{Var2})$ se llega al mismo resultado.

Índice de concordancia.

El índice de concordancia varía de 0.0 (mal ajuste del modelo) a 1.0 (excelente ajuste), Willmott señala que el índice de concordancia representa la razón entre el error cuadrado medio y el “error potencial”.

El índice d se calcula mediante la siguiente expresión:

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|y_i'| + |x_i'|)^2} \right] \quad (3.18)$$

Donde x_i , y_i representan los valores medidos y estimados respectivamente, n el numero de parejas utilizadas, $x_i' = x_i - x_m$; $y_i' = y_i - x_m$, y x_m es la media medida.

d2) Se caracterizarán las intensidades de los eventos de acuerdo con la tabla 1.10, entonces se comparará la consistencia entre las intensidades de los registros de diferente duración, para cada una de las seis escalas.

La consistencia se determina como sigue, si un evento del registro mayor es consistente con una categoría dada para una de registro corto, se tendrá un “match”, de otra forma será un “no-match”. Entonces se calculará el porcentaje del no-match. También se contará el número de veces que el match difiere en más de una categoría.

d3) Se compararán los valores obtenidos del SPI para las diferentes longitudes con algún año en particular en donde se haya presentado un evento histórico particular.

d4) Los valores obtenidos para diferentes longitudes del registro se compararán temporal y espacialmente. La comparación de la sequía temporalmente sirve para dar una dimensión de la misma desde una perspectiva histórica por razones prácticas. También es de interés para los encargados de las políticas públicas y para los agricultores el desarrollo de la intensidad de la sequía en un periodo preciso de tiempo. Es de uso común comparar los valores del SPI para diferentes regiones para entender la distribución de humedad.

e) Se analizaran los parámetros α y β , para los diferentes registros y para cada una de las escalas de tiempo para determinar si su valor es similar o difiere notablemente para los registros de diferente longitud.

f) Se comentarán las conclusiones.

3.3.3 RESULTADOS

3.3.1 Comparación de índices de correlación y concordancia

De la tabla 3.8 a la 3.19 se muestra un resumen de los índices que se calcularon (el coeficiente de correlación r, el coeficiente de correlación de Spearman r_s , el índice de concordancia d); también se presentan tanto el numero de match, como no-match y el porcentaje de este, en el renglón siguiente a este porcentaje si aparece un número es el número de veces que el match difiere en más de una categoría, en caso de no registrarse este número todos fueron match.

Como podemos observar en la mayoría de los casos se presenta una alta correlación, por que la mayor parte de los valores fueron mayores o cercanos a 0.9. En mayor número de ocasiones los valores de los coeficientes de correlación y de Spearman fueron mayores para los intervalos de 24 y 36 meses que para los de 3 y 6 meses.

El índice de concordancia a diferencia de los otros dos, no se incrementa con el intervalo de tiempo (24 y 36 meses), en algunos casos el valor de d disminuye aunque la escala de tiempo

aumente. Generalmente el valor del coeficiente d fue mayor que el de r para los intervalos de 3 y 6 meses, y más pequeño que r para los intervalos grandes.

Tabla 3.8 Resumen de coeficientes para el mes de enero para las estaciones bajo estudio.

TIEMPO/EST		16120	16022	16114	16055	16081
3 M	r _s	0.999754	1	0.999876	0.99963	1
	r	0.9945	0.9932	0.9997	0.9857	0.9995
	d	0.995	0.996	0.998	0.987	0.999
	MATCH H	MATCH 28 NOMAT CH 1 %NM 3.448	MATCH 24 NOMATC H 5 %NM 17.24	MATCH 26 NOMAT CH 3 %NM 10.34	MATCH 25 NOMAT CH 4 %NM 13.79	MATCH 28 NOMAT CH 1 %NM 3.448
6 M	r _s	0.896416	1	1	0.999507	0.999877
	r	0.4868	1	0.9942	1	1
	d	0.572	0.958	0.977	0.708	0.997
	MATCH H	MATCH 19 NOMAT CH 10 %NM 34.48 4	MATCH 23 NOMATC H 6 %NM 20.69 1	MATCH 23 NOMAT CH 6 %NM 20.69	MATCH 22 NOMAT CH 7 %NM 24.13 2	MATCH 26 NOMAT CH 3 %NM 10.34 1
9 M	r _s	0.999507	0.999261	1	0.999754	0.992118
	r	1	1	1	1	1
	d	0.586	0.851	0.981	0.642	0.994
	MATCH H	MATCH 19 NOMAT CH 10 %NM 34.48 4	MATCH 21 NOMATC H 8 %NM 27.58	MATCH 24 NOMAT CH 5 %NM 17.24	MATCH 17 NOMAT CH 12 %NM 41.37 3	MATCH 25 NOMAT CH 4 %NM 13.79
12 M	r _s	0.999877	0.999877	0.999877	0.813509	0.999877
	r	1	1	1	0.7364	1
	d	0.593	0.838	0.979	0.601	0.994
	MATCH H	MATCH 19 NOMAT CH 10 %NM 34.48 3	MATCH 22 NOMATC H 7 %NM 24.13 1	MATCH 22 NOMAT CH 7 %NM 24.13 1	MATCH 20 NOMAT CH 9 %NM 31.03 2	MATCH 26 NOMAT CH 3 %NM 10.34 1
24 M	r _s	0.999452	0.999863	0.999863	0.999178	0.999863
	r	1	1	1	1	1
	d	0.525	0.995	0.955	0.615	0.982
	MATCH H	MATCH 19 NOMAT CH 9 %NM 32.14 5	MATCH 25 NOMATC H 3 %NM 10.71	MATCH 23 NOMAT CH 5 %NM 17.85 1	MATCH 18 NOMAT CH 10 %NM 35.71 2	MATCH 20 NOMAT CH 8 %NM 28.57
36 M	r _s	0.998931	0.999847	0.999847	0.998243	1
	r	1	1	1	1	1
	d	0.516	0.991	0.947	0.604	0.969
	MATCH H	MATCH 19 NOMAT CH 8 %NM 29.63 3	MATCH 20 NOMATC H 7 %NM 25.92	MATCH 21 NOMAT CH 6 %NM 22.22	MATCH 18 NOMAT CH 9 %NM 33.33 4	MATCH 19 NOMAT CH 8 %NM 29.63

Tabla 3.9 Resumen de coeficientes para el mes de febrero para las estaciones bajo estudio.

TIEMPO/EST	16120	16022	16114	16055	16081	
3 M	r _s	1	1	0.999877	1	0.999754
	r	0.9985	0.9898	0.9992	0.9719	0.9956
	d	0.993	0.992	0.994	0.98	0.995
	MATCH H	MATCH 26 NOMAT CH 3 %NM 10.34	MATCH 26 NOMATC H 3 %NM 10.34	MATCH 26 NOMAT CH 3 %NM 10.34	MATCH 24 NOMAT CH 5 %NM 17.24	MATCH 26 NOMAT CH 3 %NM 10.34
6 M	r _s	0.999938	0.999877	0.999877	0.999877	1
	r	1	1	1	1	1
	d	0.808	0.979	0.976	0.833	0.993
	MATCH H	MATCH 20 NOMAT CH 9 %NM 31.03 2	MATCH 23 NOMATC H 6 %NM 20.69	MATCH 21 NOMAT CH 8 %NM 27.58	MATCH 25 NOMAT CH 4 %NM 13.79 2	MATCH 23 NOMAT CH 6 %NM 20.69
9 M	r _s	0.99963	0.999384	1	0.999507	0.999692
	r	0.9974	0.9408	1	1	1
	d	0.718	0.892	0.98	0.641	0.995
	MATCH H	MATCH 28 NOMAT CH 1 %NM 3.4483 1	MATCH 23 NOMATC H 6 %NM 20.69	MATCH 23 NOMAT CH 6 %NM 20.69	MATCH 21 NOMAT CH 8 %NM 27.586 3	MATCH 27 NOMAT CH 2 %NM 6.8966
12 M	r _s	0.99889	0.915496	0.999507	0.99963	1
	r	1	0.6701	1	1	1
	d	0.59	0.742	0.979	0.652	0.994
	MATCH H	MATCH 19 NOMAT CH 10 %NM 34.48 4	MATCH 21 NOMATC H 8 %NM 27.58	MATCH 21 NOMAT CH 8 %NM 27.58	MATCH 19 NOMAT CH 10 %NM 34.48 2	MATCH 26 NOMAT CH 3 %NM 10.34
24 M	r _s	0.999041	0.999863	0.999863	0.999589	0.999863
	r	1	1	1	1	1
	d	0.522	0.995	0.955	0.614	0.983
	MATCH H	MATCH 20 NOMAT CH 8 %NM 28.57 5	MATCH 26 NOMATC H 2 %NM 7.142	MATCH 23 NOMAT CH 5 %NM 17.85 1	MATCH 18 NOMAT CH 10 %NM 35.71 4	MATCH 20 NOMAT CH 8 %NM 28.57
36 M	r _s	0.998778	0.999847	1	0.999542	0.999847
	r	1	1	1	1	1
	d	0.513	0.991	0.955	0.605	0.97
	MATCH H	MATCH 19 NOMAT CH 8 %NM 29.63 4	MATCH 22 NOMATC H 5 %NM 18.51	MATCH 19 NOMAT CH 8 %NM 29.63	MATCH 18 NOMAT CH 9 %NM 33.33 4	MATCH 18 NOMAT CH 9 %NM 33.33

Tabla 3.10 Resumen de coeficientes para el mes de marzo para las estaciones bajo estudio.

TIEMPO/EST		16120	16022	16114	16055	16081
3 M	r _s	0.999666	1	0.999777	0.999776	1
	r	0.9955	0.987	0.9996	0.9831	0.9976
	d	0.998	0.986	0.993	0.984	0.995
	MATCH H	MATCH 28 NOMAT CH 2 %NM 6.666	MATCH 28 NOMATC H 2 %NM 6.666	MATCH 23 NOMAT CH 7 %NM 23.33	MATCH 20 NOMAT CH 10 %NM 33.33	MATCH 29 NOMAT CH 1 %NM 3.33
6 M	r _s	0.999877	1	0.999877	0.958359	1
	r	1	1	1	0.9194	1
	d	0.927	0.984	0.993	0.831	1
	MATCH H	MATCH 23 NOMAT CH 6 %NM 20.69	MATCH 23 NOMATC H 6 %NM 20.69	MATCH 27 NOMAT CH 2 %NM 6.896	MATCH 24 NOMAT CH 5 %NM 17.24 4	MATCH 29 NOMAT CH 0 %NM 0
9 M	r _s	-0.2156	0.999754	0.999754	0.99963	1
	r	-0.293	1	1	1	1
	d	0.552	0.956	0.98	0.665	0.996
	MATCH H	MATCH 8 NOMAT CH 21 %NM 72.41 15	MATCH 24 NOMATC H 5 %NM 17.24	MATCH 23 NOMAT CH 6 %NM 20.69	MATCH 18 NOMAT CH 11 %NM 37.93 4	MATCH 24 NOMAT CH 5 %NM 17.24
12 M	r _s	-0.27551	0.999877	0.999877	0.99963	0.999877
	r	-0.203	1	1	1	1
	d	0.505	0.845	0.979	0.642	0.994
	MATCH H	MATCH 10 NOMAT CH 19 %NM 65.51 15	MATCH 22 NOMATC H 7 %NM 24.13	MATCH 21 NOMAT CH 8 %NM 27.58	MATCH 17 NOMAT CH 12 %NM 41.37 3	MATCH 23 NOMAT CH 6 %NM 20.69
24 M	r _s	-0.34192	1	0.999863	0.999453	1
	r	-0.246	1	1	1	1
	d	0.464	0.995	0.955	0.611	0.981
	MATCH H	MATCH 8 NOMAT CH 20 %NM 71.42 15	MATCH 27 NOMATC H 1 %NM 3.571	MATCH 23 NOMAT CH 5 %NM 17.85 1	MATCH 18 NOMAT CH 10 %NM 35.71 4	MATCH 20 NOMAT CH 8 %NM 28.57
36 M	r _s	0.999695	0.999083	0.999389	0.998625	1
	r	1	1	1	1	1
	d	0.513	0.99	0.947	0.578	0.968
	MATCH H	MATCH 19 NOMAT CH 8 %NM 29.63 3	MATCH 20 NOMATC H 7 %NM 25.92	MATCH 20 NOMAT CH 7 %NM 25.92	MATCH 20 NOMAT CH 7 %NM 25.92 4	MATCH 18 NOMAT CH 9 %NM 33.33

Tabla 3.11 Resumen de coeficientes para el mes de abril para las estaciones bajo estudio.

TIEMPO/EST	16120	16022	16114	16055	16081	
3 M	r _s	0.999555	1	1	0.999889	1
	r	0.9922	0.9864	0.9988	0.969	1
	d	0.993	0.989	0.994	0.971	0.997
	MATCH H	MATCH 25 NOMAT CH 5 %NM 16.66	MATCH 27 NOMATC H 3 %NM 10	MATCH 28 NOMAT CH 2 %NM 6.666	MATCH 24 NOMAT CH 6 %NM 20	MATCH 27 NOMAT CH 3 %NM 10
6 M	r _s	1	0.999877	0.999877	0.794895	0.999877
	r	1	1	1	0.7673	1
	d	0.963	0.984	0.989	0.857	0.997
	MATCH H	MATCH 19 NOMAT CH 10 %NM 34.48	MATCH 24 NOMATC H 5 %NM 17.24	MATCH 23 NOMAT CH 6 %NM 20.69	MATCH 17 NOMAT CH 12 %NM 41.379	MATCH 25 NOMAT CH 4 %NM 13.793
9 M	r _s	0.99963	0.999754	0.999384	0.99963	0.99963
	r	1	1	1	1	1
	d	0.655	0.898	0.975	0.703	0.998
	MATCH H	MATCH 19 NOMAT CH 10 %NM 34.48 5	MATCH 25 NOMATC H 4 %NM 13.79 1	MATCH 21 NOMAT CH 8 %NM 27.58 1	MATCH 21 NOMAT CH 8 %NM 27.58 3	MATCH 24 NOMAT CH 5 %NM 17.24
12 M	r _s	0.99963	1	1	0.999507	1
	r	1	1	1	1	0.9999
	d	0.579	0.744	0.978	0.631	0.991
	MATCH H	MATCH 20 NOMAT CH 9 %NM 31.03 3	MATCH 21 NOMATC H 8 %NM 27.58	MATCH 21 NOMAT CH 8 %NM 27.58	MATCH 17 NOMAT CH 12 %NM 41.37 4	MATCH 25 NOMAT CH 4 %NM 13.79
24 M	r _s	0.999315	1	1	0.999178	0.999726
	r	1	1	1	1	1
	d	0.516	0.995	0.954	0.609	0.98
	MATCH H	MATCH 20 NOMAT CH 8 %NM 28.57 5	MATCH 25 NOMATC H 3 %NM 10.71	MATCH 25 NOMAT CH 3 %NM 10.71 1	MATCH 19 NOMAT CH 9 %NM 32.14 3	MATCH 20 NOMAT CH 8 %NM 28.57
36 M	r _s	0.998166	0.999847	1	0.999084	1
	r	1	1	1	1	1
	d	0.511	0.99	0.946	0.605	0.968
	MATCH H	MATCH 17 NOMAT CH 10 %NM 37.03 5	MATCH 20 NOMATC H 7 %NM 25.92	MATCH 20 NOMAT CH 7 %NM 25.92	MATCH 20 NOMAT CH 7 %NM 25.92 4	MATCH 18 NOMAT CH 9 %NM 33.33

Tabla 3.12 Resumen de coeficientes para el mes de mayo para las estaciones bajo estudio.

TIEMPO/EST	16120	16022	16114	16055	16081	
3 M	r _s	0.999555	0.999889	1	0.999777	0.999889
	r	0.9851	0.9885	0.9973	0.9951	0.9892
	d	0.981	0.988	0.997	0.972	0.981
	MATCH H	MATCH 23 NOMAT CH 7 %NM 23.33	MATCH 24 NOMATC H 6 %NM 20	MATCH 28 NOMAT CH 2 %NM 6.666	MATCH 24 NOMAT CH 6 %NM 20	MATCH 22 NOMAT CH 8 %NM 26.66
6 M	r _s	0.999877	1	0.999877	0.999754	0.537514
	r	1	1	1	0.9788	0.6156
	d	0.969	0.999	0.991	0.954	0.788
	MATCH H	MATCH 21 NOMAT CH 8 %NM 27.58 2	MATCH 29 NOMATC H 0 %NM 0	MATCH 23 NOMAT CH 6 %NM 20.69	MATCH 24 NOMAT CH 5 %NM 17,24 4	MATCH 20 NOMAT CH 9 %NM 31.03 4
9 M	r _s	0.999507	0.999138	1	0.99963	1
	r	1	1	1	1	1
	d	0.752	0.837	0.97	0.855	0.992
	MATCH H	MATCH 19 NOMAT CH 10 %NM 34.48 3	MATCH 21 NOMATC H 8 %NM 27.58 1	MATCH 22 NOMAT CH 7 %NM 24.13 1	MATCH 22 NOMAT CH 7 %NM 24,13 2	MATCH 21 NOMAT CH 8 %NM 27.58 0
12 M	r _s	0.999507	0.999754	0.999877	0.999261	0.999384
	r	1	1	1	1	0.9998
	d	0.563	0.825	0.976	0.649	0.995
	MATCH H	MATCH 20 NOMAT CH 9 %NM 31.03 4	MATCH 21 NOMATC H 8 %NM 27.58	MATCH 21 NOMAT CH 8 %NM 27.58	MATCH 18 NOMAT CH 11 %NM 37,93 5	MATCH 22 NOMAT CH 7 %NM 24.13
24 M	r _s	0.999178	0.999863	0.999726	0.997945	0.999863
	r	1	1	1	0.9999	1
	d	0.501	0.995	0.954	0.612	0.983
	MATCH H	MATCH 21 NOMAT CH 7 %NM 25 5	MATCH 25 NOMATC H 3 %NM 10.71	MATCH 21 NOMAT CH 7 %NM 25 1	MATCH 18 NOMAT CH 10 %NM 35,71 3	MATCH 19 NOMAT CH 9 %NM 32.14
36 M	r _s	0.999389	1	0.999695	0.999236	0.999695
	r	0.9999	1	1	1	1
	d	0.501	0.992	0.946	0.604	0.971
	MATCH H	MATCH 17 NOMAT CH 10 %NM 37.03 2	MATCH 19 NOMATC H 8 %NM 29.63	MATCH 21 NOMAT CH 6 %NM 22.22	MATCH 19 NOMAT CH 8 %NM 29,63 4	MATCH 20 NOMAT CH 7 %NM 25.92

Tabla 3.13 Resumen de coeficientes para el mes de junio para las estaciones bajo estudio.

TIEMPO/EST	16120	16022	16114	16055	16081	
3 M	r _s	0.999555	0.999889	0.999889	0.999889	0.999889
	r	0.9454	1	0.9922	1	1
	d	0.947	0.912	0.981	0.825	0.954
	MATCH H	MATCH 23 NOMAT CH 7 %NM 23.33 0	MATCH 20 NOMATC H 10 %NM 33.33 3	MATCH 24 NOMAT CH 6 %NM 20 0	MATCH 23 NOMAT CH 7 %NM 23,33 2	MATCH 20 NOMAT CH 10 %NM 33.33 1
6 M	r _s	0.999555	1	1	0.999777	1
	r	0.9015	1	0.9838	1	1
	d	0.876	0.904	0.958	0.818	0.936
	MATCH H	MATCH 21 NOMAT CH 9 %NM 30 4	MATCH 20 NOMATC H 10 %NM 33.33 3	MATCH 20 NOMAT CH 10 %NM 33.33 2	MATCH 20 NOMAT CH 10 %NM 33,33 1	MATCH 22 NOMAT CH 8 %NM 26.66
9 M	r _s	0.999507	1	1	0.999877	1
	r	1	1	1	1	0.9996
	d	0.85	0.93	0.975	0.805	0.993
	MATCH H	MATCH 22 NOMAT CH 7 %NM 24.13 4	MATCH 19 NOMATC H 10 %NM 34.48 1	MATCH 20 NOMAT CH 9 %NM 31.03 0	MATCH 24 NOMAT CH 5 %NM 17,24 3	MATCH 27 NOMAT CH 2 %NM 6.896
12 M	r _s	0.999261	0.999754	1	0.99963	0.999877
	r	1	1	1	1	1
	d	0.563	0.869	0.965	0.625	0.995
	MATCH H	MATCH 19 NOMAT CH 10 %NM 34.48 4	MATCH 24 NOMATC H 5 %NM 17.24 1	MATCH 20 NOMAT CH 9 %NM 31.03	MATCH 18 NOMAT CH 11 %NM 37,93 4	MATCH 27 NOMAT CH 2 %NM 6.896
24 M	r _s	0.999315	-0.10837	1	0.999726	0.9998623
	r	1	0.0514	1	1	1
	d	0.524	0.456	0.955	0.599	0.985
	MATCH H	MATCH 18 NOMAT CH 10 %NM 35.71 2	MATCH 27 NOMATC H 1 %NM 3.571	MATCH 22 NOMAT CH 6 %NM 21.42	MATCH 19 NOMAT CH 9 %NM 32,14 5	MATCH 21 NOMAT CH 7 %NM 25
36 M	r _s	0.999389	1	1	0.999542	0.999542
	r	1	1	1	1	1
	d	0.503	0.993	0.943	0.616	0.973
	MATCH H	MATCH 17 NOMAT CH 10 %NM 37.03 2	MATCH 25 NOMATC H 2 %NM 7.407	MATCH 22 NOMAT CH 5 %NM 18.51	MATCH 20 NOMAT CH 7 %NM 25,92 4	MATCH 16 NOMAT CH 11 %NM 40.74

Tabla 3.14 Resumen de coeficientes para el mes de julio para las estaciones bajo estudio.

TIEMPO/EST	16120	16022	16114	16055	16081	
3 M	r _s	0.999555	0.999777	1	0.987088	0.999666
	r	1	1	0.9924	0.928	1
	d	0.949	0.998	0.983	0.704	0.909
	MATCH H	MATCH 25 NOMAT CH 5 %NM 16.66	MATCH 28 NOMATC H 2 %NM 6.666	MATCH 25 NOMAT CH 5 %NM 16.66	MATCH 24 NOMAT CH 6 %NM 20 3	MATCH 22 NOMAT CH 8 %NM 26.66 1
6 M	r _s	0.999889	0.999889	1	1	0.999889
	r	1	1	0.99	1	1
	d	0.951	0.996	0.974	0.822	0.905
	MATCH H	MATCH 25 NOMAT CH 5 %NM 16.66	MATCH 28 NOMATC H 2 %NM 6.666	MATCH 22 NOMAT CH 8 %NM 26.66	MATCH 25 NOMAT CH 5 %NM 16,66 1	MATCH 22 NOMAT CH 8 %NM 26667
9 M	r _s	0.999261	0.999754	0.999877	0.999754	1
	r	1	1	1	1	1
	d	0.994	0.996	0.984	0.807	0.994
	MATCH H	MATCH 27 NOMAT CH 2 %NM 6.896	MATCH 27 NOMATC H 2 %NM 6.896	MATCH 25 NOMAT CH 4 %NM 13.79	MATCH 26 NOMAT CH 3 %NM 10,34 1	MATCH 26 NOMAT CH 3 %NM 10.34
12 M	r _s	0.999877	0.999877	0.999877	0.99963	1
	r	1	1	1	1	1
	d	0.996	0.997	0.96	0.716	0.995
	MATCH H	MATCH 27 NOMAT CH 2 %NM 6.896	MATCH 26 NOMATC H 3 %NM 10.34	MATCH 20 NOMAT CH 9 %NM 31.03	MATCH 22 NOMAT CH 7 %NM 24,13 2	MATCH 22 NOMAT CH 7 %NM 24.13
24 M	r _s	1	1	1	0.999863	1
	r	1	1	1	1	1
	d	0.989	0.996	0.95	0.637	0.978
	MATCH H	MATCH 23 NOMAT CH 5 %NM 17.85 1	MATCH 23 NOMATC H 5 %NM 17.85	MATCH 21 NOMAT CH 7 %NM 25 1	MATCH 19 NOMAT CH 9 %NM 32,14 5	MATCH 20 NOMAT CH 8 %NM 28.571
36 M	r _s	1	0.999847	1	0.999695	1
	r	1	1	1	1	1
	d	0.99	0.988	0.941	0.666	0.967
	MATCH H	MATCH 23 NOMAT CH 4 %NM 14.81	MATCH 21 NOMATC H 6 %NM 22.22	MATCH 17 NOMAT CH 10 %NM 37.03	MATCH 17 NOMAT CH 10 %NM 37,03 3	MATCH 17 NOMAT CH 10 %NM 37.03

Tabla 3.15 Resumen de coeficientes para el mes de agosto para las estaciones bajo estudio.

TIEMPO/EST	16120	16022	16114	16055	16081	
3 M	r _s	1	0.999666	0.999777	0.999777	0.999889
	r	1	1	0.9916	1	1
	d	0.947	0.998	0.985	0.733	0.858
	MATCH H	MATCH 29 NOMAT CH 1 %NM 3.333	MATCH 28 NOMATC H 2 %NM 6.666	MATCH 25 NOMAT CH 5 %NM 16.66	MATCH 24 NOMAT CH 6 %NM 20 3	MATCH 18 NOMAT CH 12 %NM 40 3
6 M	r _s	0.99961	1	1	0.999777	0.999889
	r	1	1	0.9893	1	1
	d	0.909	1	0.975	0.764	0.837
	MATCH H	MATCH 28 NOMAT CH 2 %NM 6.666 1	MATCH 30 NOMATC H 0 %NM 0	MATCH 23 NOMAT CH 7 %NM 23.33	MATCH 24 NOMAT CH 6 %NM 20 2	MATCH 18 NOMAT CH 12 %NM 40 5
9 M	r _s	0.999754	1	0.999877	0.986082	0.999877
	r	1	1	1	0.9405	1
	d	0.995	1	0.986	0.732	0.998
	MATCH H	MATCH 28 NOMAT CH 1 %NM 3.4483	MATCH 28 NOMATC H 1 %NM 3.4483	MATCH 24 NOMAT CH 5 %NM 17.241	MATCH 24 NOMAT CH 5 %NM 17,241 2	MATCH 26 NOMAT CH 3 %NM 10.345
12 M	r _s	0.999754	1	1	0.99963	0.999877
	r	1	1	1	1	1
	d	0.995	0.997	0.966	0.809	0.995
	MATCH H	MATCH 26 NOMAT CH 3 %NM 10.34	MATCH 24 NOMATC H 5 %NM 17.24	MATCH 18 NOMAT CH 11 %NM 37.93	MATCH 25 NOMAT CH 4 %NM 13,79 2	MATCH 27 NOMAT CH 2 %NM 6.89
24 M	r _s	0.999863	1	1	0.999863	0.999863
	r	1	1	1	1	1
	d	0.99	0.992	0.95	0.822	0.976
	MATCH H	MATCH 24 NOMAT CH 4 %NM 14.28	MATCH 24 NOMATC H 4 %NM 14.28	MATCH 20 NOMAT CH 8 %NM 28.57 1	MATCH 13 NOMAT CH 15 %NM 53,57 1	MATCH 20 NOMAT CH 8 %NM 28.5
36 M	r _s	1	0.999847	1	0.999695	0.959548
	r	1	1	1	1	1
	d	0.993	0.992	0.942	0.779	0.965
	MATCH H	MATCH 24 NOMAT CH 3 %NM 11.11	MATCH 20 NOMATC H 7 %NM 25.92	MATCH 18 NOMAT CH 9 %NM 33.33 1	MATCH 15 NOMAT CH 12 %NM 44,444 2	MATCH 16 NOMAT CH 11 %NM 40.71

Tabla 3.16 Resumen de coeficientes para el mes de septiembre para las estaciones bajo estudio.

TIEMPO/EST	16120	16022	16114	16055	16081	
3 M	r _s	0.999444	1	1	0.999666	0.999443
	r	1	1	1	1	1
	d	0.829	0.988	0.989	0.723	0.895
	MATCH H	MATCH 22 NOMAT CH 8 %NM 26.66 4	MATCH 28 NOMATC H 2 %NM 6.666	MATCH 26 NOMAT CH 4 %NM 13.33	MATCH 18 NOMAT CH 12 %NM 40 1	MATCH 22 NOMAT CH 8 %NM 26.66 2
6 M	r _s	0.999777	0.999777	0.999778	0.999221	0.999777
	r	1	1	1	1	1
	d	0.804	0.998	0.97	0.708	0.801
	MATCH H	MATCH 23 NOMAT CH 7 %NM 23.33 5	MATCH 29 NOMATC H 1 %NM 3.33	MATCH 20 NOMAT CH 10 %NM 33.33	MATCH 22 NOMAT CH 8 %NM 26,66 4	MATCH 18 NOMAT CH 12 %NM 40 4
9 M	r _s	0.999777	1	1	0.999555	0.999444
	r	1	1	1	1	1
	d	0.811	0.999	0.963	0.724	0.808
	MATCH H	MATCH 23 NOMAT CH 7 %NM 23.33 5	MATCH 30 NOMATC H 0 %NM 0	MATCH 20 NOMAT CH 10 %NM 33.33	MATCH 21 NOMAT CH 9 %NM 30 3	MATCH 16 NOMAT CH 14 %NM 46.66 4
12 M	r _s	0.999877	1	0.999877	1	1
	r	1	1	1	1	1
	d	0.994	0.998	0.975	0.763	0.994
	MATCH H	MATCH 28 NOMAT CH 1 %NM 3.4483	MATCH 26 NOMATC H 3 %NM 10.345	MATCH 20 NOMAT CH 9 %NM 31.034	MATCH 22 NOMAT CH 7 %NM 24,138 2	MATCH 26 NOMAT CH 3 %NM 10.345
24 M	r _s	0.999863	1	1	1	1
	r	1	1	1	1	1
	d	0.991	0.984	0.954	0.799	0.975
	MATCH H	MATCH 20 NOMAT CH 8 %NM 28.57	MATCH 21 NOMATC H 7 %NM 25	MATCH 19 NOMAT CH 9 %NM 32.14 1	MATCH 10 NOMAT CH 18 %NM 64,28	MATCH 14 NOMAT CH 14 %NM 50
36 M	r _s	1	1	1	0.999695	1
	r	1	1	1	1	1
	d	0.992	0.987	0.945	0.761	0.957
	MATCH H	MATCH 21 NOMAT CH 6 %NM 22.22	MATCH 22 NOMATC H 5 %NM 18.51	MATCH 20 NOMAT CH 7 %NM 25.92	MATCH 16 NOMAT CH 11 %NM 40,74 1	MATCH 17 NOMAT CH 10 %NM 37.03

Tabla 3.17 Resumen de coeficientes para el mes de octubre para las estaciones bajo estudio.

TIEMPO/EST	16120	16022	16114	16055	16081	
3 M	r _s	0.999666	0.999777	1	0.999889	0.999889
	r	1	1	1	1	1
	d	0.891	0.993	0.983	0.774	0.942
	MATCH H	MATCH 21 NOMAT CH 9 %NM 30 1	MATCH 28 NOMATC H 2 %NM 6.666	MATCH 28 NOMAT CH 2 %NM 6.666	MATCH 22 NOMAT CH 8 %NM 26,66 4	MATCH 19 NOMAT CH 11 %NM 36.66
6 M	r _s	0.999889	0.999778	1	0.999778	0.998665
	r	1	1	1	1	1
	d	0.817	0.997	0.974	0.707	0.844
	MATCH H	MATCH 20 NOMAT CH 10 %NM 33.33 4	MATCH 30 NOMATC H 0 %NM 0	MATCH 21 NOMAT CH 9 %NM 30	MATCH 20 NOMAT CH 10 %NM 33,33 4	MATCH 18 NOMAT CH 12 %NM 40 4
9 M	r _s	0.999889	1	0.999777	1	0.999777
	r	1	1	1	1	1
	d	0.826	0.998	0.967	0.715	0.836
	MATCH H	MATCH 21 NOMAT CH 9 %NM 30 4	MATCH 29 NOMATC H 1 %NM 3.333	MATCH 19 NOMAT CH 11 %NM 36.6	MATCH 21 NOMAT CH 9 %NM 30 3	MATCH 18 NOMAT CH 12 %NM 40 5
12 M	r _s	0.999877	1	1	0.999877	1
	r	1	1	1	1	1
	d	0.994	0.995	0.978	0.779	0.993
	MATCH H	MATCH 25 NOMAT CH 4 %NM 13.79	MATCH 28 NOMATC H 1 %NM 3.448	MATCH 23 NOMAT CH 6 %NM 20.69	MATCH 22 NOMAT CH 7 %NM 24,13 3	MATCH 22 NOMAT CH 7 %NM 24.13
24 M	r _s	0.999863	1	1	1	1
	r	1	1	1	1	1
	d	0.992	0.989	0.954	0.804	0.976
	MATCH H	MATCH 25 NOMAT CH 3 %NM 10.71	MATCH 21 NOMATC H 7 %NM 25	MATCH 20 NOMAT CH 8 %NM 28.57 2	MATCH 8 NOMAT CH 20 %NM 71,42 1	MATCH 18 NOMAT CH 10 %NM 35.71
36 M	r _s	1	1	1	0.999847	1
	r	1	1	1	1	1
	d	0.993	0.983	0.948	0.757	0.959
	MATCH H	MATCH 22 NOMAT CH 5 %NM 18.51	MATCH 19 NOMATC H 8 %NM 29.63	MATCH 21 NOMAT CH 6 %NM 22.22	MATCH 11 NOMAT CH 16 %NM 59,25 1	MATCH 13 NOMAT CH 14 %NM 51.85

Tabla 3.18 Resumen de coeficientes para el mes de noviembre para las estaciones bajo estudio.

TIEMPO/EST	16020	16122	16114	16055	16081	
3 M	r _s	1	1	0.999889	0.999889	0.999666
	r	1	1	1	1	1
	d	0.968	0.99	0.981	0.921	0.982
	MATCH H	MATCH 21 NOMAT CH 9 %NM 30	MATCH 26 NOMATC H 4 %NM 13.33	MATCH 20 NOMAT CH 10 %NM 33.33	MATCH 23 NOMAT CH 7 %NM 23,33 1	MATCH 23 NOMAT CH 7 %NM 23.33
6 M	r _s	0.999555	1	1	0.999666	0.999443
	r	1	1	1	1	1
	d	0.817	0.996	0.973	0.709	0.858
	MATCH H	MATCH 23 NOMAT CH 7 %NM 23.33	MATCH 28 NOMATC H 2 %NM 6.666	MATCH 22 NOMAT CH 8 %NM 26.66	MATCH 20 NOMAT CH 10 %NM 33,33 4	MATCH 19 NOMAT CH 11 %NM 36.66 5
9 M	r _s	0.998887	0.999777	0.999777	0.999889	0.999889
	r	1	1	1	1	1
	d	0.819	0.996	0.965	0.73	0.835
	MATCH H	MATCH 21 NOMAT CH 9 %NM 30 5	MATCH 29 NOMATC H 1 %NM 3.33	MATCH 20 NOMAT CH 10 %NM 33.33	MATCH 21 NOMAT CH 9 %NM 30 3	MATCH 18 NOMAT CH 12 %NM 40 6
12 M	r _s	0.999754	0.999877	1	0.99963	0.999877
	r	0.9999	1	1	1	1
	d	0.994	0.996	0.977	0.784	0.993
	MATCH H	MATCH 27 NOMAT CH 2 %NM 6.896	MATCH 28 NOMATC H 1 %NM 3.448	MATCH 22 NOMAT CH 7 %NM 24.13	MATCH 23 NOMAT CH 6 %NM 20,69 3	MATCH 28 NOMAT CH 1 %NM 3.448
24 M	r _s	0.999863	0.999863	0.999863	0.999863	1
	r	1	1	1	1	1
	d	0.992	0.99	0.954	0.804	0.975
	MATCH H	MATCH 26 NOMAT CH 2 %NM 7.142	MATCH 19 NOMATC H 9 %NM 32.14	MATCH 22 NOMAT CH 6 %NM 21.42	MATCH 9 NOMAT CH 19 %NM 67,85 2	MATCH 18 NOMAT CH 10 %NM 35.71
36 M	r _s	1	1	1	1	1
	r	1	1	1	1	1
	d	0.993	0.986	0.948	0.755	0.96
	MATCH H	MATCH 21 NOMAT CH 6 %NM 22.22	MATCH 20 NOMATC H 7 %NM 25.92	MATCH 19 NOMAT CH 8 %NM 29.63	MATCH 13 NOMAT CH 14 %NM 51,85 1	MATCH 14 NOMAT CH 13 %NM 48.14

Tabla 3.19 Resumen de coeficientes para el mes de diciembre para las estaciones bajo estudio.

TIEMPO/EST	16120	16022	16114	16055	16081	
3 M	r _s	0.999889	0.999889	1	0.999777	0.999889
	r	1	1	0.9967	1	1
	d	0.999	0.996	0.997	0.982	0.999
	MATCH H	MATCH 26 NOMAT CH 4 %NM 13.33	MATCH 26 NOMATC H 4 %NM 13.33	MATCH 23 NOMAT CH 7 %NM 23.33	MATCH 23 NOMAT CH 7 %NM 23,33	MATCH 29 NOMAT CH 1 %NM 3.333
6 M	r _s	0.999889	0.999777	0.999555	1	0.999555
	r	1	1	1	1	1
	d	0.83	0.987	0.973	0.734	0.888
	MATCH H	MATCH 21 NOMAT CH 9 %NM 30 3	MATCH 28 NOMATC H 2 %NM 6.666	MATCH 22 NOMAT CH 8 %NM 26.66	MATCH 16 NOMAT CH 14 %NM 46,66 3	MATCH 19 NOMAT CH 11 %NM 36.66 3
9 M	r _s	0.999889	1	0.999555	0.999889	0.999778
	r	1	1	1	1	1
	d	0.817	0.995	0.966	0.717	0.82
	MATCH H	MATCH 21 NOMAT CH 9 %NM 30 5	MATCH 29 NOMATC H 1 %NM 3.333	MATCH 19 NOMAT CH 11 %NM 36.66	MATCH 18 NOMAT CH 12 %NM 40 3	MATCH 18 NOMAT CH 12 %NM 40 5
12 M	r _s	1	1	1	0.999444	0.999443
	r	1	1	1	1	1
	d	0.824	0.998	0.961	0.728	0.822
	MATCH H	MATCH 20 NOMAT CH 9 %NM 30 4	MATCH 28 NOMATC H 1 %NM 3.4483	MATCH 18 NOMAT CH 11 %NM 36.667 1	MATCH 18 NOMAT CH 11 %NM 37,931 3	MATCH 18 NOMAT CH 11 %NM 37.931 4
24 M	r _s	0.999877	0.999877	0.999877	0.999754	0.999754
	r	1	1	1	1	0.9999
	d	0.99	0.994	0.954	0.713	0.985
	MATCH H	MATCH 26 NOMAT CH 3 %NM 10.34	MATCH 26 NOMATC H 3 %NM 10.34	MATCH 23 NOMAT CH 6 %NM 20.69	MATCH 19 NOMAT CH 10 %NM 34,48 2	MATCH 22 NOMAT CH 7 %NM 24.13
36 M	r _s	0.999863	1	1	1	0.999726
	r	1	1	1	1	1
	d	0.986	0.989	0.954	0.783	0.97
	MATCH H	MATCH 24 NOMAT CH 4 %NM 14.28	MATCH 22 NOMATC H 6 %NM 21.42	MATCH 22 NOMAT CH 6 %NM 21.42	MATCH 12 NOMAT CH 16 %NM 57,14 2	MATCH 18 NOMAT CH 10 %NM 35.71

3.3.2 Comparación de la consistencia de la categoría del evento

Aún cuando los coeficientes de correlación, de Spearman y el índice de concordancia indican una alta correlación entre los diferentes valores calculados, fue interesante checar la consistencia de la clasificación mencionada en la tabla 1.10 obtenida para las diferentes longitudes de registro.

La consistencia se determino como se mencionó en el inciso d2 de la metodología, esto es, si un evento del registro mayor es consistente con una categoría dada para una de registro corto, se tendrá un “match”, de otra forma será un “no-match”. Entonces se calculo el porcentaje del no-match. También se contó el número de veces que el match difiere en más de una categoría.

Generalmente los porcentajes para 3 y 6 meses fueron muy parecidos en todas las estaciones, y cayeron entre un 10 y 35%, para los periodos de 9, 12, 24 y 36 meses las discrepancias fueron significativas, para los 36 meses los porcentajes de no-match variaron del 10 al 80%. Cabe señalar que la mayor parte del no-match cayó fuera solamente en una categoría. Además se pudo observar que el numero de eventos de no-match no están relacionados con la mayor o menor longitud de registro utilizado en el calculo del SPI, como ejemplo podemos mencionar los casos de las estaciones 16120 y 16022, la primera posee un registro más corto que la 16022 y sin embargo el número de veces que se tuvo un no-match diferente en más de una categoría es mucho mayor que para la 16022. La figura 3.2 muestra la grafica de barras correspondiente a la estación 16081 para el mes de junio para las diferentes escalas de análisis, se puede observar como el porcentaje de no match aumenta de 33% a 40.7%. La grafica 3.3 muestra el histograma correspondiente a la estación 16022 que aunque inicia con el mismo porcentaje de no-match disminuye casi completamente de 33% a 7.4 % aunque tenga en un inicio un mayor numero de no-match más allá de una categoría (3 contra 1).

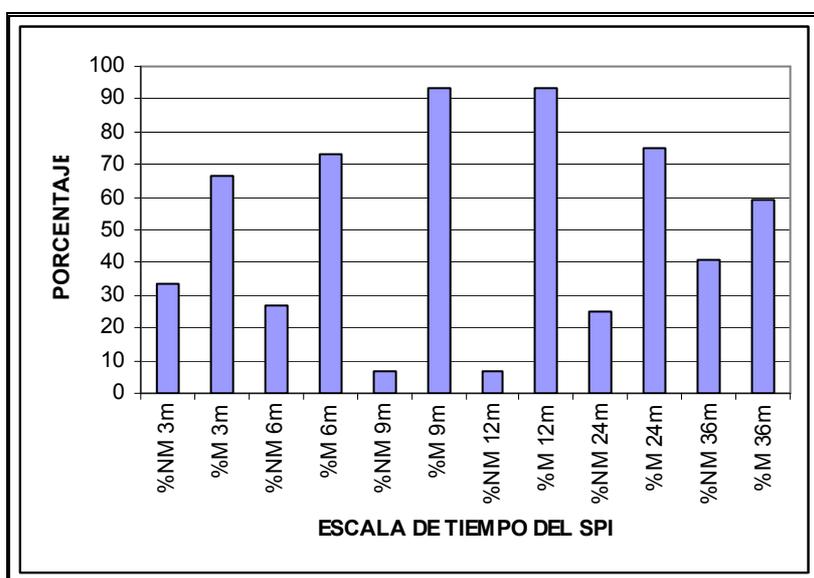


Fig. 3.2 Histograma que muestra la consistencia de eventos para el mes de junio estación 16081

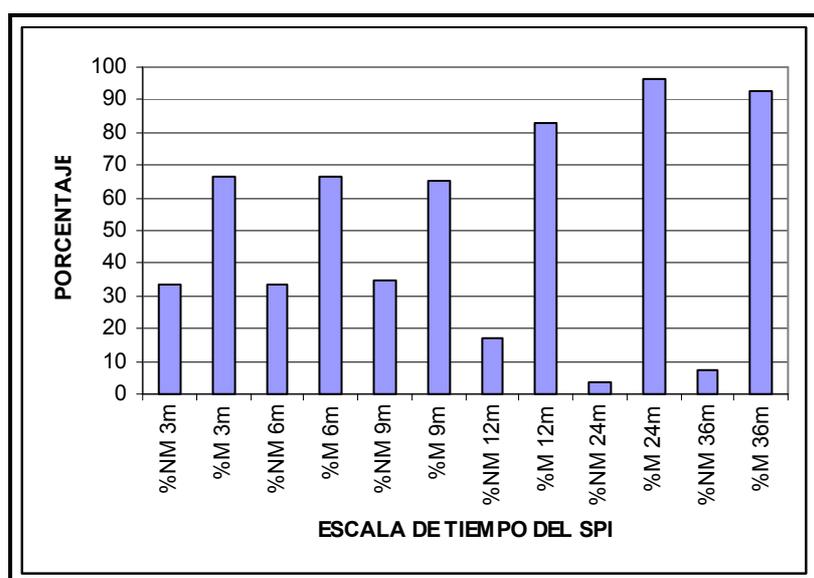


Fig 3.3 Histograma que muestra la consistencia de eventos para el mes de junio estación 16022

3.3.3 Comparación de los valores del SPI para años específicos.

En algunos casos de sequía severa o de intensa precipitación, los valores del SPI obtenidos de registros con diferente longitud coinciden de una manera aceptable para algunas estaciones, sin embargo los valores para escalas grandes del SPI difieren considerablemente para otras estaciones, especialmente en sequías severas. Las figuras 3.4(a y b) muestran la comparación entre valores del SPI calculados con datos de 1964-2002 y 1973-2002 para la estación 16014 en los años 1975-1976. Los valores del SPI son comparados utilizando los intervalos de 3 y 12 meses, como podemos observar las curvas coinciden, para estos años en particular (las diferencias se encuentran dentro de un rango que va de 0 a 0.36). La clasificación de valores del SPI es coincidente.

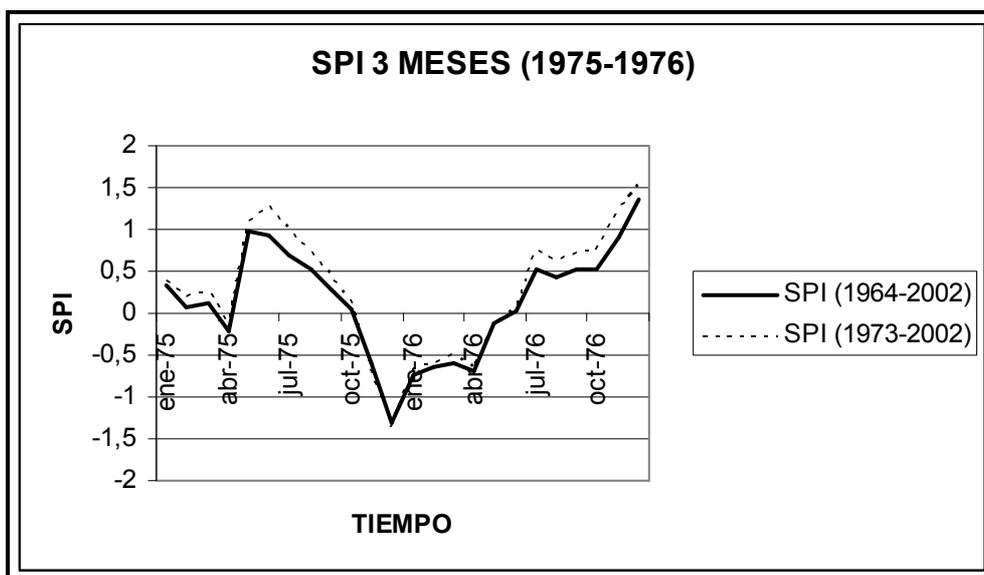


Fig. 3.4(a) Estación 16014 SPI calculado para un intervalo de tres meses.

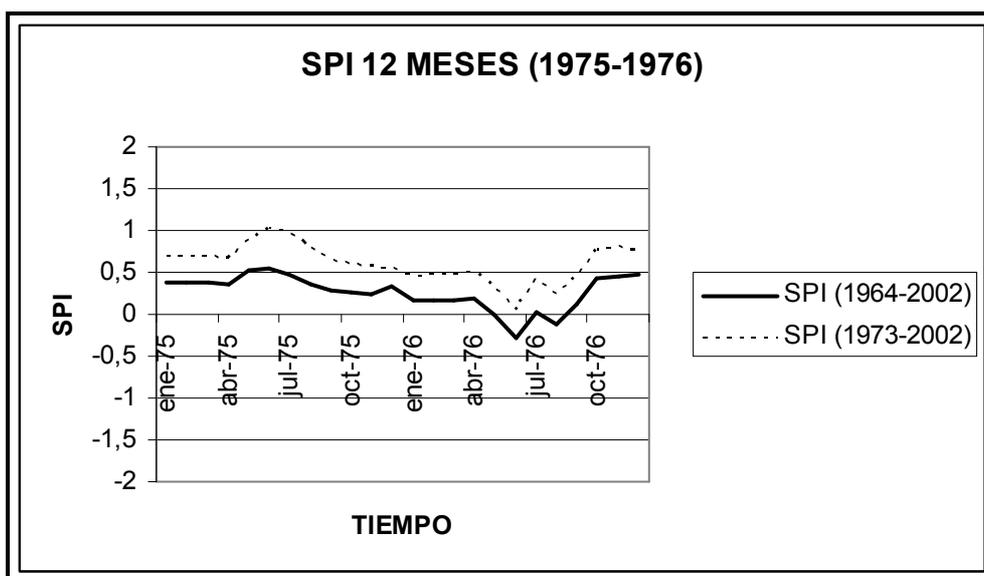


Fig. 3.4(b) Estación 16014 SPI calculado para un intervalo de 12 meses.

En las figura 3.5(a y b) podemos observar los resultados obtenidos para estos mismos años pero para la estación 16055, en esta los valores son diferentes, pero no en una forma considerable para el intervalo de tres meses, ya que todos los eventos tienen la misma clasificación, esto no es así para la escala de 12 meses, ya que para junio del 76, el registro largo señala una situación “normal” y el corto lo clasifica como “severamente seco”.

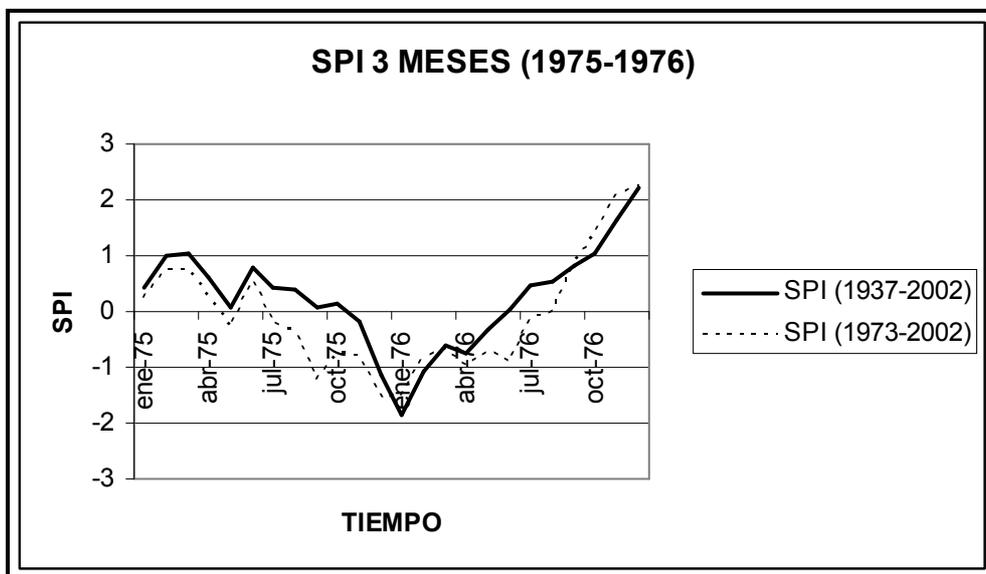


Fig. 3.5(a) Estación 16055 SPI calculado para un intervalo de tres meses

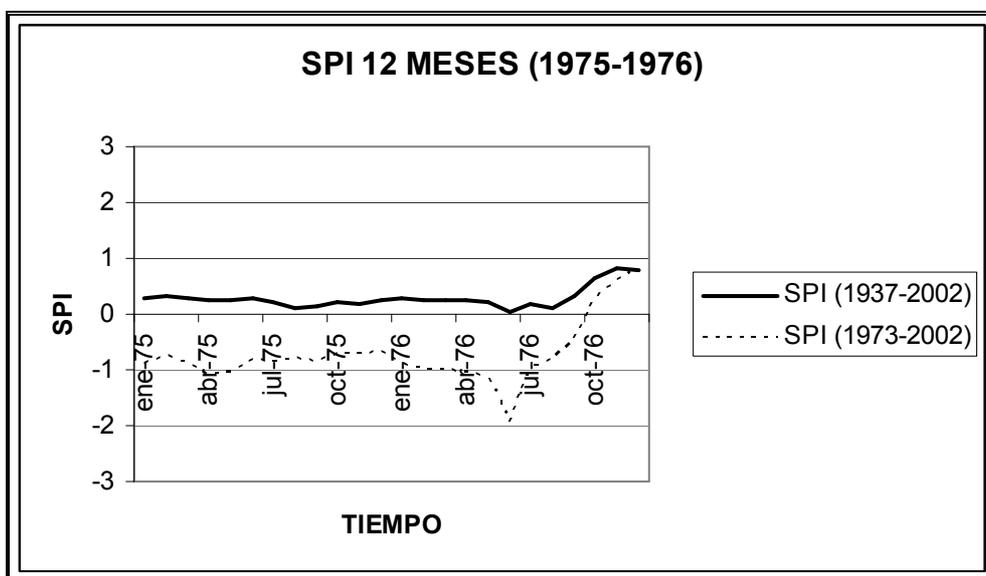


Fig. 3.5(b) Estación 16055 SPI calculado para un intervalo de 12 meses.

A manera de ejemplo se incluyen las graficas correspondientes a la estación 16020 que aunque posea un registro corto, sus valores cambian considerablemente en función de la escala

seleccionada para eventos extremos. Como podemos observar para el intervalo de 3 meses los registros señalan una clasificación de “extremadamente seco” para el mes de agosto de 1975, criterio que coincide con la escala de 12 meses, pero que no coinciden con el criterio para marzo de 1976 que para los tres meses corresponde a una situación “normal” de acuerdo a ambos registros (largo y corto), y a una situación de “humedad extrema” para el registro largo en el intervalo de 12 meses. (Ver figuras 3.6 (a y b))

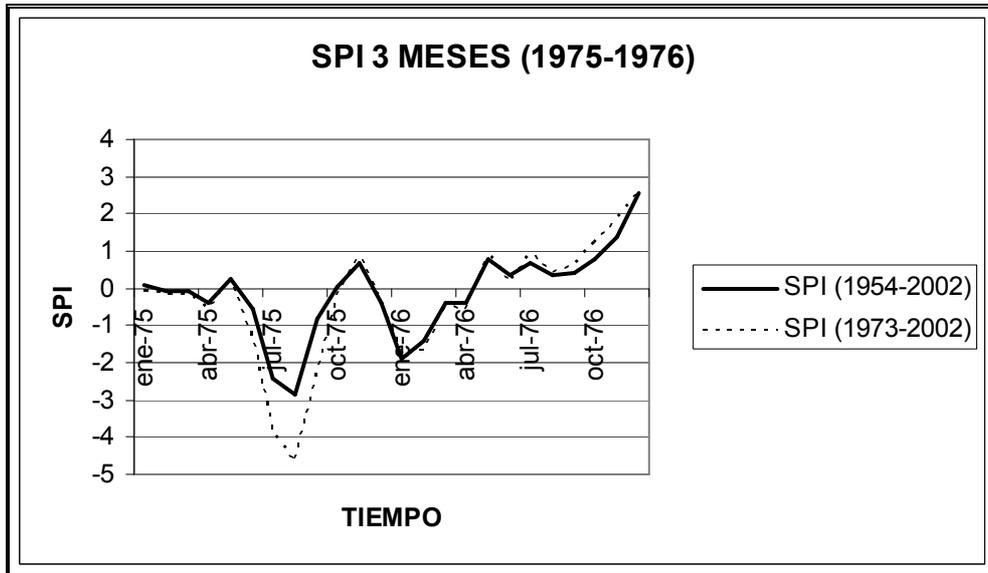


Fig. 3.6(a) Estación 16020 SPI calculado para un intervalo de 3 meses.

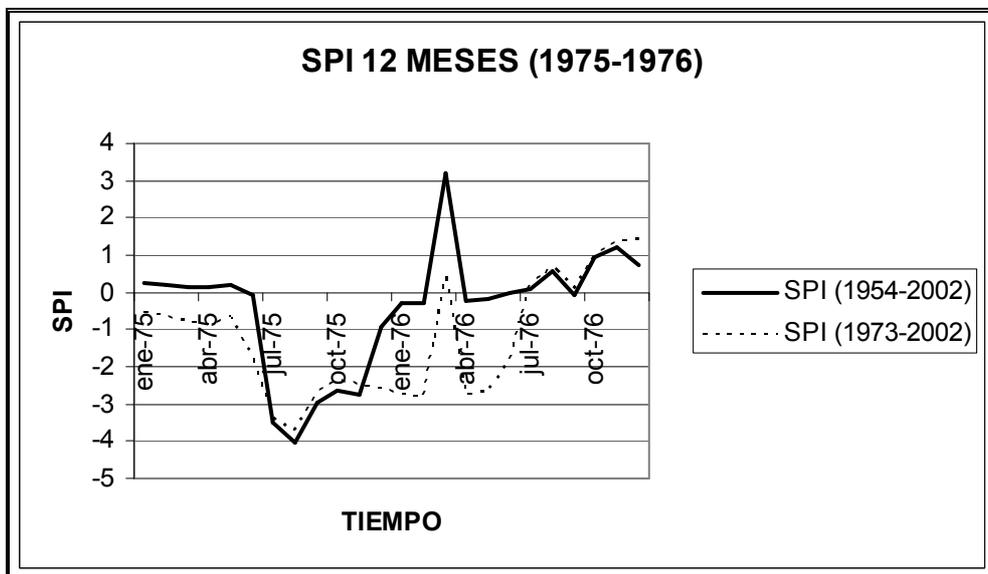


Fig. 3.6 (b) Estación 16020 SPI calculado para un intervalo de 12 meses.

3.3.4 Comparación espacio-temporal de los valores del SPI

Según datos del CENAPRED para el mes de mayo de 1998 se presentó un evento extremo en la zona de estudio (García, J. F., *et al.*, 2002), a continuación se presentan las gráficas correspondientes a las cinco estaciones en estudio para este periodo de tiempo:

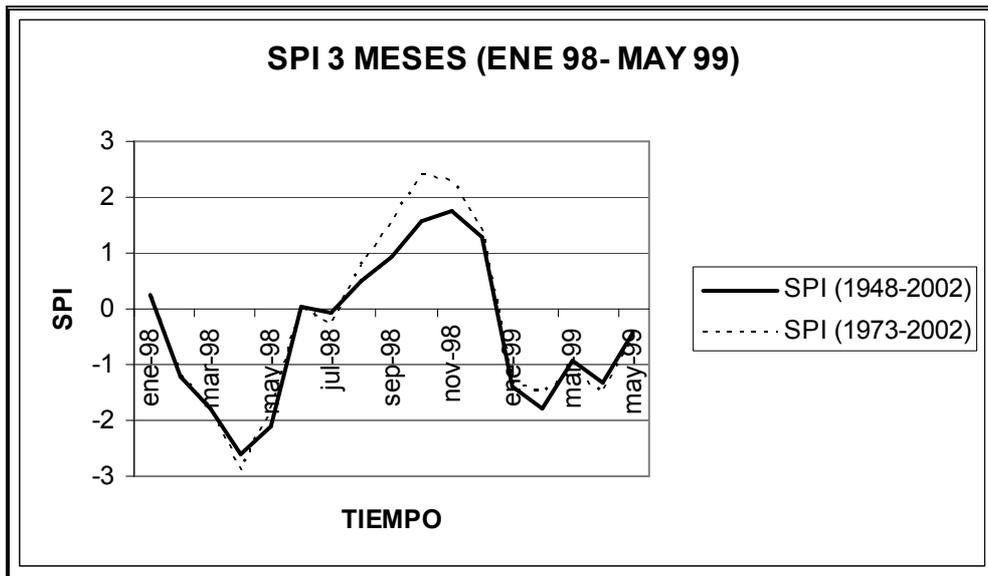


Fig 3.7 (a) Comparación espacio-temporal de los valores del SPI. Estación 16081

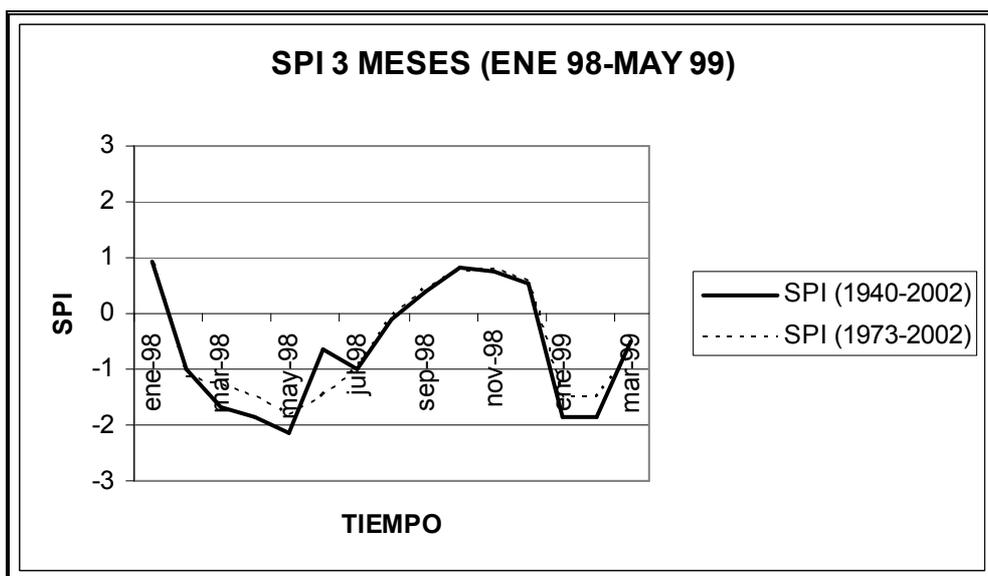


Fig 3.7 (b) Comparación espacio-temporal de los valores del SPI. Estación 16022

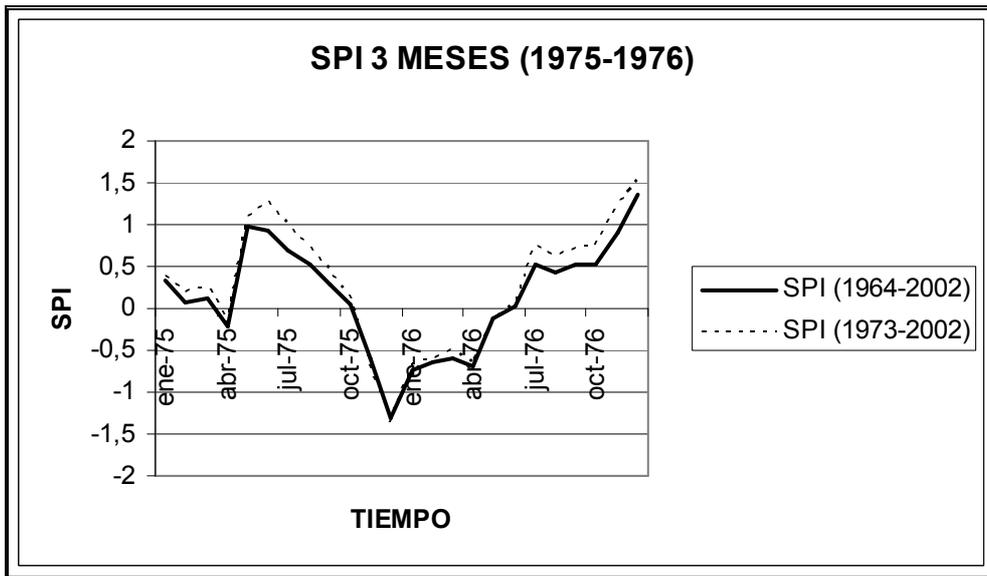


Fig 3.7 (c) Comparación espacio-temporal de los valores del SPI . Estación 16014

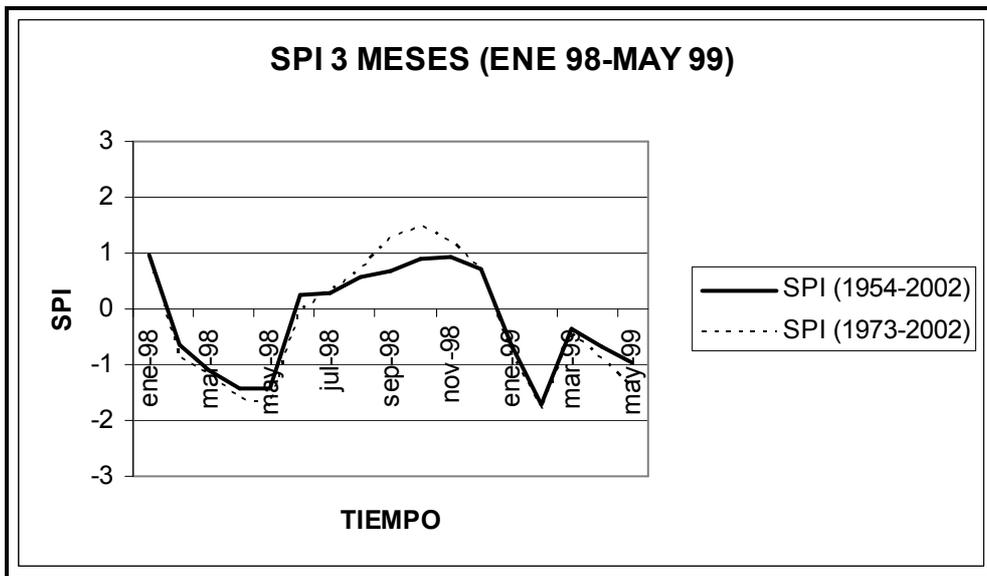


Fig 3.7 (d) Comparación espacio-temporal de los valores del SPI. Estación 16020

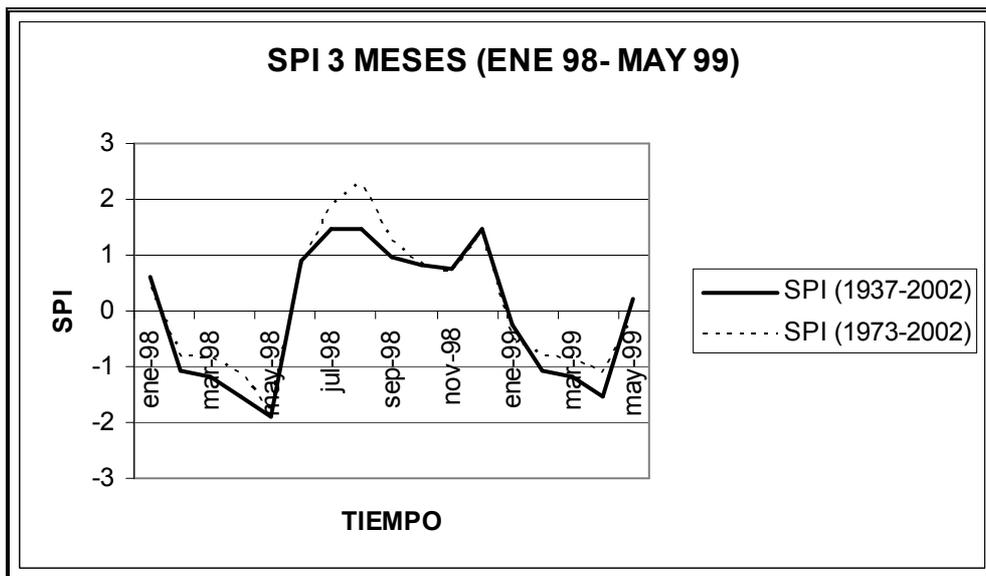


Fig 3.7 (e) Comparación espacio-temporal de los valores del SPI. Estación 16055

Como podemos observar en todas las estaciones se registro este evento, pero algunas lo reportaron con mayor o menor intensidad, la estación 16081 registra para abril del 98 un valor de -2.9 en el SPI de acuerdo con el registro corto. Para las demás estaciones el valor del SPI varia entre -1 y -2, es decir el desarrollo de la sequía fue estable.

Nos podemos percatar de que existe una intensidad similar para la mayoría de las estaciones de febrero a mayo de 1998.

La figura 3.8 muestra la comparación entre los valores del SPI para una escala de 3 meses entre las estaciones 16081 y la 16022, si son utilizados los valores del registro de 1973 a 2002, la severidad de la sequía es extrema para la estación 16081 (líneas delgadas) y la de la estación 16022 es moderada. En este caso las diferentes longitudes utilizadas para el cálculo del SPI resultan en una evaluación diferente del grado de severidad de la sequía.

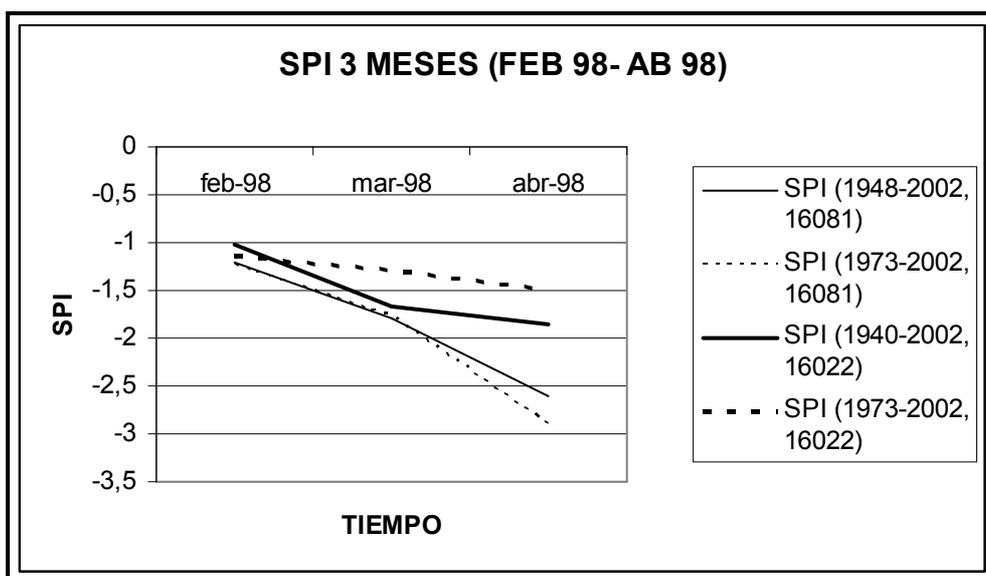


Fig. 3.8 Grafica comparativa entre las estaciones 16081 y 16022.

3.3.5 Razones por las cuales existe discrepancia en el valor del SPI.

Los resultados anteriores muestran que los valores calculados del SPI para registros de diferente longitud son similares para algunas estaciones, pero para otras son considerablemente diferentes, especialmente para valores de eventos extremos en escalas de tiempo grandes. Podemos explicar esta variación de acuerdo con las siguientes consideraciones.

Primero, se graficaron los registros de precipitación en función del tiempo para identificar cualquier variación existente. Las Fig. 3.9 ilustran la precipitación total para 1, 2 y 3 años para las cinco estaciones en estudio. Las figuras muestran una total variación anual como se esperaba. Podemos ver que en las estaciones 16022, 16120 y 16081 no tienen tendencia alguna sobre el tiempo, sin embargo podemos observar una tendencia central creciente para la estación 16055 (fig. 3.9 (d)), mientras que para la estación 16014 es decreciente (fig. 3.9 (e)).

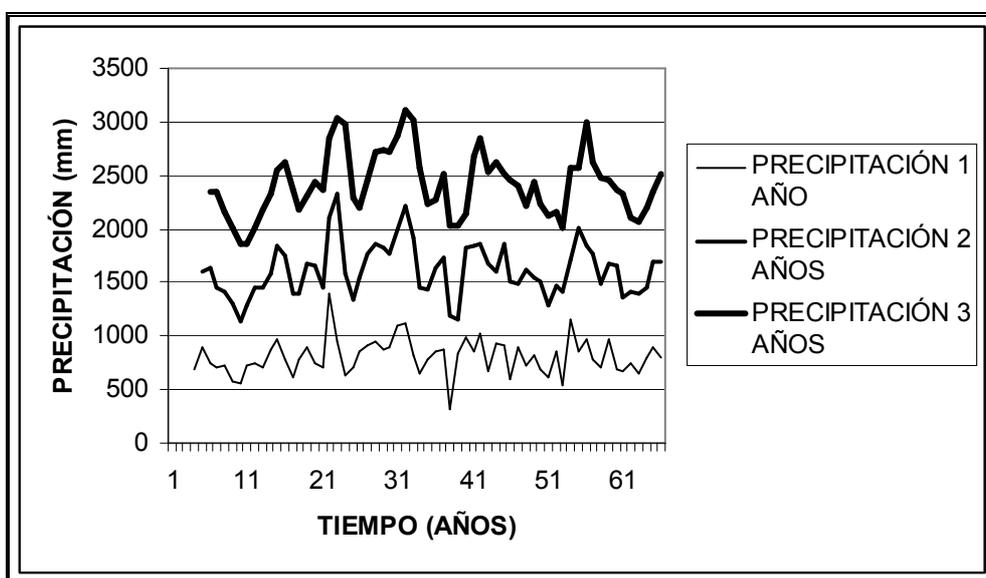


Fig 3.9(a) Precipitación acumulada estación 16022

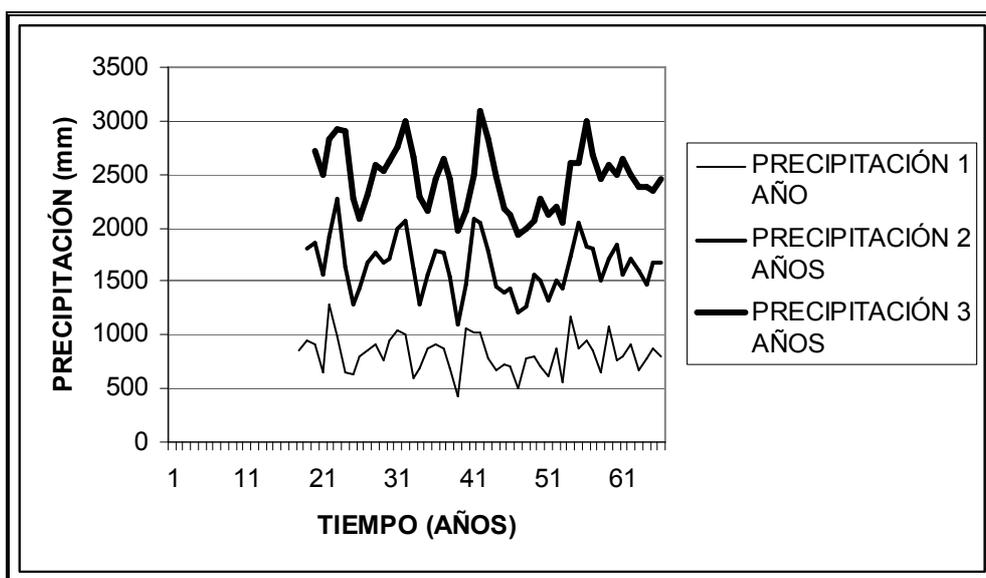


Fig 3.9(b) Precipitación acumulada estación 16120

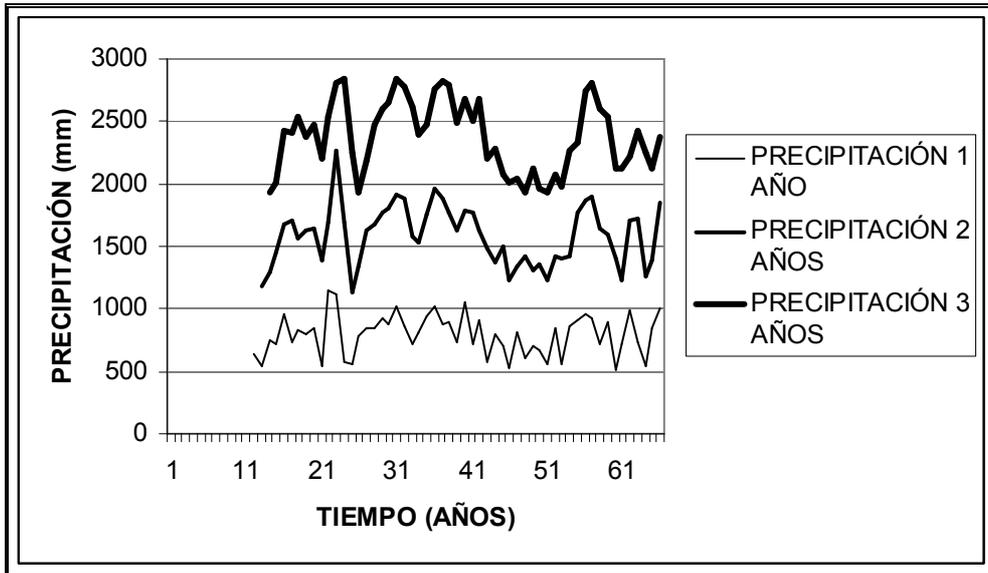


Fig 3.9(c) Precipitación acumulada estación 16081

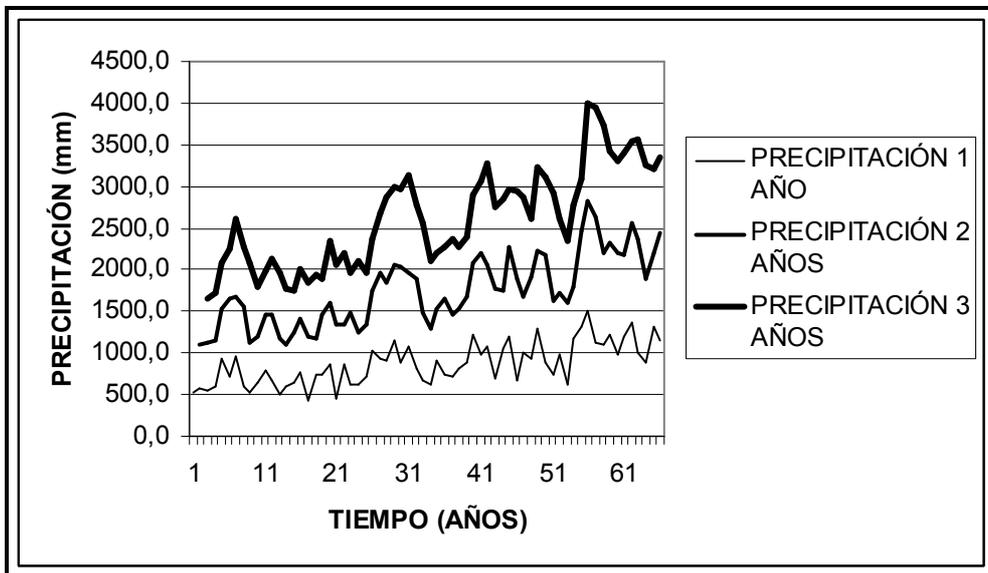


Fig 3.9(d) Precipitación acumulada estación 16055

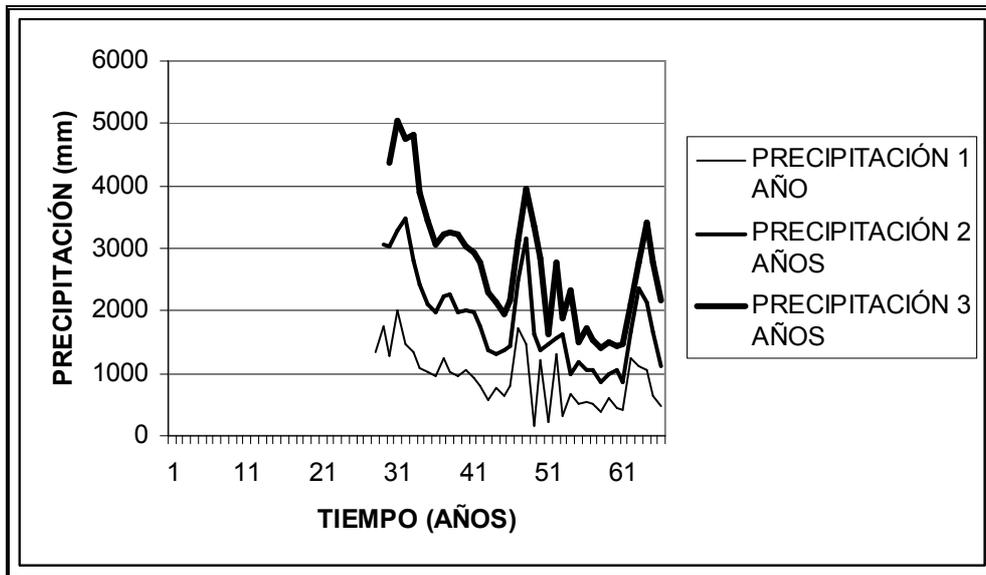
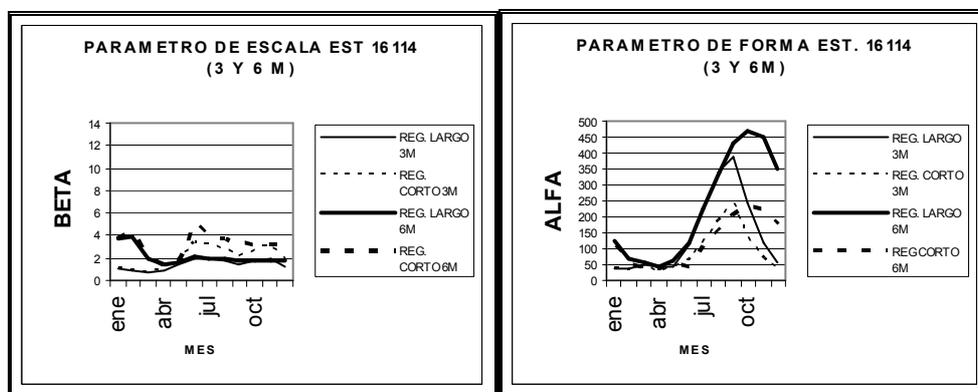


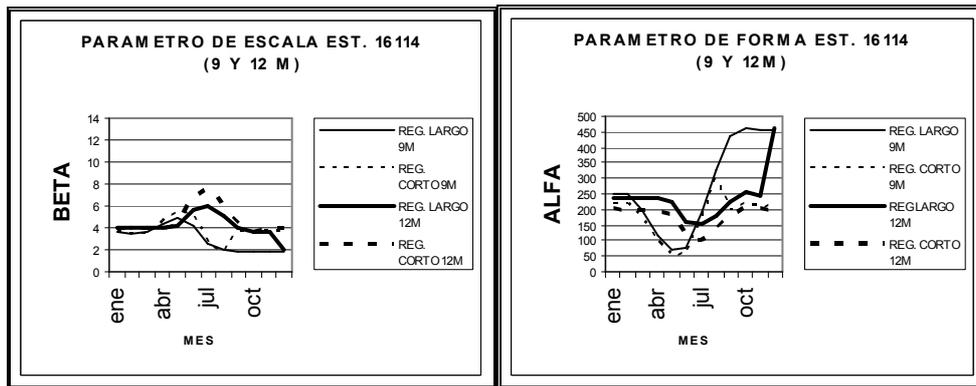
Fig 3.9(e) Precipitación acumulada estación 16155

En segundo termino, las variables de la expresión para el calculo del SPI fueron examinadas, los parámetros β y α se calcularon para las distintas escalas de tiempo, para cada mes y para los registros largos y cortos, después de inspeccionar los parámetros, se encontró que si los parámetros β y α obtenidos a través de registros de diferente longitud eran similares, los valores del SPI serian consistentes, por otro lado si las diferencias en los parámetros eran significativas, entonces los valores del índice serian considerablemente diferentes. Las figuras 3.10 muestran los parámetros de escala y forma para las diferentes escalas, las líneas continuas corresponden a los registros largos y las discontinuas a los cortos, como podemos observar los parámetros son similares para 3 y 6, 9 y 12, 24 y 36 meses (fig. 3.10); esto implica que se tendrían valores similares del SPI para estas dos escalas y así fue, en la figura 3.11 se presentan los valores graficados del SPI para estas dos escalas, mientras que si los valores de los parámetros para las escalas de 3 y 36 meses son diferentes, los valores del índice difieren en el tiempo (ver fig. 3.12).



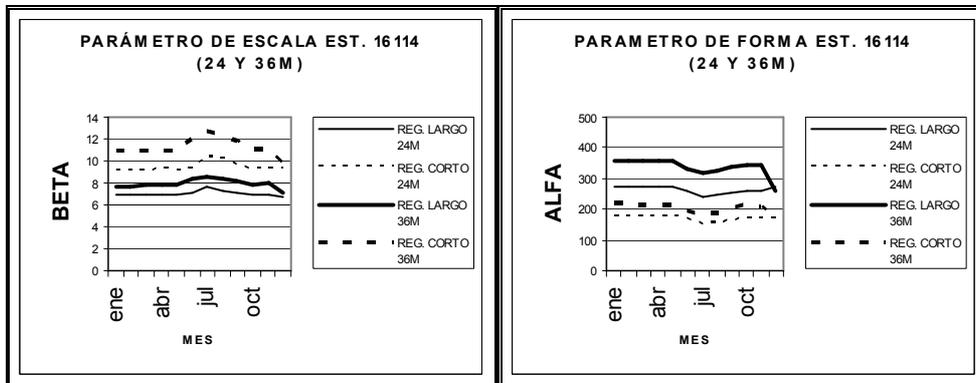
(a) (b)

Fig. 3.10 Parámetros de escala y de forma, estación 16114



(c) (d)

Fig. 3.10 Parámetros de escala y de forma, estación 16114



(e) (f)

Fig. 3.10 Parámetros de escala y de forma, estación 16114

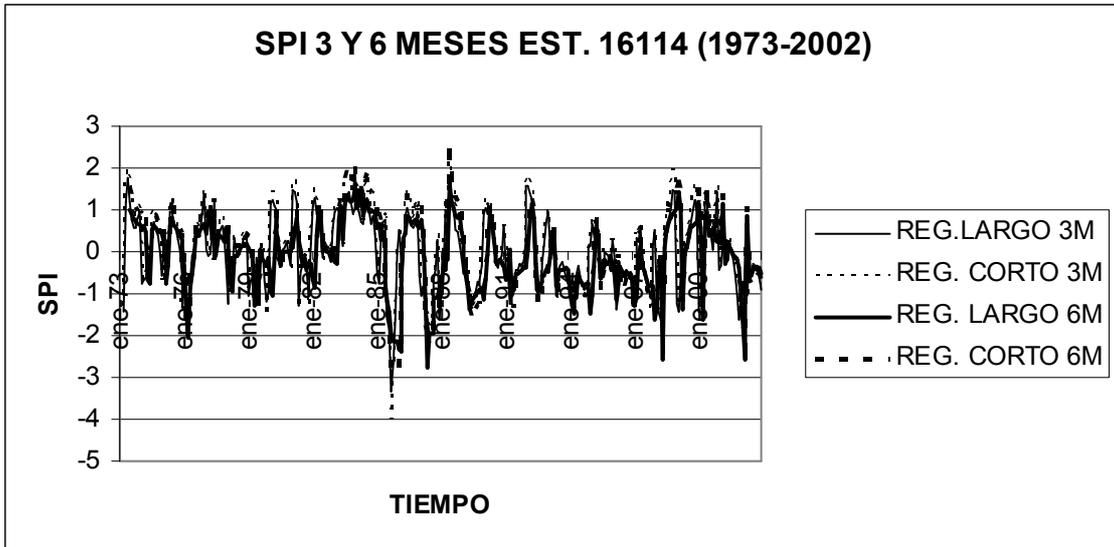


Fig. 3.11 Grafica comparativa entre valores del SPI para las escalas de 3 y 6 meses

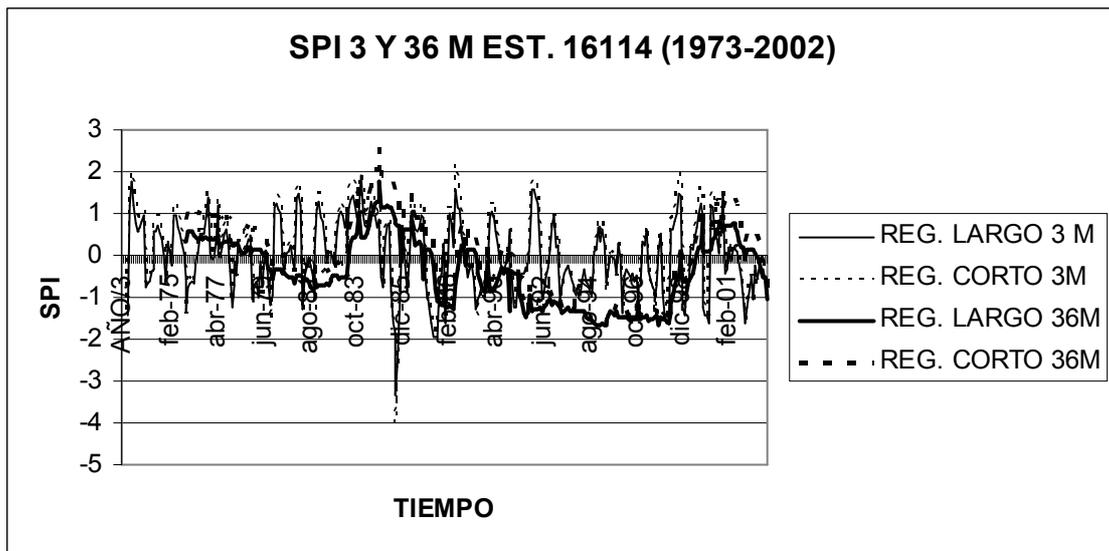
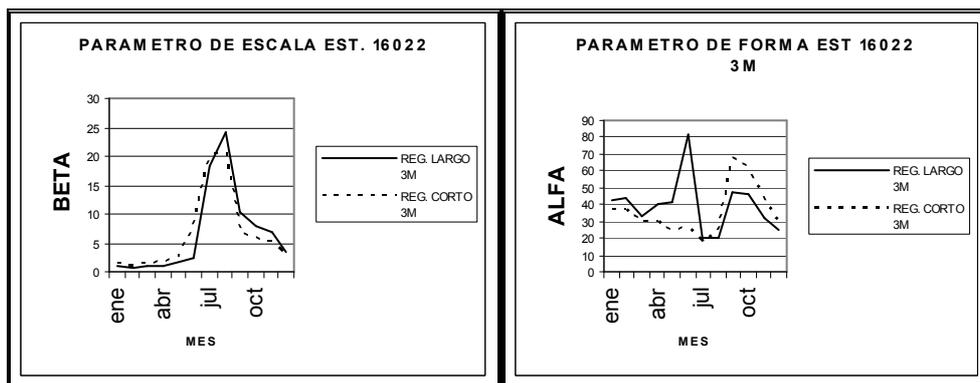


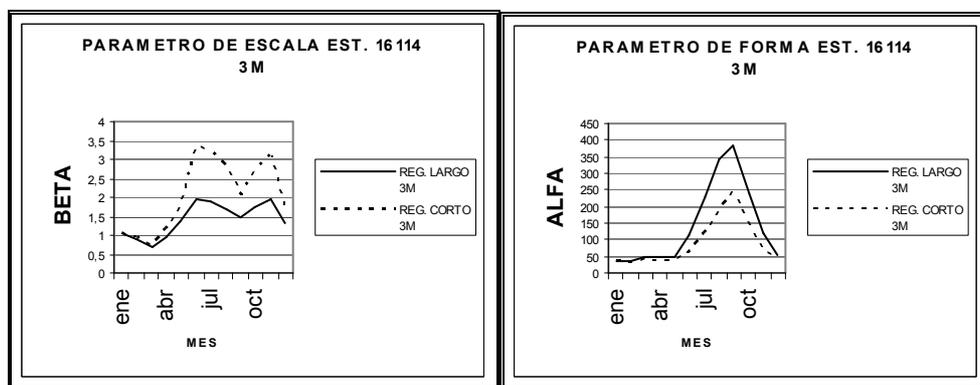
Fig. 3.12 Grafica comparativa entre valores del SPI para las escalas de 3 y 36 meses

A continuación se presentan las graficas para la escala de tres meses para las cinco estaciones en estudio (Figuras 3.13), podemos observar, que los valores de los parámetros β y α son similares para las estaciones 16055 y 16120 y por tanto los valores del índice serán similares, esto lo podemos corroborar en la grafica 3.14 en donde se presentan los valores del SPI, considerando solo los registros largos.



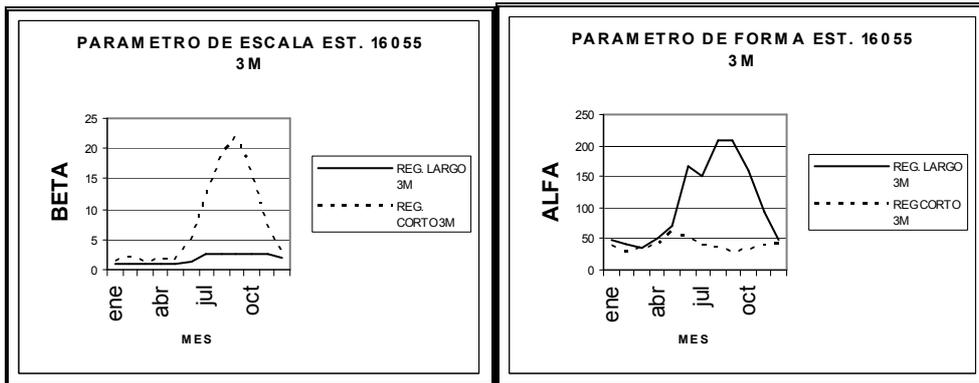
(a) (b)

Fig. 3.13 Parámetros de escala y de forma, estación 16022.



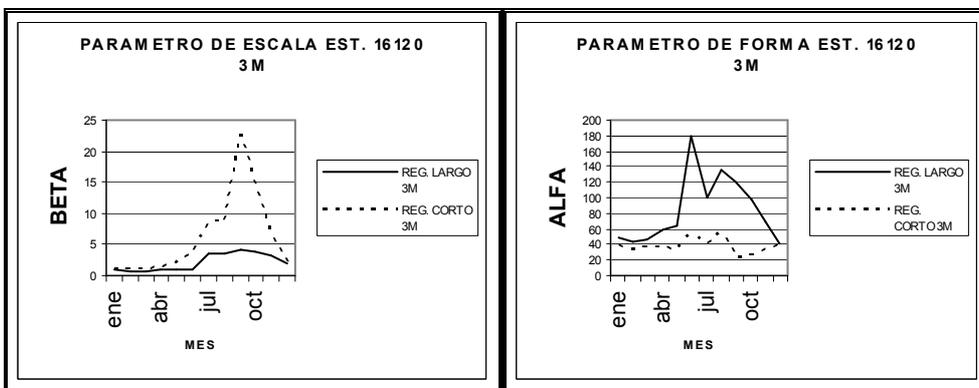
(c) (d)

Fig. 3.13 Parámetros de escala y de forma, estación 16114.



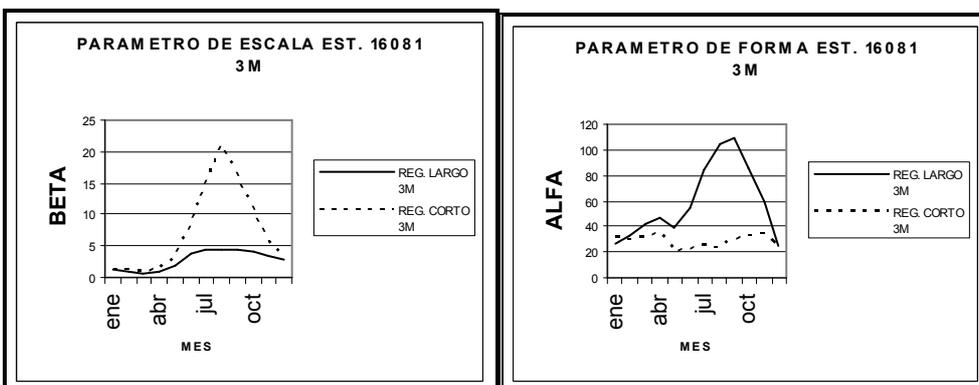
(e) (f)

Fig. 3.13 Parámetros de escala y de forma, estación 16055.



(g) (h)

Fig. 3.13 Parámetros de escala y de forma, estación 16120.



(i) (j)

Fig. 3.13 Parámetros de escala y de forma, estación 16081.

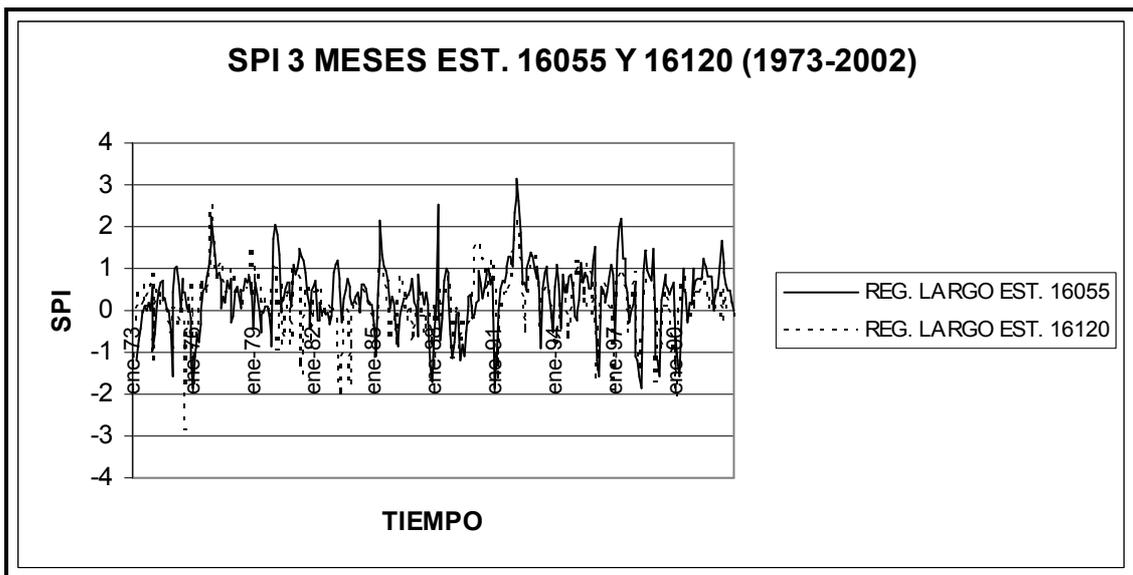


Fig. 3.14 Grafica comparativa entre valores del SPI para las escalas de 3 meses para las estaciones 16055 y 16120.

En la fig. 3.15 se presenta la grafica de la función de distribución acumulada de la función Gamma de dos parámetros para los meses de enero de la estación 16022, para ambos registros, ambas graficas presenta gran coincidencia (escala de 3 meses), no siendo así para los meses de septiembre como lo muestra la grafica 3.16 (escala de 3 meses).

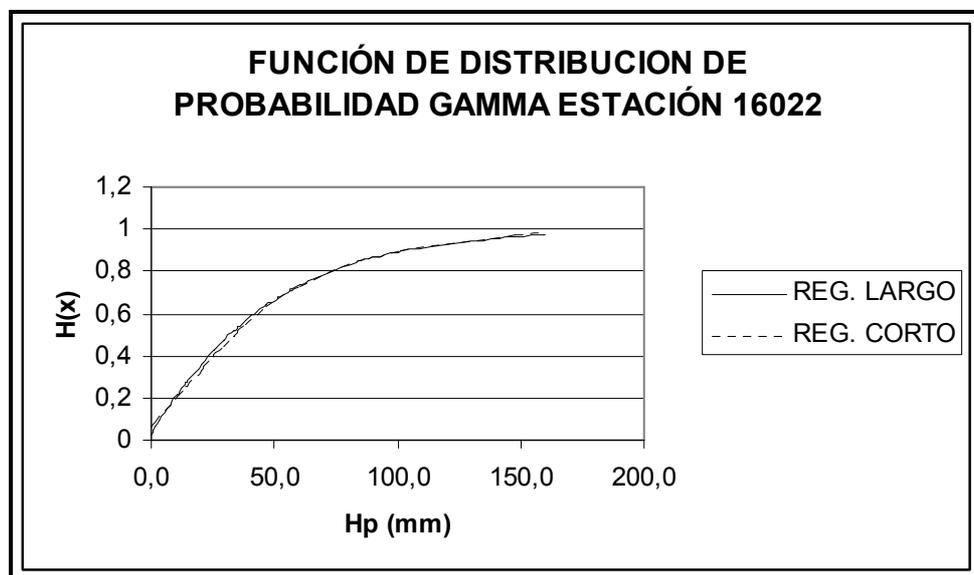


Fig. 3.15 Grafica de la FDP Gamma para la estación 16022 correspondiente a la escala de tres meses para enero.

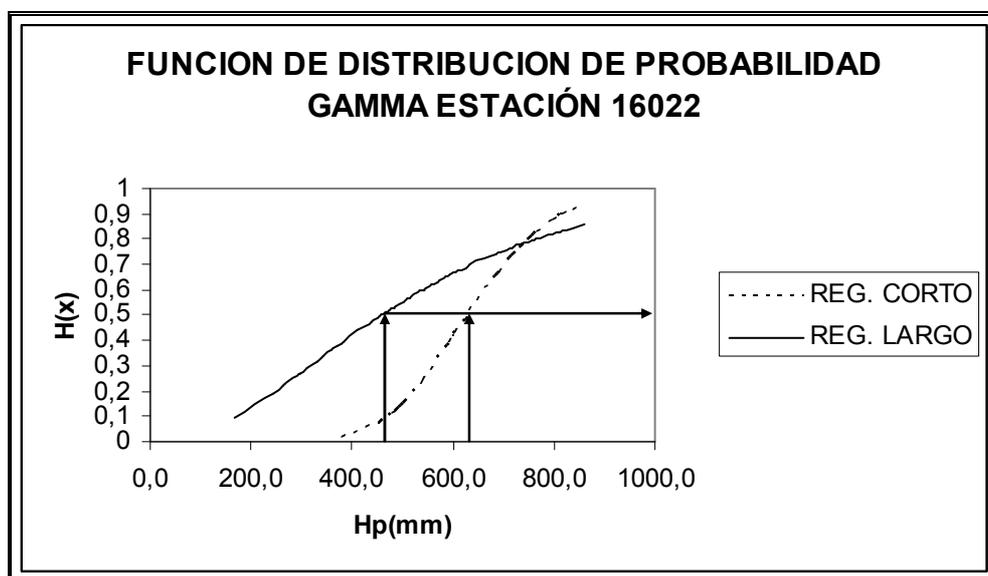


Fig. 3.16 Grafica de la FDP Gamma para la estación 16022 correspondiente a la escala de tres meses para septiembre.

Basándonos en la figura 3.16 podemos señalar que de acuerdo a la definición del SPI, los valores que quedan del lado izquierdo para la probabilidad $H(x) = 0.5$ serían negativos implicando que al momento de efectuar la transformación a la distribución normal se caería en el intervalo seco. Como se puede observar para el registro corto, se tiene un intervalo mucho mayor para que esto suceda, a diferencia del registro largo, por lo cual se puede decir que se tendrían resultados más adversos al momento de clasificar un evento.

Como pudimos observar, la discrepancia entre los valores del índice de precipitación estándar derivados a partir de registros de diferente longitud se agranda cuando la escala de tiempo elegida es grande y la sequía es intensa. Existen diferentes razones que podemos señalar como principales causas de estas discrepancias, Una de ellas es que el tamaño efectivo de la muestra se reduce cuando una escala grande es usada. Además el tamaño de la muestra empeora cuando la sequía se intensifica, por que los valores del SPI se localizarán del lado izquierdo de la distribución.

CAPITULO CUATRO: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

4.0 CONCLUSIONES

Después de lo antes expuesto podemos señalar los siguientes puntos como conclusiones generales.

- La sequía es una situación temporal a diferencia de la aridez que es la escasez de lluvias como característica permanente del clima de una región.
- Una precipitación, que para una zona puede considerarse aceptable y no de sequía, para otra región esa misma precipitación puede ser insuficiente y provocar una situación de sequía. Para cada lugar debe darse una definición de sequía basada en su historia climatológica.
- La sequía no debe ser vista como un simple fenómeno natural. Su impacto en la sociedad proviene de la interrelación entre el evento natural y la demanda en el suministro de agua.
- La sequía puede presentarse en el tiempo (ausencia de precipitación en el período de lluvias) y en el espacio (afectando a zonas más o menos amplias).
- Entre las causas más relevantes, para que se produzca la sequía podemos mencionar las siguientes:
 - A. Las manchas solares.
 - B. Las alteraciones en la circulación de los vientos generados por modificación en el albedo superficial.
 - C. La existencia de una espesa capa de polvo en la atmósfera.
 - D. Cambios en la temperatura superficial del océano y mares.
 - E. Incremento en la atmósfera del contenido de anhídrido carbónico (dióxido de carbono) y otros gases de efecto invernadero.
- En los términos más generales, la sequía es considerada como un fenómeno climático cíclico provocado por una reducción en la precipitación pluvial temporal, que se manifiesta en forma lenta y afecta a personas, actividades económicas, al ambiente, e incluso puede interferir en el desarrollo social y económico de los pueblos.
-
- Podemos distinguir cuatro tipos de sequías principales, las cuales se sustentan en los tipos de impactos que este fenómeno trae como consecuencia:
 -
- - Sequía Meteorológica**
 - Sequía Hidrológica**
 - Sequía agrícola**
 - Sequía socio-económica**

Impactos de la sequía:

La rama de la economía más expuesta a la sequía es la agricultura, cayendo sobre esta los mayores impactos económicos.

La sequía también tiene efectos negativos directos en la “Gestión del Agua”. La escasez de agua prolongada influye directamente en los recursos hídricos de una región, altera las condiciones de equilibrio del agua y crea situaciones difíciles para cualquier tipo de abastecimiento de agua.

Otro campo de impactos económicos causados por la sequía es la industria. En ella, los efectos son, generalmente, indirectos. Sin embargo, la industria alimenticia se ve involucrada de una manera más directa ya que una parte considerable de su materia prima proviene de la agricultura y se puede perder durante un periodo de sequía. Esto puede provocar una situación de inestabilidad del proceso alimentario en diferentes sectores, y también tener un impacto negativo en la amplia gama de servicios.

- Medidas de mitigación de la sequía:

Una de las acciones preventivas más importantes es la predicción y todos los métodos para concientizar a la población y darle una información tan amplia como sea posible, utilizando todos los medios de divulgación existentes.

Los métodos de prevención se pueden clasificar en tres grupos, orientados hacia:

a) La oferta

b) La demanda

c) La reducción al mínimo de los impactos y las pérdidas

Instrumentos para reducir los daños

Existen varios métodos prácticos que ayudan a reducir los daños potenciales de una sequía prolongada, una lista para la reducción de los posibles riesgos es la siguiente:

- a) Estimación de los posibles daños
- b) Legislación y Normativa pública
- c) Ahorro de agua y reducción de demanda
- d) Ahorro de agua para las explotaciones agrícolas
- e) Incremento del agua para abastecimiento y el aumento de los suministros
- f) Educación y participación pública
- g) Salud y Alimentación Pública
- h) Planes de contingencia para la sequía
- i) Asistencia Técnica
- j) Respuestas de Emergencia

Programas de mitigación a corto plazo: Estos programas deben “formar parte” estrictamente de un plan para la mitigación de los efectos de una sequía,

es decir, deben ser incorporados dentro de los programas a largo plazo como herramientas para reducir los impactos de una sequía. Estos programas están dirigidos a la respuesta en el momento mismo en que se presenta el evento, es decir, poco antes, durante y después de un periodo de sequía. Estos programas pueden incluir guías para la conservación voluntaria del agua, mejora en la calidad de comunicación entre el público en general, procedimientos administrativos fluidos para evaluar acciones de asistencia de emergencia y sistemas de difusión de prácticas que incrementen el rendimiento de las actividades para agricultores y ciudadanía en general.

Programas de mitigación a largo plazo: Los programas de mitigación a largo plazo se los puede presentar como una guía de aplicación, esta guía propuesta por varias instituciones dedicadas al análisis del fenómeno, está orientada a la reducción del riesgo de las sequías, es decir, dirigidas a mitigar los impactos de una sequía.

El National Drought Mitigation Center propone una guía de seis pasos para identificar algunas acciones que se pueden realizar para reducir los impactos potenciales relacionados por las sequías antes de que estas ocurran.

- PASO 1. COMISIÓN DE LA SEQUÍA. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN
- PASO 2. EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS DE LAS SEQUÍAS
- PASO 3. LISTADO DE JERARQUIZACIÓN DE IMPACTOS DE LAS SEQUÍAS
- PASO 4. VALORACIÓN DE LA VULNERABILIDAD
- PASO 5. IDENTIFICACIÓN DE ACCIONES
- PASO 6. DESARROLLO DE LAS ACTIVIDADES POR REALIZAR

- **INDICES DE SEQUÍAS.**

Un índice es típicamente un número único, pero mucho más útil que los datos crudos para tomar decisiones. El primer uso que se le puede dar a los índices de sequías está en la definición de las mismas y la caracterización de sus grados de severidad.

Los índices se pueden clasificar en particulares y generalizados. Los primeros son los que toman en cuenta una o más variables, particulares del sistema, y emplean su magnitud como un indicador, en base a la experiencia histórica o con una base técnica. Los índices generalizados, por otra parte, tienen por objeto estandarizar la información, de modo tal que esta sea comparable con otros sistemas.

Con el fin de comparar y definir las características de las sequías se han propuesto un conjunto de índices, los cuales son descritos por un simple número. A continuación se enlistan los descritos en este trabajo

- Porcentaje de Precipitación Normal
- Variabilidad de la precipitación anual
- Deciles

Índice de Sequía de Palmer
Índice Palmer de Sequía Hidrológica
Índice de Suministro de Agua Superficial
Índice de reclamación de sequía
Índice de precipitación Estándar
Indicador de Aridez de Palfai
Potencial Agro-Hidrológico

El índice de severidad de sequía de Palmer PDSI y el índice de precipitación estándar SPI son los índices más utilizados a nivel mundial por que son los que caracterizan mejor los períodos de sequía, es decir permiten determinar claramente, el inicio, la duración, la intensidad y el final de cada período de sequía.

El SPI da una medición de la sequía más simple que el Índice de Severidad de la Sequía de Palmer y se basa solamente en las probabilidades de ocurrencia de precipitación para un período dado. Este índice, además de ser un parámetro que se puede determinar fácilmente, se puede aplicar a cualquier región del mundo, porque no depende más que de la precipitación ocurrida en esa región.

En este trabajo se pretendió investigar el efecto de la longitud del registro de precipitación en el cálculo del SPI, se analizo a partir de los coeficientes de correlación lineal, el de Spearman, el de concordancia, y a través de la consistencia de la caracterización en las categorías de humedad/sequedad entre registros de diferente longitud. También se comparo el efecto en algún año específico con características de humedad o sequía establecida y se compararon las intensidades de sequías espacial y temporalmente. Se revisaron los estimadores de la función de distribución de probabilidad utilizada y se analizarán sus discrepancias, con esto se pudo inferir el efecto de la longitud de los registros para el cálculo del SPI.

Como pudimos observar en la mayoría de los casos se presenta una alta correlación, por que la mayor parte de los valores fueron mayores o cercanos a 0.9. En mayor número de ocasiones los valores de los coeficientes de correlación y de Spearman fueron mayores para los intervalos de 24 y 36 meses que para los de 3 y 6 meses.

El índice de concordancia a diferencia de los otros dos, no se incrementa con el intervalo de tiempo (24 y 36 meses), en algunos casos el valor de d disminuye aunque la escala de tiempo aumente. Generalmente el valor del coeficiente d fue mayor que el de r para los intervalos de 3 y 6 meses, y más pequeño que r para los intervalos grandes.

Con respecto a la categorización se puede decir que generalmente los porcentajes para 3 y 6 meses fueron muy parecidos en todas las estaciones, y cayeron entre un 10 y 35%, para los periodos de 9, 12, 24 y 36 meses las discrepancias fueron significativas, para los 36 meses los porcentajes de no-match variaron del 10 al 80%. Cabe señalar que la mayor parte del no-match cayó fuera solamente en una categoría. Además se pudo observar que el numero de eventos de no-match no están relacionados con la mayor o menor longitud de registro utilizado en el calculo del SPI.

En algunos casos de sequía severa o de intensa precipitación, los valores del SPI obtenidos de registros con diferente longitud coinciden de una manera aceptable para algunas estaciones, sin embargo los valores para escalas grandes del SPI difieren considerablemente para otras estaciones, especialmente en sequías severas.

Las diferentes longitudes utilizadas para el cálculo del SPI resultan en una evaluación diferente del grado de severidad de la sequía.

Para explicar el por que de la variación en el valor del índice especialmente para valores de eventos extremos en escalas de tiempo grandes. Se realizaron las siguientes consideraciones.

Primero, se graficaron los registros de precipitación en función del tiempo para identificar cualquier variación existente. Se grafico la precipitación total para 1, 2 y 3 años para las cinco estaciones en estudio. Las figuras mostraron una total variación anual como se esperaba. Pudimos observar que en las estaciones 16022, 16120 y 16081 no tienen tendencia alguna sobre el tiempo, sin embargo se pudo observar una tendencia central al alza para la estación 16055 mientras que para la estación 16014 fue a la baja. Esto es que si los patrones de lluvias cambian, entonces los valores calculados a partir de registros de diferente longitud, serán significativamente diferentes cuando la sequía se intensifique y la escala de tiempo utilizada sea grande.

En segundo termino, las variables de la expresión para el calculo del SPI fueron examinadas, los parámetros β y α se calcularon para las distintas escalas de tiempo, para cada mes y para los registros largos y cortos, después de inspeccionar los parámetros para diferentes escalas de tiempo en los registros largos y cortos, se encontró que si los parámetros β y α obtenidos a través de registros de diferente longitud eran similares, los valores del SPI serian consistentes, por otro lado si las diferencias en los parámetros eran significativas, entonces los valores del índice serian considerablemente diferentes.

Se pudo corroborar, que si los valores de los parámetros β y α eran similares para dos estaciones diferentes, los valores del índice serian consistentes.

Se elaboraron las graficas de la función de distribución acumulada de la función Gamma de dos parámetros para diferentes meses para ambos registros (largos y cortos), cuando las graficas coincidían los resultados del SPI eran consistentes no siendo así en caso contrario.

Como se pudo observar, la discrepancia entre los valores del índice de precipitación estándar derivados a partir de registros de diferente longitud se agranda cuando la escala de tiempo elegida es grande y la sequía es intensa. Existen diferentes razones que podemos señalar como principales causas de estas discrepancias, Una de ellas es que el tamaño efectivo de la muestra se reduce cuando una escala grande es usada. Además la distribución de la muestra empeora cuando la sequía se intensifica, por que los valores del SPI se localizarán del lado izquierdo de la grafica.

4.1 RECOMENDACIONES

- Al utilizar el SPI se deben tener en cuenta las inconsistencias que podrían surgir al involucrar registros de diferente longitud.
- Un registro de longitud mayor utilizado para el cálculo del SPI, sería más confiable, especialmente para escalas grandes (36 y 48 meses). Por lo tanto para tomar una buena decisión sería necesario tomar un registro largo, por que el corto probablemente no registre las señales de variación climática.
- Sería apropiado examinar valores del SPI calculados con registros cortos para monitorear las condiciones actuales e ilustrar las condiciones climáticas recientes. Bajo esta perspectiva, se debe estar conciente de que al reducir el tamaño efectivo de la muestra, se genera inestabilidad en la estimación de los parámetros. Si los parámetros así estimados son poco confiables, entonces los valores calculados del SPI serán iguales.
- Es necesario seguir trabajando en la investigación de este índice, para obtener mejores resultados y tomar mejores decisiones.

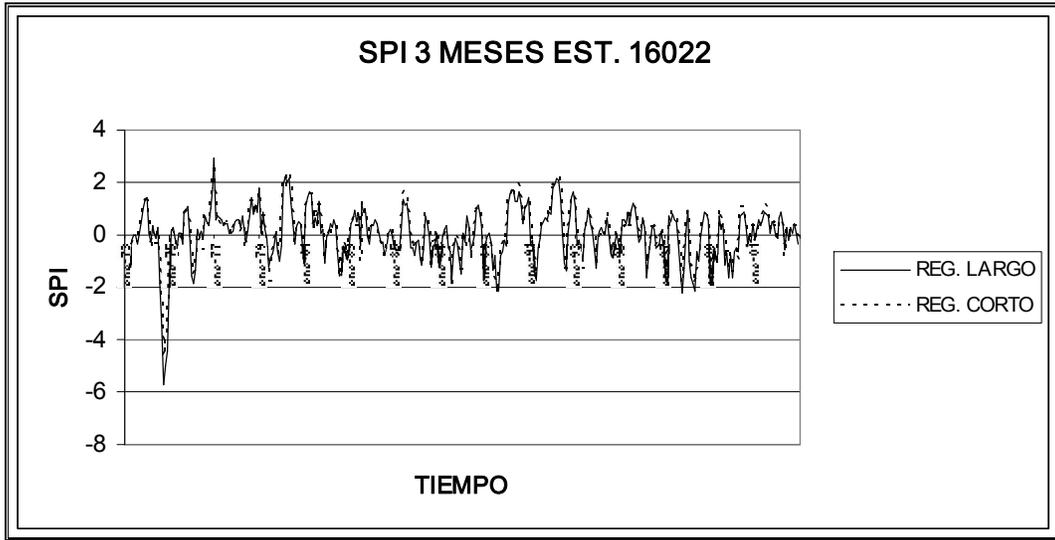


Fig. A1. Valores obtenidos del SPI para la estación 16022 calculados para los registros de precipitación 1940-2002 y 1973-2002, escala de 3 meses.

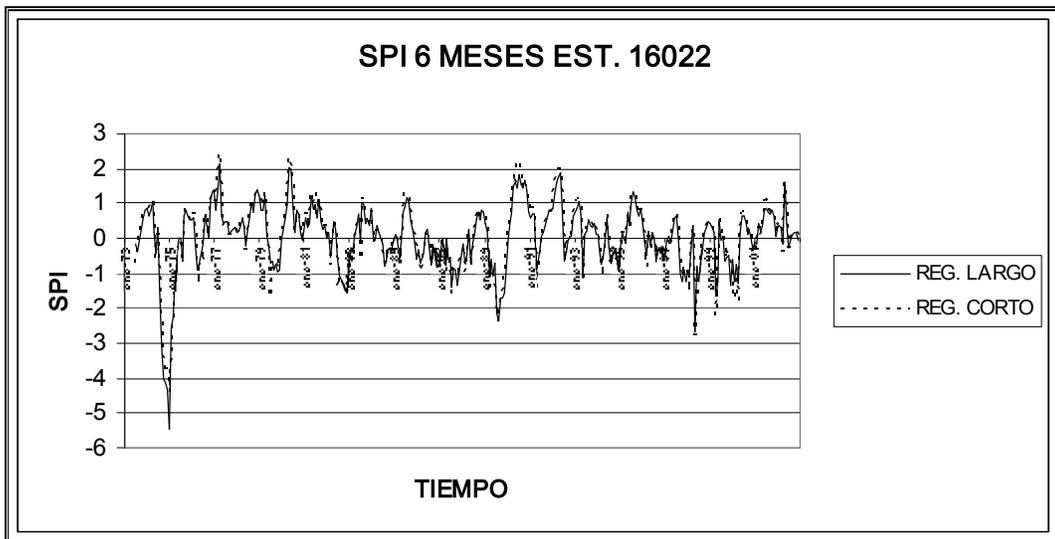


Fig. A2. Valores obtenidos del SPI para la estación 16022 calculados para los registros de precipitación 1940-2002 y 1973-2002, escala de 6 meses.

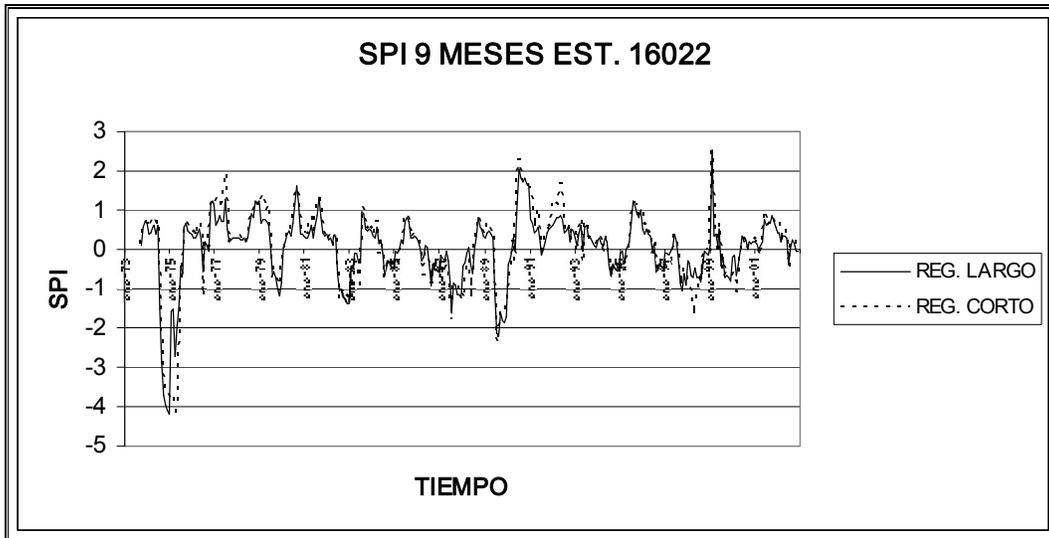


Fig. A3. Valores obtenidos del SPI para la estación 16022 calculados para los registros de precipitación 1940-2002 y 1973-2002, escala de 9 meses.

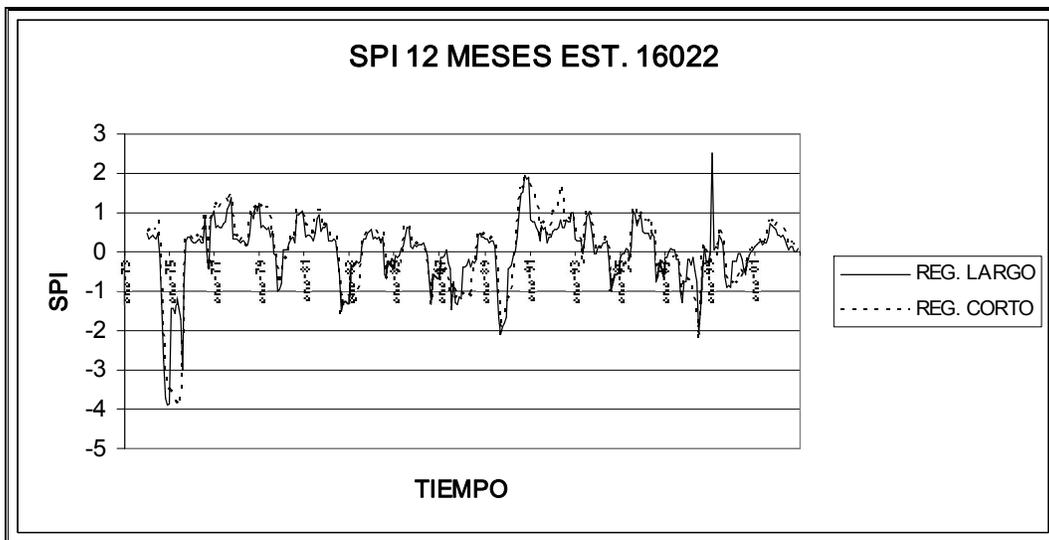


Fig. A4. Valores obtenidos del SPI para la estación 16022 calculados para los registros de precipitación 1940-2002 y 1973-2002, escala de 12 meses.

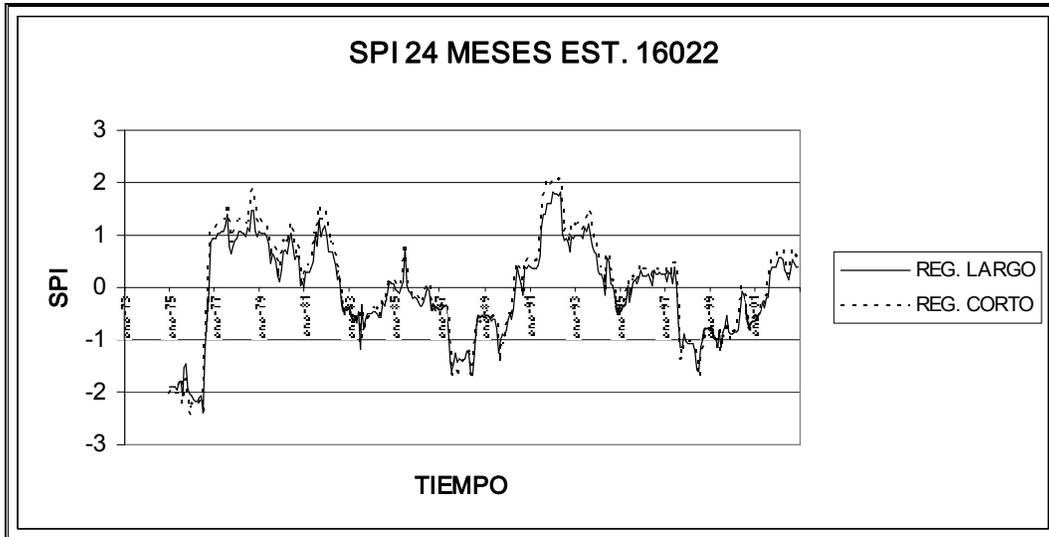


Fig. A5. Valores obtenidos del SPI para la estación 16022 calculados para los registros de precipitación 1940-2002 y 1973-2002, escala de 24 meses.

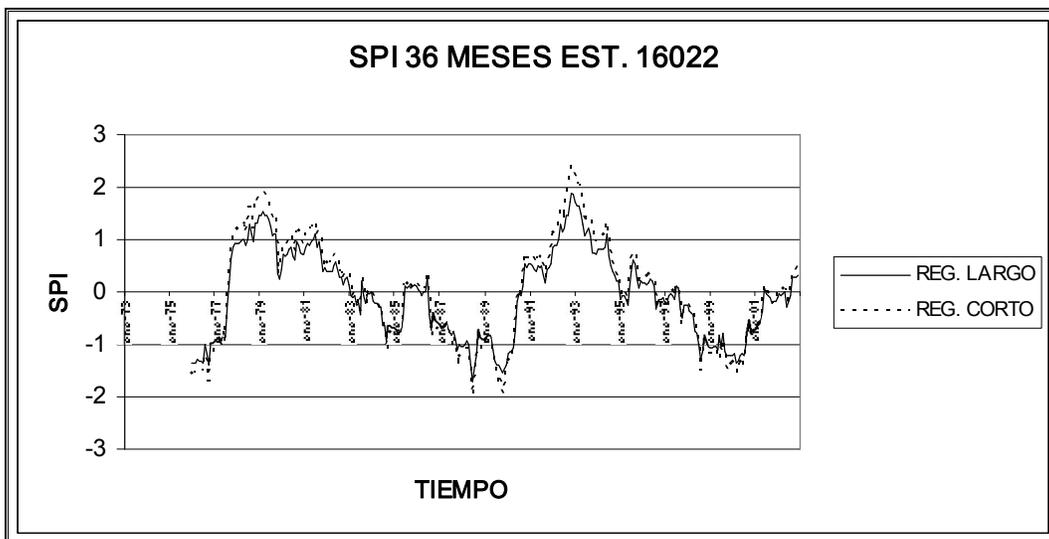


Fig. A6. Valores obtenidos del SPI para la estación 16022 calculados para los registros de precipitación 1940-2002 y 1973-2002, escala de 36 meses.

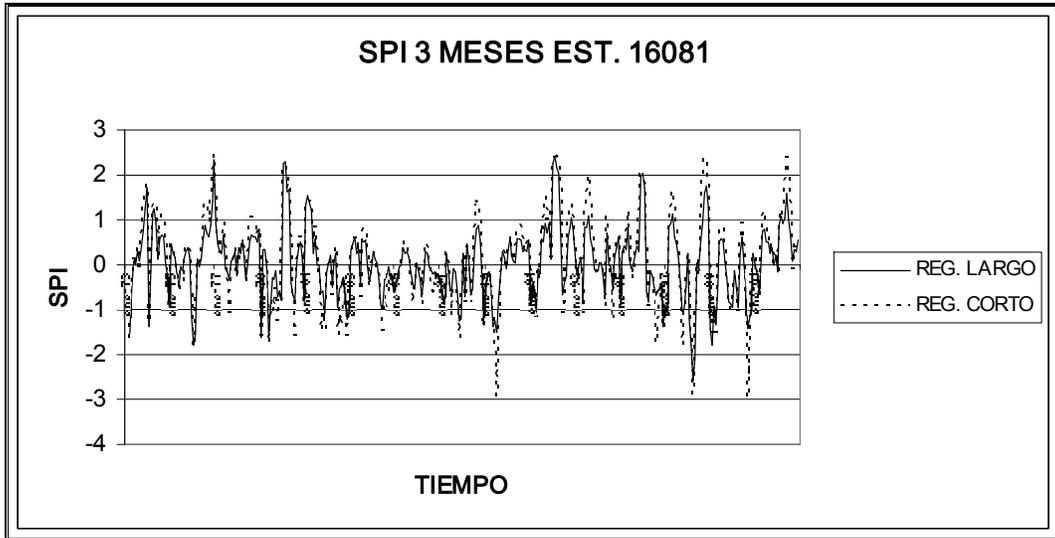


Fig. A7. Valores obtenidos del SPI para la estación 16081 calculados para los registros de precipitación 1948-2002 y 1973-2002, escala de 3 meses.

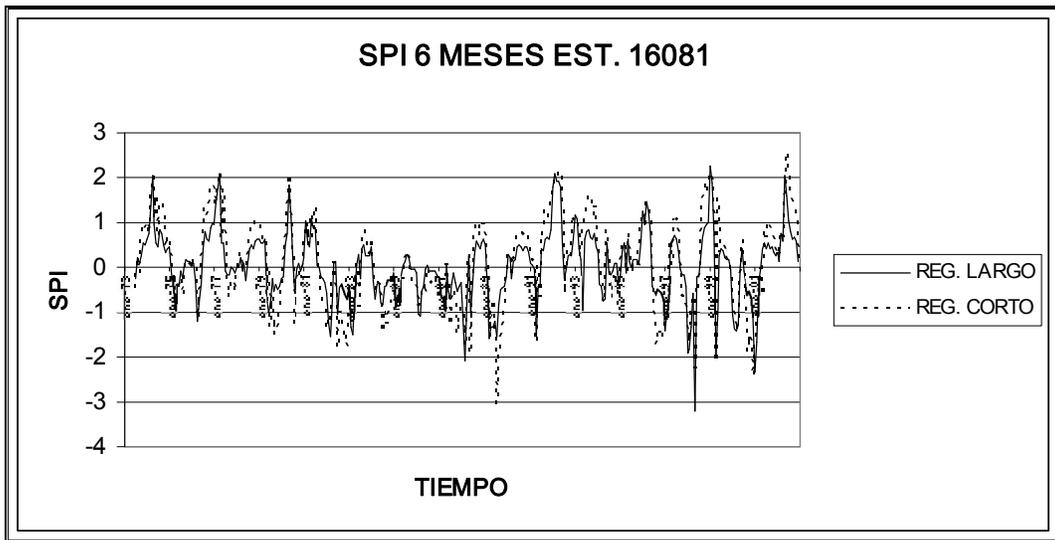


Fig. A8. Valores obtenidos del SPI para la estación 16081 calculados para los registros de precipitación 1948-2002 y 1973-2002, escala de 6 meses.

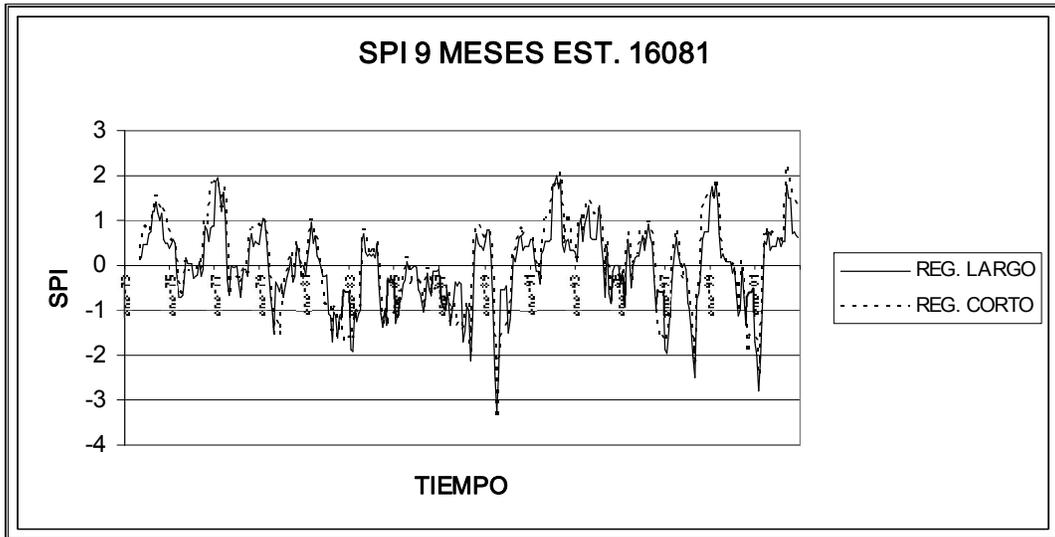


Fig. A9. Valores obtenidos del SPI para la estación 16081 calculados para los registros de precipitación 1948-2002 y 1973-2002, escala de 9 meses.

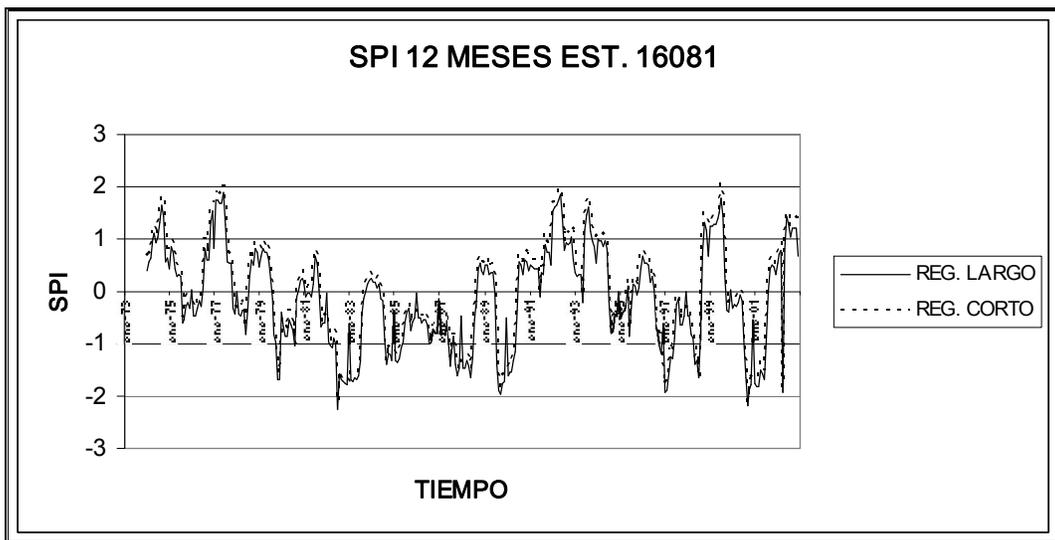


Fig. A10. Valores obtenidos del SPI para la estación 16081 calculados para los registros de precipitación 1948-2002 y 1973-2002, escala de 12 meses.

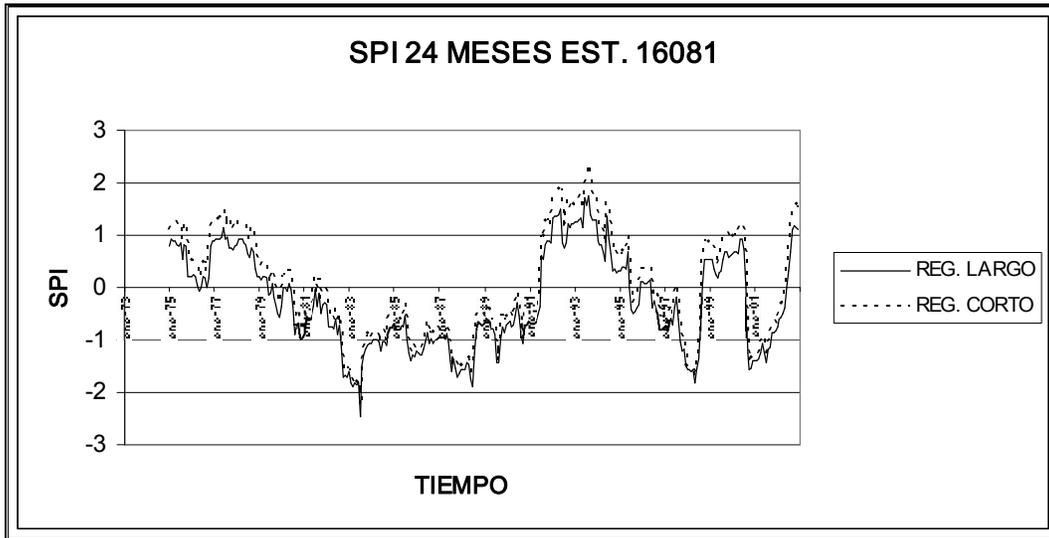


Fig. A11. Valores obtenidos del SPI para la estación 16081 calculados para los registros de precipitación 1948-2002 y 1973-2002, escala de 24 meses.

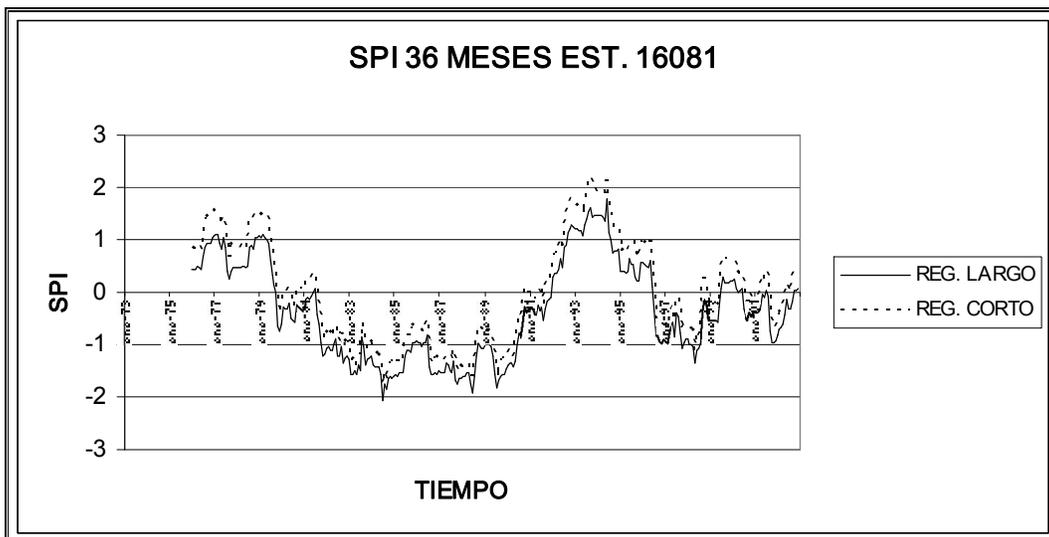


Fig. A12. Valores obtenidos del SPI para la estación 16081 calculados para los registros de precipitación 1948-2002 y 1973-2002, escala de 36 meses.

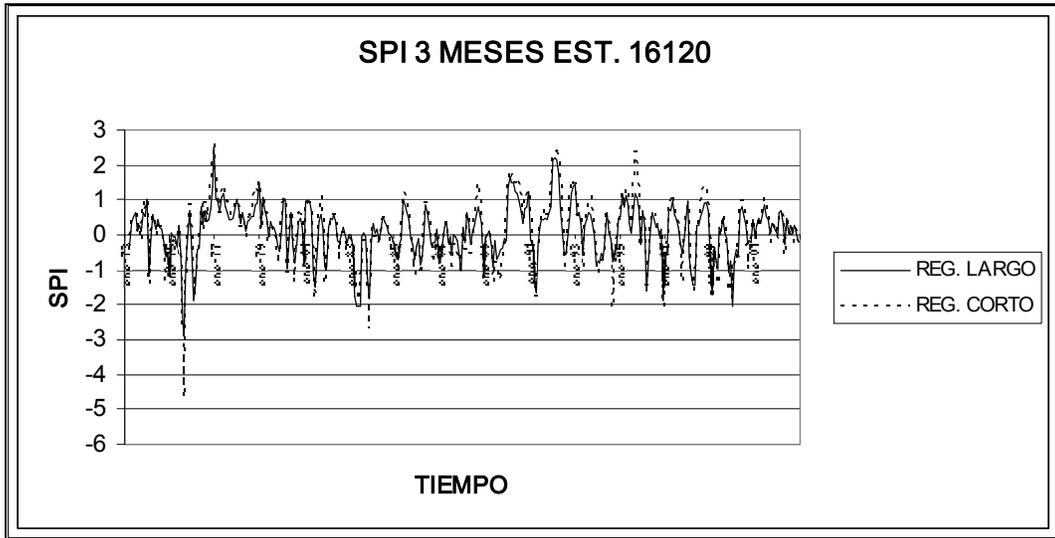


Fig. A13. Valores obtenidos del SPI para la estación 16120 calculados para los registros de precipitación 1954-2002 y 1973-2002, escala de 3 meses.

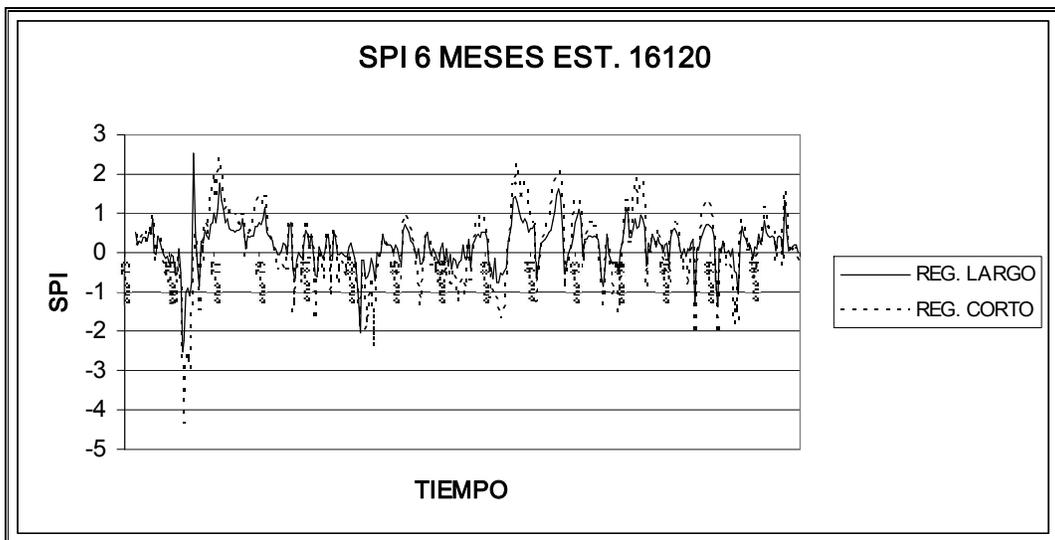


Fig. A14. Valores obtenidos del SPI para la estación 16120 calculados para los registros de precipitación 1954-2002 y 1973-2002, escala de 6 meses.

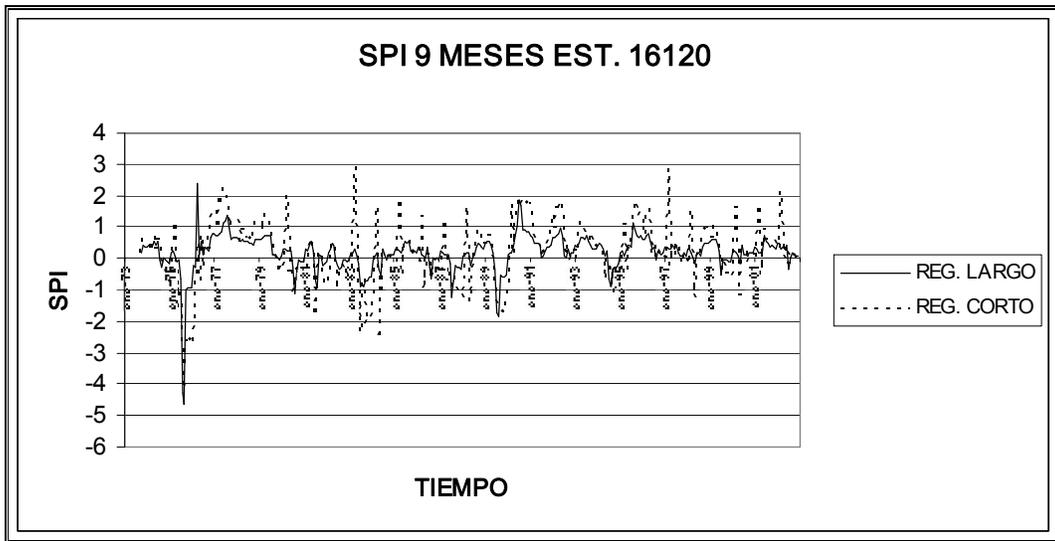


Fig. A15. Valores obtenidos del SPI para la estación 16120 calculados para los registros de precipitación 1954-2002 y 1973-2002, escala de 9 meses.

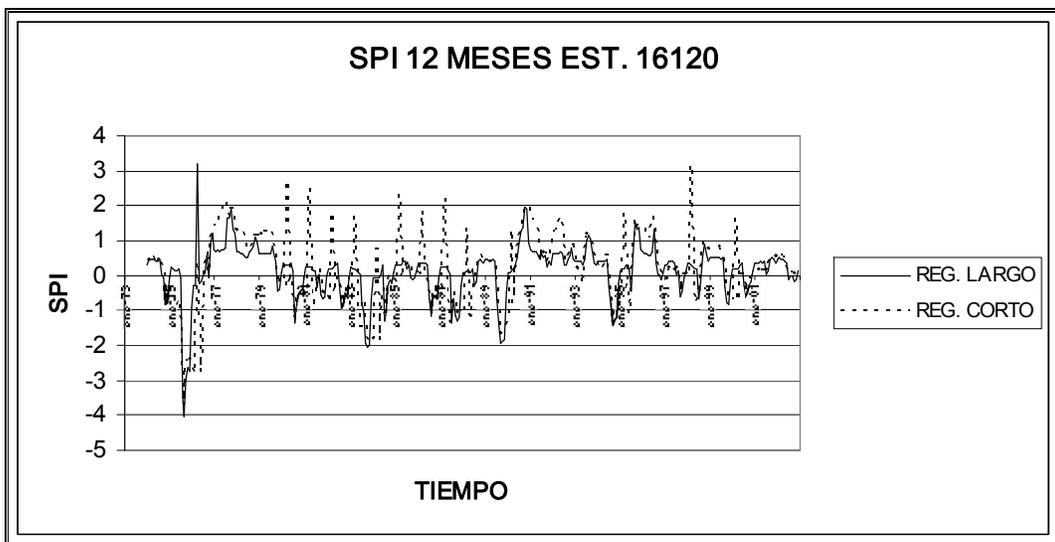


Fig. A16. Valores obtenidos del SPI para la estación 16120 calculados para los registros de precipitación 1954-2002 y 1973-2002, escala de 12 meses.

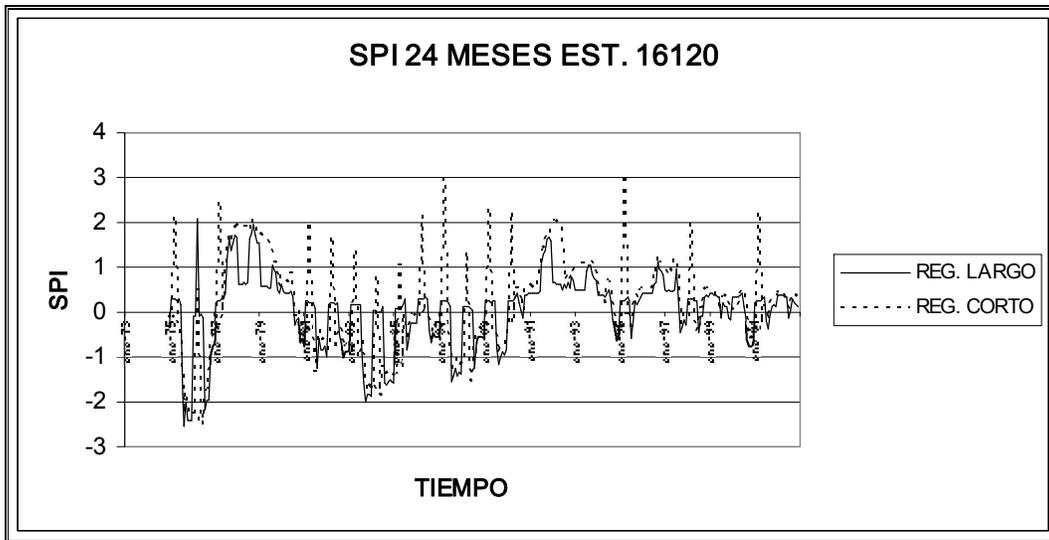


Fig. A17. Valores obtenidos del SPI para la estación 16120 calculados para los registros de precipitación 1954-2002 y 1973-2002, escala de 24 meses.

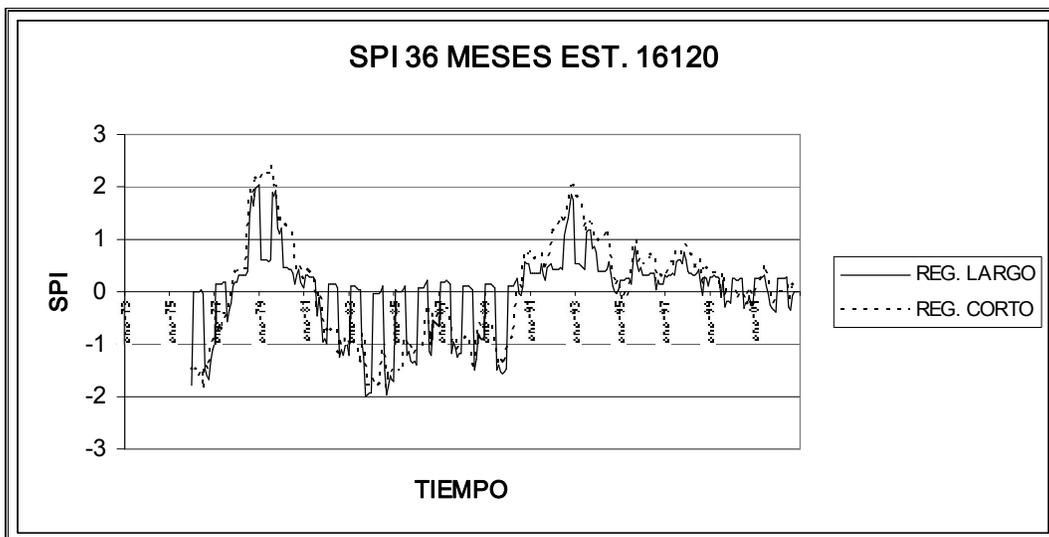


Fig. A18. Valores obtenidos del SPI para la estación 16120 calculados para los registros de precipitación 1954-2002 y 1973-2002, escala de 36 meses.

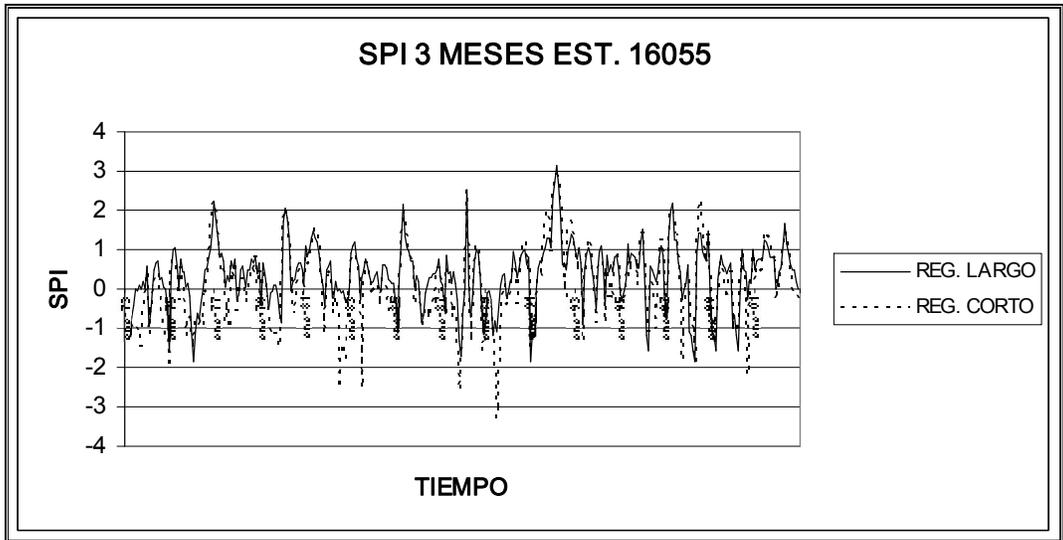


Fig. A19. Valores obtenidos del SPI para la estación 16055 calculados para los registros de precipitación 1937-2002 y 1973-2002, escala de 3 meses.

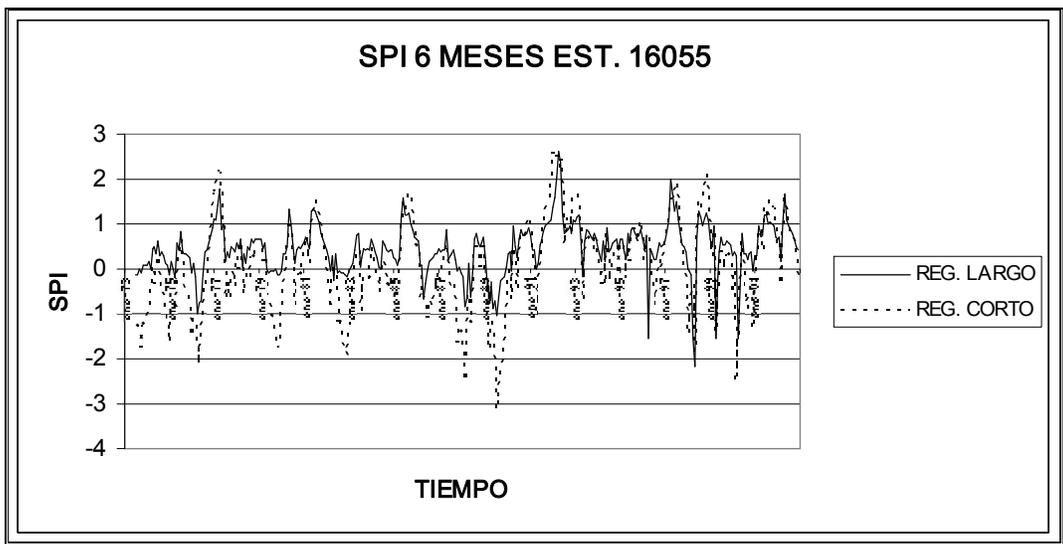


Fig. A20. Valores obtenidos del SPI para la estación 16055 calculados para los registros de precipitación

1937-2002 y 1973-2002, escala de 6 meses.

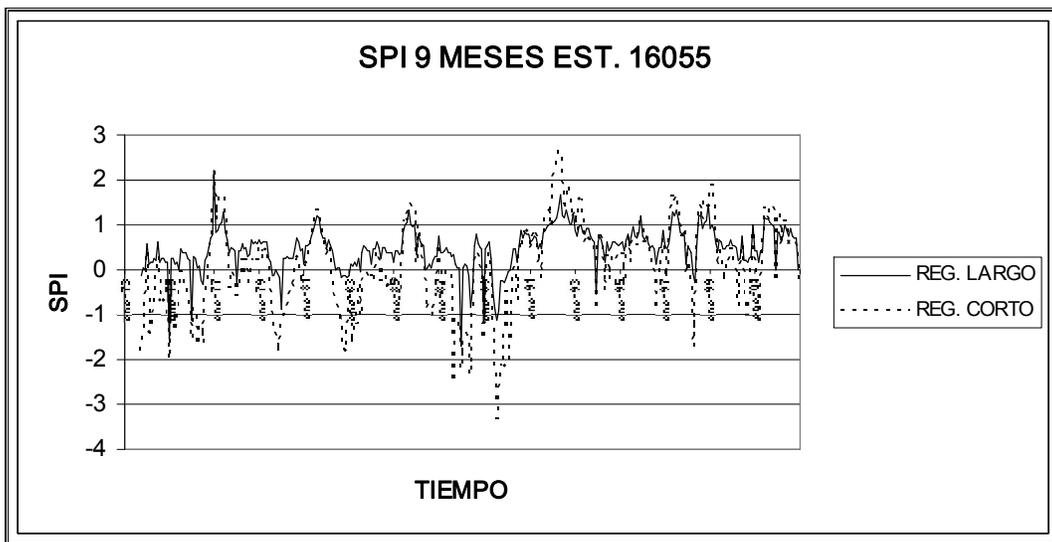


Fig. A21. Valores obtenidos del SPI para la estación 16055 calculados para los registros de precipitación 1937-2002 y 1973-2002, escala de 9 meses.

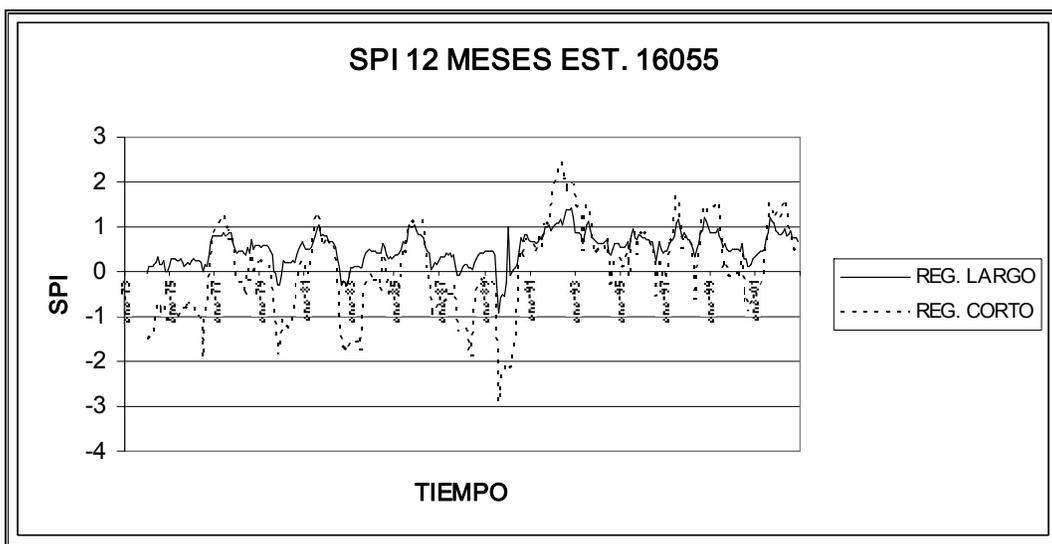


Fig. A22. Valores obtenidos del SPI para la estación 16055 calculados para los registros de precipitación 1937-2002 y 1973-2002, escala de 12 meses.

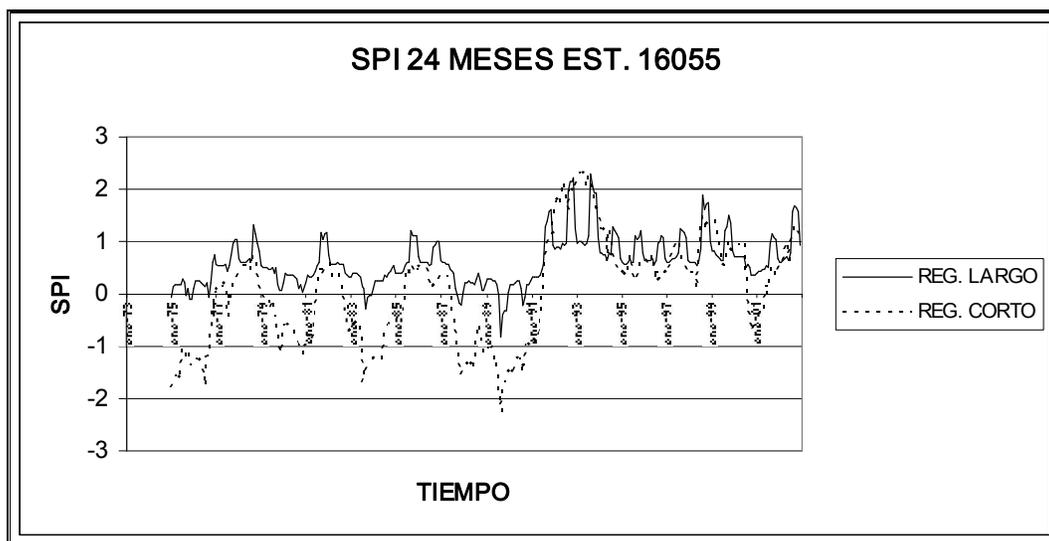


Fig. A23. Valores obtenidos del SPI para la estación 16055 calculados para los registros de precipitación 1937-2002 y 1973-2002, escala de 24 meses.

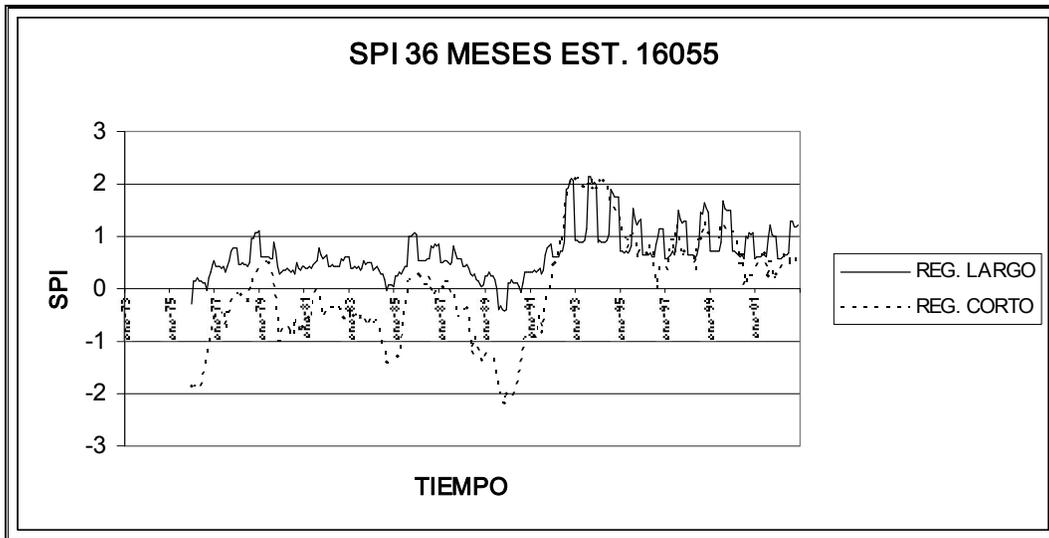


Fig. A24. Valores obtenidos del SPI para la estación 16055 calculados para los registros de precipitación 1937-2002 y 1973-2002, escala de 36 meses.

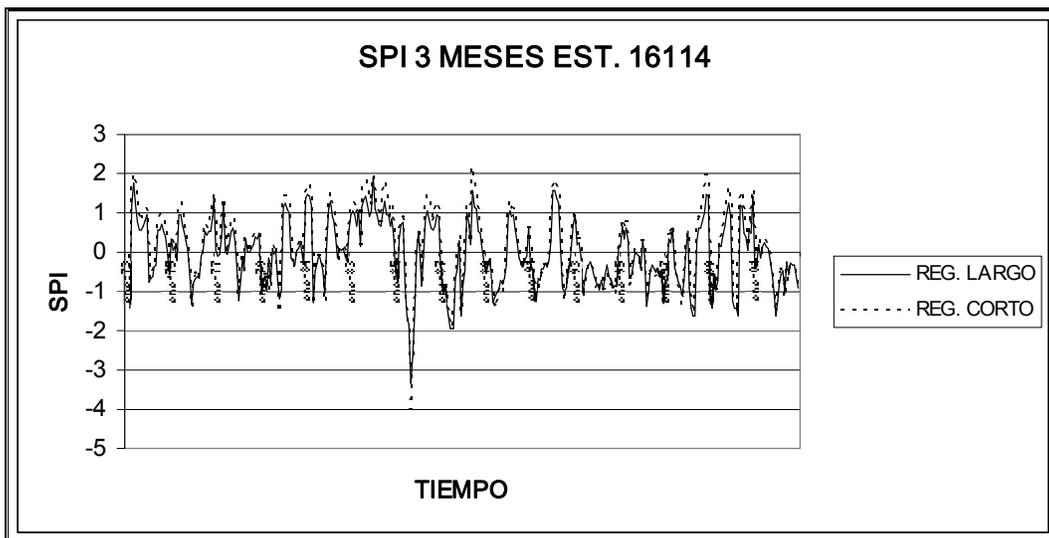


Fig. A25. Valores obtenidos del SPI para la estación 16114 calculados para los registros de precipitación 1964-2002 y 1973-2002, escala de 3 meses.

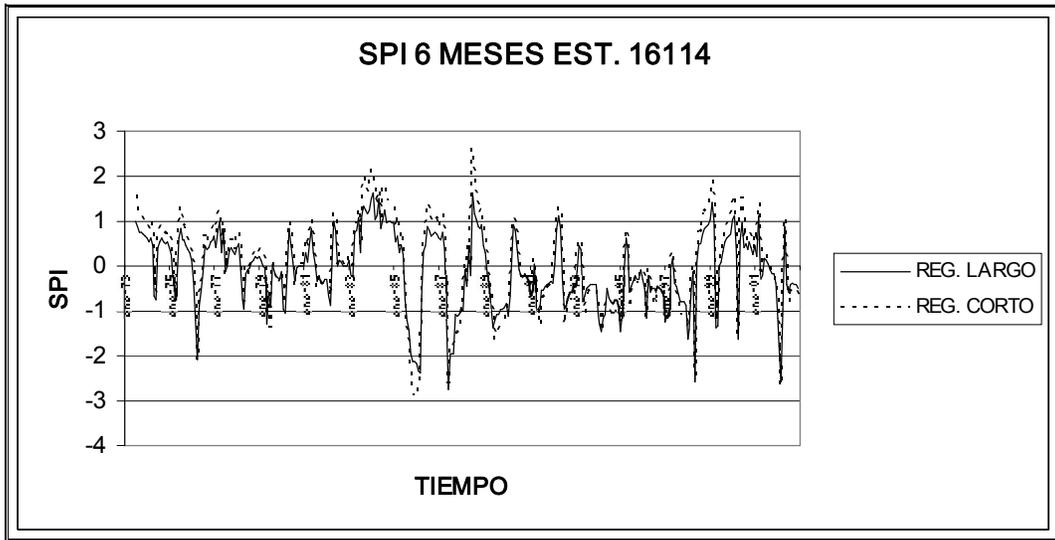


Fig. A26. Valores obtenidos del SPI para la estación 16114 calculados para los registros de precipitación 1964-2002 y 1973-2002, escala de 6 meses.

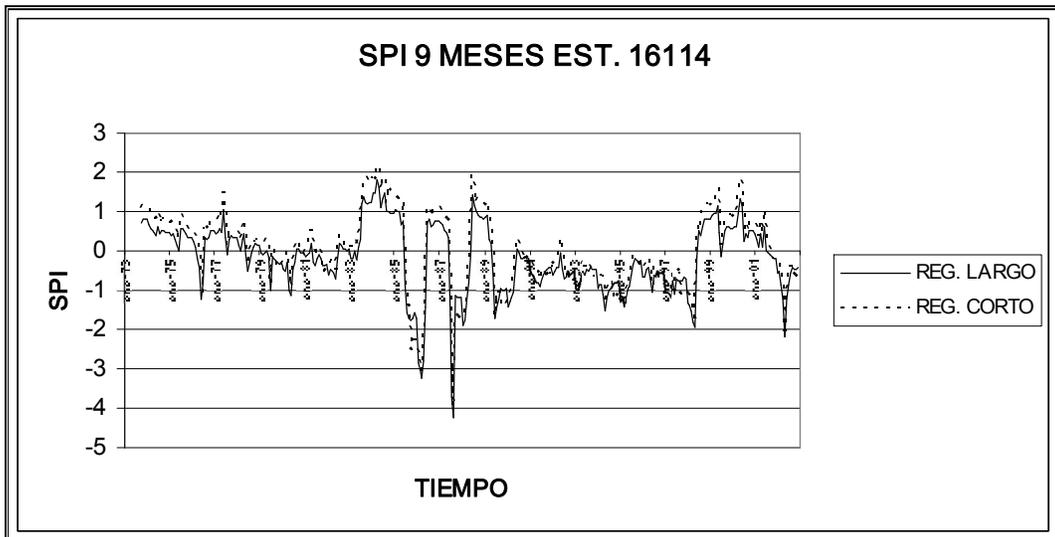


Fig. A27. Valores obtenidos del SPI para la estación 16114 calculados para los registros de precipitación 1964-2002 y 1973-2002, escala de 9 meses.

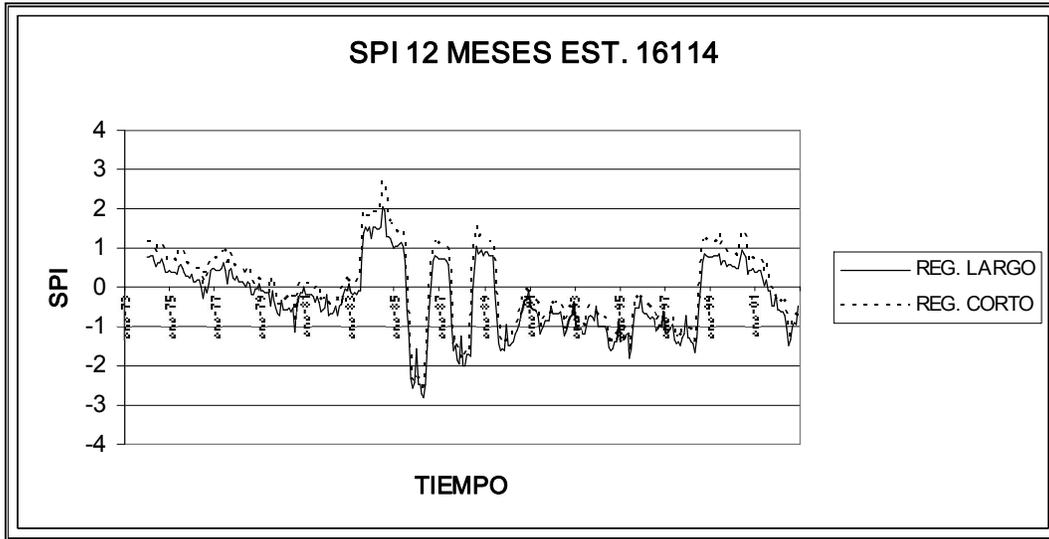


Fig. A28. Valores obtenidos del SPI para la estación 16114 calculados para los registros de precipitación 1964-2002 y 1973-2002, escala de 12 meses.

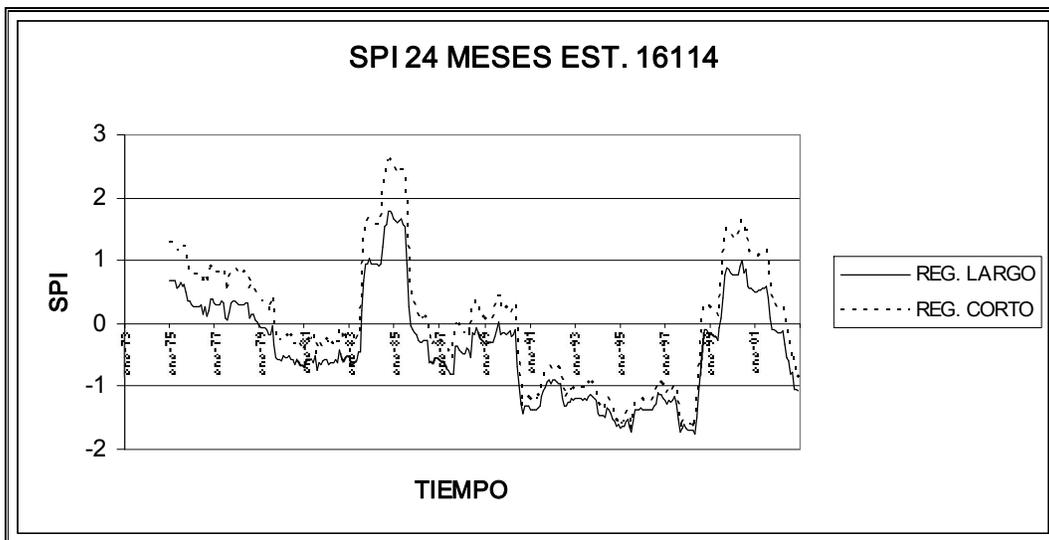


Fig. A29. Valores obtenidos del SPI para la estación 16114 calculados para los registros de precipitación 1964-2002 y 1973-2002, escala de 24 meses.

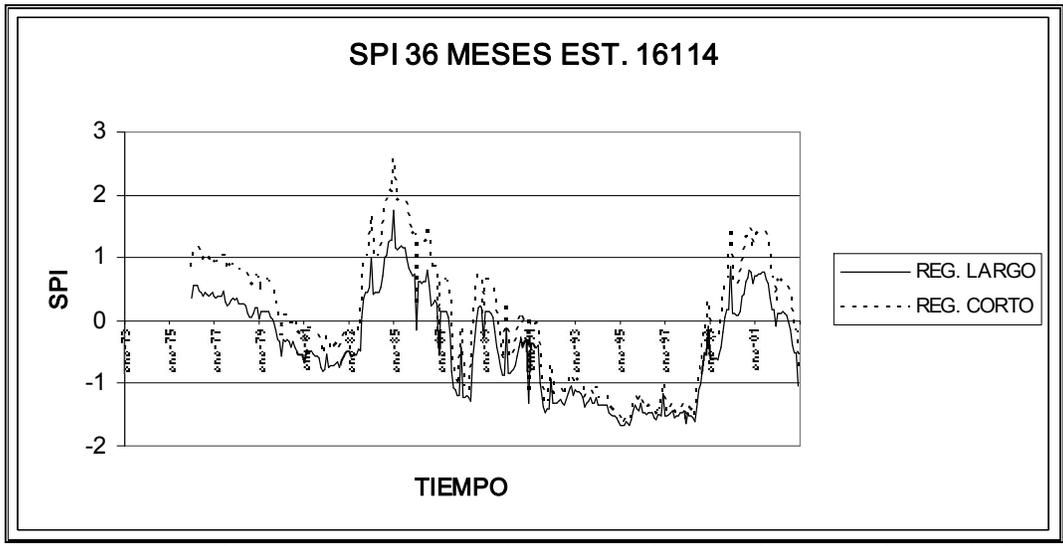


Fig. A30. Valores obtenidos del SPI para la estación 16114 calculados para los registros de precipitación 1964-2002 y 1973-2002, escala de 36 meses.

BIBLIOGRAFIA

Alley W. M. (1984). "The Palmer Drought Severity Index: Limitation and Assumptions". *Journal of climate and applied meteorology*. 1100-1109 p.

Bergaoui, M.A. Alouini, (2001). "Carctésisation de las sécheresse météorologique et hydrologique; Cas dubassin versant de Siliana en Tunisie. Sécheresse", *Sécheresse* 12(4): 205,213.

Bootsma, H. A., M.J. Bootsma and R.E. Hecky. (1996). "The chemical composition of precipitation and its significance to the nutrial budget of lake Malawi".

CCC. (2004). Colorado Climatic Center. <http://ulysses.atmos.colostate.edu/standardizedprecipitation.php> [2004].

ERIC II, (2000). "Extractor Rápido de Información Climatológica". Jiutepec, Morelos. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

Escalante, C., Reyes, L.(2004). "Análisis de sequías Vols. I y II", Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería, División de Ingeniería Civil, Topográfica y Geodésica, Departamento de Ingeniería Hidráulica..

Florescano, E., Swan, S., (1995). *Breve Historia de la Sequía en México*, Universidad Veracruzana, Xalapa, México.

García, F., Mariles, O., Matias, G., (2002). "Sequías", Serie Fascículos, CENAPRED, 1ª. Edición, Pág. 18. SEGOB.

Guttman, N.B.; (1998). "Comparing the Palmer Drought Index and the Standardized Precipitation Index". *J. Am. Water Resour. Assoc.* 34. 113-121.

Hayes M., Wilhite D., Svoboda., Vanyarko O., (1999). Monitoring the 1996 drought usinh the standardized precipitation index. *Bulletin af the American Meteorological Society* 80(3); 429-438.

Komuscu, A. U.; (1999). "Using the SPI to analyze spatial and temporal pattern of drought in Turkey". *Drought Network News* 11 7-13.

Knutson, C., Hayes, M., Phillips, T., (1998): "How to Reduce Drought Risk. Western Drought" Coordination Council (National Drought Mitigation Center, U.S. Bureau of Reclamation). 43p. Estados Unidos.

How to reduce drought risk. - Consejo de Coordinación de la Sequía del Oeste, Denver, Colorado, EE.UU. – pp. 1-10.

McKee T. B., N. J.; Doesken and J. Kleist (1993). "The relationship of drought frequency and duration to time scales". Pre-prints, 8th Conf. on Appl. Climat., 17-22 January, Anaheim, CA. 179-184.

-
- NDMC. (2004). National Drought Mitigation Center. <http://drought.unl.edu/> [2004].
- Palfai, I. (1984). “Az aszáyossági index (The Aridity Index)” – MHT V. Országos Vandorgyűlés, Szarvas, Hungria
- Pálfai, I., Petrasovits, I., Vermes, L., (1995). “Some methodological questions of the European drought sensitivity map” – Actas del Taller Internacional de la ICID sobre la Sequía en la Región de los Cárpatos, 3-5 Mayo, Budapest – Alsógöd, Hungria pp. 131-142.
- Petrasovits, I. (1984). “Agrohidropotenciál (Agrohydro potencial)” – Tudomány és Mezőgazdaság, 1.
- Ramirez, P., Brenes, A., (2001). Informe sobre las condiciones de sequía observadas en el Istmo Centroamericano en el 2001,. <http://crrh-informe-sequia-pdf>.
- Shafer, B., Dezman L., (1982). Development of a Surface Water Supply Index (SWSI) to assess the severity of drought conditions in snowpack runoff areas. In Proceedings of the Western Snow Conference, pp 164-175. Colorado State University, Fort Collins, Colorado.
- Szalfai, S., Szinell, C. (2000). “Comparison of two drought indices for drought monitoring in Hungary – a case study”. In Drought and Drought Mitigation in Europe, Vogt JV, Spmma F (eds). Kluwer: Dordrech; 161-166.
- Vermes, L. (1998). “Directrices para la gestión del agua”, Guía de ICID. 31p.
- Wayne C., (1965). “Meteorological Drought”. Research Paper No. 45. U.S Weather Bureau, Washington D.C. 58p.
- Willmott, C. J. (1981). “On the validation of models”. Phys. Geogr. 2, 184-194.
- Wilhite D., (1997). “Improving Drought Management in the West: The Role of Mitigation and preparedness”. National Drought Mitigation Center. Universidad de Nebraska. Estados Unidos. 56 p.
- Wilhite, D., Hayes, M., Knutson, C., Smith, K., “The Basic of Drought planning: A 10- Step process”. National Drought Mitigation Center. Universidad de Nebraska. Estados Unidos. 15p.
- WRCC. 2004. Western Regional Climatic Center. <http://wrcc.dri.edu/spi/spi.htm> [2004].
- Wu, H., Hayes, M., Wilhite, D., Svoboda, M., (2005). “The effect of the length of record on the standardized precipitation index calculation, International Journal of Climatology”, 25: 505-520.