



Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

Programa de Posgrado

Tesis

**CARACTERIZACIÓN Y EVALUACIÓN DE ESCENARIOS POR SEQUÍA
EN LA CUENCA Y ACUÍFERO DEL RÍO CULIACÁN**

que para obtener el grado de
Maestría en Ciencias del Agua
(Gestión Integral del Agua de Cuencas y Acuíferos)

presenta
José Carlos Douriet Cárdenas

Tutor: **Dr. Israel Velasco Velasco**



Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

Programa de Posgrado

T e s i s

**CARACTERIZACIÓN Y EVALUACIÓN DE ESCENARIOS POR SEQUÍA EN LA
CUENCA Y ACUÍFERO DEL RÍO CULIACÁN**

que para obtener el grado de
Maestría en Ciencias del Agua
(Gestión Integral del Agua de Cuencas y Acuíferos)

presenta
José Carlos Douriet Cárdenas

Tutor: **Dr. Israel Velasco Velasco**

Con fundamento en los artículos 21 y 27 de la Ley Federal del Derecho de Autor y como titular de los derechos moral y patrimoniales de la obra titulada "CARACTERIZACIÓN Y EVALUACIÓN DE ESCENARIOS POR SEQUÍA EN LA CUENCA Y ACUÍFERO DEL RÍO CULIACÁN", otorgo de manera gratuita y permanente al Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, autorización para que fijen la obra en cualquier medio, incluido el electrónico, y la divulguen entre su personal, estudiantes o terceras personas, sin que pueda percibir por tal divulgación una contraprestación.

JOSÉ CARLOS DOURIET CÁRDENAS

Jiutepec, Morelos, a 26 de noviembre de 2010.

Lugar y Fecha



Firma



DEDICATORIA

A mis padres José Luis (que en paz descanse) y Felipa por formarme con valores y enseñarme la cultura del esfuerzo necesarios para la realización de mis estudios y el logro de metas.

A mi esposa Marina Olivas Estrada por su comprensión y apoyo durante la realización del posgrado.

A mis hijos Karla Marina Yamilet, Felipe de Jesús, Ana Luisa, María Guadalupe, mis nietos Valeria de Montserrat, Logán, Jesús Nicolás, y Hanna Nikol, que han sido mi motivación en la vida.

A todos mis hermanos: Jorge, Miguel, Martha, Vicente, Javier, César, Jesús, Mario y con especial cariño a Delfina por su desinteresado e incondicional apoyo.



AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Israel Velasco Velasco, M.I. Carlos Gutiérrez Ojeda, M.C. Cruz Elisa Torrecillas Núñez, Dr. Waldo Ojeda miembros del Comité Tutorial por todo su apoyo y tiempo brindado, en especial al Dr. Velasco por sus valiosas asesorías, colaboración, conducción y todo su apoyo recibido durante el desarrollo de los trabajos y la escrituración de la tesis.

Al Dr. Andrés C. Ravelo, Consultor de la Organización Meteorológica Mundial en el tema de sequías, por su constante apoyo, asesorías, orientaciones y revisor de esta tesis.

A la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) por brindarme la oportunidad de continuar con los estudios de posgrado al formar parte de la Maestría en Gestión Integrada del Agua en Cuenca y Acuíferos mediante la modalidad semi presencial y a distancia.

Al Lic. Jorge Miguel Ramírez Pérez y al Ing. Rafael Sanz Ramos, Director General y Director Técnico, respectivamente, del Organismo de Cuenca Pacífico Norte de la CONAGUA) por su apoyo incondicional, permanente y las facilidades otorgadas para realizar el posgrado y el trabajo de tesis.

Al Dr. Felipe I. Arreguín Cortés, Subdirector General Técnico de la CONAGUA, por todos los apoyos proporcionados para la culminación de este posgrado.

Al Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) por todas las facilidades brindadas en el desarrollo del posgrado.

Al Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología de Sinaloa (CECYT), por su apoyo para la realización de este posgrado.

A todos mis profesores de la maestría, por los conocimientos que nos transmitieron durante el desarrollo del posgrado y el esfuerzo realizado para apoyarnos en nuestra formación como humildes gestores del agua con una visión integrada y humanística.

Al Grupo de Monitoreo y Evaluación de las Formas de las Sequías (GMFS) del Organismo de Cuenca Pacífico Norte, en especial a Pamela Sandoval Noriega y Víctor Órnelas Sánchez, por su constante cooperación en el desarrollo de estos trabajos.



A mi amigo Eduardo, por su colaboración para crear *ad hoc* él: "Proyecto Estudio para la Gestión de Sequías en la cuenca del río Culiacán", útil para el monitoreo y la caracterización de sequías.

A mis compañeros de la maestría por su amistad incondicional, apoyo y estímulo que me brindaron durante las estancias académicas en el IMTA, con énfasis especial a Eva Rodríguez Rodríguez y Carlos Raúl Montaña Espinoza.

Finalmente a mis compañeros de la Dirección Técnica del Organismo de Cuenca Pacífico Norte que de alguna forma u otra contribuyeron en la conclusión de este trabajo.

RESUMEN

La sequía es considerada un evento climatológico extremo, que ocurre recurrentemente en alguna parte de la Tierra con impactos negativos en el ámbito económico, social y ambiental. Las sequías prolongadas e intensas generan fuertes pérdidas económicas en las diferentes actividades humanas con posibles consecuencias sociales. Este fenómeno es recurrente en México y se manifiesta con mayor incidencia en la porción norte del país, debido a sus características climatológicas. El estado de Sinaloa se encuentra en la Jurisdicción del Organismo de Cuenca Pacífico Norte y ha experimentado períodos extensos de baja precipitación de hasta siete años consecutivos, los cuales suelen asociarse a la ocurrencia de los fenómenos de *El Niño*.

El objetivo general de este trabajo fue caracterizar a la cuenca y acuífero del río Culiacán mediante índices de sequía con la finalidad de realizar la toma de decisiones más eficientes en un contexto de gestión integral del agua en tiempos de escasez y establecer las bases metodológicas para el diseño de un Sistema de Monitoreo, Evaluación y Pronóstico de Sequías en el Organismo de Cuenca Pacífico Norte.

La metodología desarrollada para la caracterización y evaluación de las sequías está basada en los siguientes índices: Índice estandarizado de precipitación (SPI), índice de severidad de sequías de Palmer (PDSI), índice de humedad del cultivo (CMI) e índice de la diferencia normalizada de vegetación (NDVI). Para el análisis espacial se creó *ad hoc* el sistema operativo Proyecto de Gestión para la cuenca del río Culiacán, denominado SIG-Sinaloa, en plataforma ArcGis 9.2; y en la prospección de eventos probables a 1, 2 y 3 meses se usaron Redes Neuronales (RN).

Los índices PDSI mensual y SPI para diferentes escalas de tiempo tal como a un mes (SPI1), tres meses (SPI3), seis meses (SPI6) y a doce meses (SPI12), permitieron definir, caracterizar y evaluar las sequías históricas en la zona de estudio. Las RN se evaluaron de manera experimental y con resultados satisfactorios para escenarios probables a 1, 2 y 3 meses.

Los resultados de la caracterización de las sequías indican la presencia de sequías meteorológicas en todos los años, pero con diferentes duraciones e intensidades. La mayoría de ellas fueron incipientes, con menor frecuencia las moderadas y las severas sólo en ocasiones mínimas. La sequía de mayor duración ocurrió en el período 1998-2004, sintiéndose sus efectos en la agricultura y ganadería, en los volúmenes de ingreso a las presas por la disminución de los caudales de escurrimiento por los ríos, y en el abatimiento de los niveles estáticos del acuífero. Asimismo, las sequías más intensas se presentaron en la parte media y alta de la cuenca, en cambio, en la zona de explotación del acuífero las sequías fueron incipientes y menos frecuentes.



Se desarrollaron sistemas para el monitoreo, evaluación y determinación de escenarios probables por sequía en la zona en estudio, tanto temporales como espaciales. Así mismo, se plantea la difusión de dichos resultados mediante la elaboración de un boletín de sequía, y se discute una propuesta de alerta temprana y elaboración de planes de mitigación de sequías con participación de la sociedad.

Se confirma que las sequías no siguen un patrón definido ni el tiempo ni en el espacio, presentan una fuerte variabilidad en su ocurrencia, no existe un lugar o zona definida de mayor frecuencia para las clases incipiente, moderada y severa.

La mejor manera de afrontar sus efectos es mediante la mitigación y adaptación y para ello debe contarse con un sistema de monitoreo, evaluación y determinación de escenarios probables por sequía.

Los resultados obtenidos en este trabajo, se enmarcan en un proyecto conjunto y coordinado entre el Organismo de Cuenca Pacífico Norte (OCPN) de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). Dichos resultados serán útiles para trabajos posteriores encaminados hacia un manejo óptimo del agua superficial y subterránea en la cuenca y el acuífero del río Culiacán durante períodos de sequía, en el marco de la Gestión Integrada del Agua en Cuencas y Acuíferos (GIACA).



ABSTRACT

Drought is considered an extreme climatologic event with recurrent frequency in any part of the Earth and negative impacts in the economy, society and environment. Long and severe droughts generate large economic losses in different human activities with important social consequences. Droughts are recurrent in Mexico and they are more evident in the northern portion of the country given its climatologic characteristics. The Sinaloa State follows within the jurisdiction of the North Pacific Basin Organism and it has experienced extensive periods of low rainfall up to seven years, which can be associated to El Niño / La Niña events.

The objective of this research was to characterize the basin and aquifer of the Culiacán river using drought indices for efficient decision making in a context of integral water management during water deficit periods and to establish the methodological basis for the design of a Drought Monitoring, Assessment and Forecasting System in the North Pacific Basin Organism.

The methodology developed for the characterization and assessment of droughts is based in the following indices: Standardized Precipitation Index (SPI), Palmer Drought Severity Index (PDSI), Crop Moisture Index (CMI) and the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). For the regional analysis, it was developed an operating system Management Project for the Culiacán river basin named SIG-Sinaloa in an ArcGis 9.2 platform. The drought outlook for one, two and three months was done with a Neural Network (RN).

The monthly PDSI and the SPI for different time scales such as one month (SPI1), three months (SPI3), six months (SPI6) and 12 months (SPI12) allowed to define, to characterize and to assess historical droughts in the study area. The RN was used in an experimental basis with satisfactory results for one, two and three months outlook.

Results from the drought characterization showed the occurrence of meteorological droughts every year with different duration and intensity. Most of them were incipient drought and the moderate and severe ones were less frequent. The longest drought occurred in the 1998-2004 period, with impacts in agriculture and livestock activities, water income of dams due to reduced river flows and lower water tables. Also, the most intense drought occurred in the mid and upper part of the basin while in the lower basin the droughts were incipient and less frequent.

A system for monitoring, assessment and generation of probable scenarios of drought in both time and space scale was developed for the study area. The results will be distributed to users with a periodic bulletin. An early warning proposal is being design along with mitigation plan with community participation.



It was confirmed the absence of time and space drought pattern, a high occurrence and intensity variability and the lack of high frequency regions for the incipient, moderate and severe classes.

The most appropriate way to deal with drought impacts is establishing mitigation and adaptation procedures; therefore, a system for monitoring, assessment and generation of probable scenarios of drought is required.

The results of this research are part of a project jointly coordinated by Organismo de Cuenca Pacífico Norte (OCPN) of the Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), the Organización Meteorológica Mundial (OMM) and the Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). These results will be useful for future research related to the efficient water management of river flows and groundwater in the basin and acuífero of the Culiacán river during drought periods in a framework of an Integrated Water Management of Basin and Aquifers (GIACA).



ÍNDICE

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS.....	ii
RESUMEN.....	iv
ABSTRACT.....	vi
Abreviaturas	x
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS.....	9
3. ANTECEDENTES.....	10
3.1 Planteamiento del problema.....	10
3.2 Métodos de análisis	10
3.3 Ejemplos de sistemas operativos de sequías.....	17
3.4 Importancia del monitoreo, evaluación y determinación de escenarios por sequías.....	22
3.5 Principales efectos en la región.....	24
3.6 Importancia del análisis de escenarios.....	26
3.7 Mitigación de sequías (GIACA)	27
3.8 Difusión (Boletín, Página WEB)	27
3.9 Trabajos realizados y métodos más usados	27
4 MATERIALES Y MÉTODOS.....	33
4.1 Selección y localización de la zona de estudio.....	33
4.1.1 Selección del área de estudio	33
4.1.2 Localización del área de estudio	33
4.1.3 Descripción del área de estudio.....	35
4.2 El clima en la zona de estudio	37
4.3 Materiales.....	39
4.4 Métodos.....	39
4.4.1 Modelo conceptual de sequías.....	40
4.4.2 Caracterización de las sequías en la cuenca y acuífero del río Culiacán.	43
4.4.2.1 Selección de las estaciones meteorológicas e hidrométricas y pozos piloto	43
4.4.2.2 La base de datos: meteorológicos, hidrométricos y de niveles estáticos	47
4.4.2.3 Estimación de los índices de sequía: SPI, PDSI, CMI Y NDVI.....	51
4.4.2.3.1 Normal climatológica de precipitación en la zona de estudio	51
4.4.2.3.2 Índice Estandarizado de Precipitación (SPI).	53
4.4.2.3.3 Índice de Severidad de Sequía de Palmer (PDSI)	54
4.4.2.3.4 Índice de Humedad de Cultivo (CMI)	56



4.4.2.3.5	Índice Normalizado de Diferencia de la Vegetación (NDVI).....	57
4.4.2.4	Análisis y evaluación de los índices de sequía: SPI y PDSI.	57
4.4.2.5	Determinación de las características físicas de las sequías	58
5	RESULTADOS Y DISCUSION.....	60
5.1	Caracterización de las sequías en la zona en estudio.....	60
5.1.1	Normal climatológica de precipitación.....	60
5.1.2	Índice Estandarizado de Precipitación (SPI).....	75
5.1.3	Índice de Severidad de Sequías de Palmer (PDSI).....	92
5.1.4	Índice de Humedad del Cultivo (CMI).....	97
5.1.5	Índice Normalizado de la Diferencia de Vegetación (NDVI).....	98
5.2	Discusión de resultados de la sequía en la zona en estudio	101
5.2.1	Relaciones entre los volúmenes mensuales de ingreso a las presas y el índice SPI.....	101
5.2.2	Relaciones entre los niveles estáticos del acuífero del río Culiacán y el índice SPI12. ..	102
5.2.3	Monitoreo, evaluación y escenarios probables por sequías en la zona de estudio	105
5.2.3.1	Monitoreo y evaluación (temporal y espacial) por sequías en la zona	105
5.2.3.2	Evaluación de escenarios probables por sequías a 1, 2 y 3 meses.....	108
5.2.4	Propuesta de un sistema de monitoreo, evaluación y difusión de sequías, en la zona ..	112
5.2.5	Discusión de una propuesta de alerta temprana y planes de mitigación de sequías....	114
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	120
6.1	Conclusiones.....	120
6.2	Recomendaciones	122
7	BIBLIOGRAFIA.....	124
A N E X O S		128
ANEXO A. Relación de estaciones consideradas para el estudio.....		129
ANEXO B. Base de datos: meteorológicos, hidrométricos y de niveles estáticos.....		131
ANEXO C Normales climatológicas de precipitación, temperatura y climogramas		150
ANEXO D Pprecipitación media anual para la cuenca del río Culiacán, (3métodos).....		171
ANEXO E Características físicas de las sequías, mediante los índices SPI y PDSI.....		174

Abreviaturas

CARC: Cuenca y Acuífero del Río Culiacán
 CCRMC: Consejo de Cuenca del Río Mocolito al Quelite
 CONAGUA: Comisión Nacional del Agua
 CMI: Índice de Humedad del Cultivo
 GMFS: Grupo de Monitoreo de las Fases de Sequía.
 INEGI: Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática
 NDVI: Índice Normalizado de la Diferencia de Vegetación
 OCPN: Organismo de Cuenca Pacífico Norte
 PND: Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012
 PNH: Programa Nacional Hídrico 2007-2012
 PRH: Programa Regional Hidráulico 2007-2012
 PDSI: Índice de Severidad de Sequía de Palmer
 RN: Redes Neuronales
 SPI: Índice estandarizado de precipitación
 SOS: Sistema Operativo de Sequías
 SMEPS: Sistema de Monitoreo, Evaluación y Pronóstico de Sequías
 SEDESOL: Secretaría de Desarrollo Social
 SIG: Sistema de Información Geográfica

Tabla 1. Lista de acrónimos

Acrónimo		Descripción	
Inglés	Español	Inglés	Español
PD	PDI	Palmer Drought Index	Índice de sequía de Palmer
SPI	SPI	Standardized Precipitation Index	Índice estandarizado de precipitación
CMI	CMI	Crop moisture index	Índice de humedad del cultivo
NDVI	NDVI	Normalized difference vegetation index	Índice normalizado de la diferencia de vegetación
GIS	SIG	Geographical Information System	Sistema de Información Geográfica
SMAFS	SMEPS	System for Monitoring, assessing, and forecasting drought	Sistema de monitoreo, evaluación y pronóstico de sequías
NN	RN	Neural network	Redes neuronales
PREMIA	PREMIA	Project to Strengthen an Integrated Water Resources Management in Mexico	Proyecto de Fortalecimiento del Manejo Integrado del Agua en México
NMS	SMN	National Meteorological Service	Servicio Meteorológico Nacional
OSMAFD	SOS	Operational System for Monitoring, Assessing and Forecasting Drought	Sistema Operativo de Monitoreo, Evaluación y Pronóstico de Sequías
ANN	RN	Artificial Neural Network	Redes Neuronales
WMO	OMM	World Meteorological Organization (of the UN)	Organización Meteorológica Mundial

CUADROS

Cuadro 4.1: Estaciones seleccionadas para el análisis de la sequía en la cuenca y acuífero del río Culiacán

44

Índice de Tablas

Tabla 1. Lista de acrónimos x

Tabla 3.1: Ejemplos de definiciones de sequía conforme a la clasificación de Wilhite y Glantz (1985) 12

Tabla 4.1 Índices de sequía y los programas utilizados en su estimación..... 39

Cuadro 4.1: Estaciones seleccionadas para el análisis de la sequía en la zona de estudio 44

Tabla 4.2 Pozos piloto para la medición de niveles estáticos en el acuífero del río Culiacán..... 46

Tabla 4.2a: Relación de pozos piloto, su localización y cota, en el acuífero del río Culiacán 46

Tabla 4.3: Precipitación promedio estimada para la cuenca del río Culiacán 52

Tabla 5.1. Normal climatológica de precipitación anual (NCPA), en mm, período 1978-2008..... 61

Tabla 5.2 Características de las sequías en la estación Culiacán (SPI1, 1978-2008)..... 76

Tabla 5.3. Características de las sequías en la estación Culiacán (SPI3, 1978-2008)..... 78

Tabla 5.4. Características de las sequías en la estación Culiacán, (SPI6, 1978-2008)..... 79

Tabla 5.5. Características de las sequías en la estación Culiacán, (SPI12, 1978-2008) 80

Tabla 5.6: Características de las sequías en la estación Varejonal, (SPI3, 1978-2008)..... 82

Tabla 5.7. Características de las sequías en la estación Varejonal, (SPI12, 1978-2008)..... 83

Tabla 5.8. Características de las sequías en la estación Sanalona, (SPI3, 1978-2008) 84

Tabla 5.9. Características de las sequías en la estación Sanalona, (SPI12, 1978-2008)..... 85

Tabla 5.10. Resumen de los SPI para las estaciones existentes dentro de la cuenca, (1978-2008) 88

Tabla 5.11. Características de las sequías en la estación Culiacán, (PDSI, 1978-2008) 93

Tabla 5.12. Características de las sequías en la estación El Varejonal, (PDSI, 1978-2008) 94

Tabla 5.13: Características de las sequías, considerando el PDSI, período 1978-2008 95

Índice de Figuras

Figura 1.1: Ilustración de las características físicas de la sequía: duración (D), severidad (S) e intensidad (I)..... 6

Figura 1.2: Ilustración de la característica espacial de la sequía. 6

Figura 3.1: Desfase temporal en la propagación de anomalías pluviométricas en los niveles del ciclo hidrológico 11

Figura 3.2: Secuencia de evolución de los diversos tipos de sequía operacional..... 15

Figura 3.3: Definición de las características de sequías usando PDSI, con nivel de referencia $X_0 = 0$ 16

Figura 3.4: Diagrama de flujo del SOS para detección, seguimiento y evaluación de las sequías agrícolas..... 18

Figura 3.5: Monitoreo espacial de la sequía agrícola en el noreste de Argentina (Oct. /1999, PDSI)..... 19

Figura 3.6: Zona afectada por sequía en Argentina y Chile, (Nov. /1993, NDVI)..... 20

Figura 3.7: Zona afectada por sequía en la cuenca del río Conchos, afluente del río Bravo, (1998, 1999)..... 20

Figura 3.8: Zona afectada por sequía en la zona sur de los Estados Unidos de América, abril de 2006. 21

Figura 3.9: Sistema Operativo para el OCPN, caso piloto Cuenca del río Culiacán 22

Figura 3.10: Impacto de la sequía en la sociedad, reconstrucción mediante el PDSI 23

Figura 3.11: Efecto de la sequía en la generación de energía eléctrica 23

Figura 3.12: Determinación de escenarios probables por sequía, mediante RN aplicado a los PDSI..... 24

Figura 3.13: Superficies de temporal sembradas vs siniestradas por sequía (Sinaloa, 1980-2007) 25

Figura 3.14: Difusión en la prensa local, de la afectación de la sequía estival (Sinaloa, 2009) 25

Figura 3.15: Superficies siniestradas por incendios forestales, en el estado de Sinaloa, 1978-2008..... 26

Figura. 4.1: Localización de la zona en estudio (cuenca y acuífero del río Culiacán) 34

Figura 4. 2. Territorio del Consejo de Cuenca de los ríos Mocorito al Quelite 34

Figura 4.3.- Cuenca y acuífero del río Culiacán, con los volúmenes anuales importados y exportados..... 35

Figura 4.4. Cuencas en la zona en estudio..... 36

Figura 4.5.- Estados y municipios en la zona en estudio. 37

Figura 4.6: Ilustración del tipo de clima en la zona en estudio. 38

Figura.4.7.- Bosquejo descriptivo de los diferentes tipos de sequías e impactos que genera.....	40
Figura.4.8.- Descripción del modelo conceptual de la zona en estudio	41
Figura 4.9: Localización de las estaciones climatológicas seleccionadas.....	45
Figura 4.10: Localización de pozos piloto en el acuífero del río Culiacán.....	47
Figura 4.11: Resumen de la base de datos de la zona en estudio y los índices que se estiman.	48
Figura 4.12: Clasificación de rangos de valores del SPI y su paleta de colores definida para este trabajo.....	54
Figura 4.13: Clasificación de rangos de valores del PDSI; con escala cromática definida para este trabajo.	55
Figura 5.1: Isoyetas medias anuales (mm), en la cuenca del río Culiacán, período 1978-2008.....	61
Figura 5.2: NCPM, estación Culiacán, período 1978-2008.	62
Figura 5.3: NCTMM (en °C), estación Culiacán, período 1978-2008.....	63
Figura 5.4: Climograma para la estación Culiacán, período 1978-2008.....	64
Figura 5.5: La NCPMA vs la PMA para diferentes años en la estación Culiacán, período 1978-2008.....	64
Figura 5.6: Anomalías de precipitación (en mm) para la estación Culiacán, período 1978-2008	65
Figura 5.7: Anomalías de precipitación (en %) para la estación Culiacán, período 1978-2008	66
Figura 5.8. A: La NCPMA3H, (Culiacán,1978-2008). Figura 5.8. B: La NCPMA3S, (Culiacán, 1978-2008).	67
Figura 5.9: Isoyetas de NCPMA3Hdel año 1984, considerado húmedo para la cuenca del río Culiacán.....	67
Figura 5.10: Isohietas de la NCPMA3Hdel año 1999, considerado seco para la cuenca del río Culiacán.....	68
Figura 5.11: VIA (hm ³) a la presa Varejonal Vs. la PPA de la subcuenca del río Humaya.....	69
Figura 5.12: VIA (hm ³) a la presa Sanalona Vs. la PPA de la subcuenca del río Tamazula	69
Figura 5.13: Déficit de volúmenes de ingreso anuales a la presa Varejonal, período 1978-2008.....	70
Figura 5.14: Volúmenes de ingreso anuales a la presa Varejonal, período 1978-2008.....	70
Figura 5.15: Déficit de volúmenes de ingreso anuales a la presa Sanalona, período 1978-2008.	71
Figura 5.16: Volúmenes de ingreso anuales a la presa Sanalona, período 1978-2008.....	71
Figura 5.17: Número de incendios forestales, registrados en el estado de Durango, período 1978-2008.....	72
Figura 5.18: Número de incendios forestales, registrados en el estado de Sinaloa, período 1978-2008.....	72
Figura 5.19: Superficie (has) afectada por incendios forestales en el estado de Durango, (1978-2008)	73
Figura 5.20: Superficie (has) afectada por incendios forestales en el estado de Sinaloa, período 1978-2008.....	73
Figura 5.21: Superficies de temporal sembradas vs siniestradas por sequía, (P-V, Sinaloa, 1980-2007)	74
Figura 5.22: Superficies de temporal sembradas vs siniestradas por sequía, (P-V, Durango, 1980-2007).....	74
Figura 5.23: Superficie de riego sembradas vs siniestradas por sequía, (P-V, Durango, 1980-2007).	74
Figura 5.24: Superficie de riego sembradas vs siniestradas por sequía, (P-V, Sinaloa, 1980-2007).....	75
Figura 5.25: El SPI1 de la estación Culiacán, período 1978-2008.....	76
Figura 5.26: El SPI3 de la estación Culiacán, período 1978-2008.	77
Figura 5.27: El SPI6 de la estación Culiacán, período 1978-2008.....	79
Figura 5.28: El SPI12 de la estación Culiacán, período 1978-2008	80
Figura 5.29: El SPI3 de la estación El Varejonal, período 1978-2008	81
Figura 5.30: El SPI12 de la estación El Varejonal, período 1978-2008.....	83
Figura 5.31: El SPI3 de la estación Sanalona, período 1978-2008.....	84
Figura 5.32: El SPI12 de la estación Sanalona, período 1978-2008	85
Figura 5.33: Variabilidad de la sequía en la cuenca del río Culiacán, septiembre de 1999, SPI3	89
Figura 5.34: Variabilidad de la sequía en la cuenca del río Culiacán, septiembre del 2000, SPI3.	90
Figura 5.35: Variabilidad de la sequía en la cuenca del río Culiacán, septiembre del 2001, SPI3.....	90
Figura 5.36: Variabilidad de la sequía en la cuenca del río Culiacán, septiembre del 2002, SPI3.	91
Figura 5.37: Variabilidad de la sequía en la cuenca del río Culiacán, septiembre del 2002, SPI12.....	92
Figura 5.38: El PDSI de la estación Culiacán, período 1978-2008.....	93
Figura 5.39: El PDSI de la estación El Varejonal, período 1978-2008	94
Figura 5.40: El PDSI de la estación El Sanalona, período 1978-2008.....	95
Figura 5.41: Variabilidad de la sequía en la cuenca del río Culiacán, septiembre de 1999, PDSI.....	96
Figura 5.42: El Índice de Humedad de Cultivo (CMI), estación Culiacán, período 1978-2008.....	97
Figura 5.43: Variabilidad de la sequía en la cuenca del río Culiacán, septiembre de 1999, CMI.	98
Figura 5.44: Imagen obtenida por diferencia entre la imagen promedio y la de octubre de 1999.....	99
Figura 5.45: El NDVI para el mes de abril de 2000, el color rojo indica las zonas con probable sequía.....	100
Figura 5.46: Relación entre el volumen de ingreso mensual a la presa Varejonal y el SPI12, (1978-1994)	101
Figura 5.47: Relación entre los volúmenes de ingreso mensual a la presa Adolfo López Mateos y el SPI12.....	102
Figura 5.48: Volúmenes de extracción de aguas subterráneas en el acuífero río Culiacán, (1998-2008).....	103
Figura 5.49: Efecto de la sequía en el acuífero del río Culiacán, período 1984-2008	104
Figura 5.50: Monitoreo temporal de la sequías en la estación Culiacán, SPI3, período 1978-2008	105
Figura 5.51: Monitoreo espacial de la sequías para la cuenca del río Culiacán, (SPI3, 1978-2008).....	106
Figura 5.52: Monitoreo temporal y espacial de la sequía, mediante la NCPMA y el SPI3, año 2009.....	107
Figura 5.53: Monitoreo temporal y espacial de la sequía en la cuenca, (NCPMA, SPI3; ene-mar, 2010)	108



Figura 5.54: Aplicación de la redes neuronales a los índices de sequía SPI3 del período 1978-2009 109

Figura 5.55: Evaluación de escenarios por sequía en la cuenca, (RN, SPI3, 12/2009-04/2010)..... 110

Figura 5.56: Valoración de la evaluación de escenarios probables por sequía, a 1, 2 y 3 meses. 111

Figura 5.57: Propuesta de un Sistema de monitoreo de sequías, aplicado a la cuenca del río Culiacán. 112

Figura 5.59: Esquema del SOMEPS aplicado a la cuenca del río Culiacán 114

Figura 5.60: Componentes de un plan de atención de sequías, aplicable a la cuenca del río Culiacán 115

Figura 5.61: Niveles de detonantes y acciones de respuesta de acuerdo a la fase de sequía y al plan..... 116

Figura 5.62: Síntesis de planes de acción a implementar de acuerdo a la fase de sequía 116

Figura 5.63: Programa de Gestión del Agua para Mitigar los Efectos de la sequía en la cuenca del río Culiacán.. 117

Figura 5.64: Diagrama de la conformación de los grupos activos de acción para la gestión del agua. 117

Figura 5.65: Esquema que muestra los escenarios por sequía, conforme a su intensidad 118

Figura 5.66: Esquema del papel del Consejo de Cuenca en la participación social e institucional. 118

Figura 5.67: Lista de responsables de realizar las acciones consensuadas del programa de sequías. 119

Figura 6.1: Conclusiones principales de la caracterización y evaluación de escenarios por sequía. 123

1. INTRODUCCIÓN

Las condiciones extremas en el clima siempre han afectado a la humanidad, principalmente a quienes trabajan en el campo. Periodos de secas han resultado en cosechas pobres y, en muchas ocasiones, en hambruna y migraciones masivas; también la ganadería, la pesca, la generación de energía eléctrica, las comunicaciones y el suministro de agua subterránea, se ven afectadas por las variaciones del sistema climático (IPCC, 2008). Incluso la salud humana puede reflejar los efectos negativos de condiciones meteorológicas extremas. Por ello, resulta fundamental tener un mejor entendimiento de los mecanismos que controlan el clima, para así planear y tomar decisiones en materia de producción agrícola, ganadera y pesquera, o en materia de protección civil. (Magaña *et al.*, 2000).

Uno de los eventos climatológicos extremos más perjudiciales es la sequía, la cual recurrentemente azota alguna parte del planeta tierra; cuando estas son intensas y prolongadas generan fuertes pérdidas en las actividades agrícolas, ganaderas e industriales con consecuencias sociales y económicas conexas, como son la inseguridad en los suministros alimentarios e importantes pérdidas económicas (Ravelo, 2008).

Por otra parte, la sequía a medida que crece la demanda de agua para los diferentes usos y se reduce la oferta, combinada con la contaminación y una escasa cultura del agua, impacta más en el ámbito económico, social y ambiental (Postel, 1991; Velasco, 2002).

En México, las variaciones que el clima manifiesta año con año están en gran medida determinadas por la ocurrencia de los fenómeno *El Niño/La Niña* (Magaña y Quintanar, 1997). La sequía, fenómeno recurrente en este país, se manifiesta con mayor incidencia en la porción norte del país (Magaña, 2000), debido a que es más vulnerable a su ocurrencia (Velasco, 2002). En la zona del Pacífico Norte, que incluye al estado de Sinaloa, la estadística de lluvias define claramente los períodos de baja precipitación, que pueden extenderse por cinco, seis y hasta siete años consecutivos, como la ocurrida durante el período 1997-2004 (OCPN, 2008).

Por otro lado, debido al cambio climático se incrementará el riesgo a las sequías con la consecuente disminución de la disponibilidad del agua proveniente de fuentes superficiales y de pozos poco profundos que dependen de la variabilidad estacional e interanual del caudal fluvial (IPCC, 2008). Esta afectación es debido, por un lado a que el flujo subterráneo en acuíferos poco profundos forma parte del ciclo hidrológico y resultaran afectados en los procesos de recarga (Chen *et al.*, 2002); y por otro lado, por la intervención humana (Petheram *et al.*, 2001).

La falta de datos y la reacción extremadamente lenta de los sistemas freáticos al carácter variable de la recarga hacen que no se hayan observado cambios relacionados con el clima respecto al agua subterránea (IPCC, 2008); así mismo, en las áreas costeras el aumento del nivel del mar agravaría las limitaciones de los recursos hídricos, debido a una mayor salinización de los suministros de agua subterránea (IPCC, 2007).

Si bien hasta el momento no existen mecanismos que puedan evitar la ocurrencia de sequías, es posible, mediante el análisis de datos climáticos, meteorológicos e hidrológicos, obtener información que permita preparar planes de contingencia en el caso de ocurrencia de sequía. Un sistema de monitoreo, seguimiento y evaluación de las sequías puede proveer valiosa información para la planificación de acciones de alerta temprana y mitigación de los fenómenos de sequía (Velasco, 2002; Ravelo, 2008).

QUÉ ES LA SEQUÍA (DESCRIPCIÓN DEL FENÓMENO)

La sequía es uno de los fenómenos naturales más complejos (CEISS, 2004), se origina de la deficiencia en la precipitación (escasa o nula) sobre un periodo extendido de tiempo (Velasco, 2002; NDMC, 2005; Ruiz, 2007; Ravelo, 2008), tiene un inicio lento, y demora meses o aún años en desarrollarse. Puede afectar una región grande, causando pocos daños estructurales (GIONBC, 2004), tiende a tener un impacto más lento en las condiciones de salud debido al efecto en la oferta alimentaria de las poblaciones afectadas y en la disponibilidad de agua potable (DIRND, 1997).

La deficiencia en la precipitación, resulta en déficit de agua para alguna actividad, grupo o sector ambiental. Otros factores climáticos como alta temperatura, fuerte viento y baja humedad relativa, están a menudo asociados con la sequía.

Es importante destacar que existe una gran diferencia entre sequía y aridez. La aridez está relacionada con regiones en donde la baja precipitación es una característica permanente del clima, mientras que la sequía es una anomalía temporal que puede suceder en casi todas las zonas climáticas (Velasco, 2002; Ravelo, 2007). Asimismo, no debe confundirse una estación normalmente con bajas o nulas precipitaciones con la ocurrencia de un periodo con sequía. Los comienzos de una sequía son poco perceptibles pero una vez establecida puede identificarse por sus impactos negativos sobre la producción de cultivos, las malas condiciones de pastoreo, el mayor riesgo de incendios debido a la acumulación de materia seca y la aceleración de la desertificación por la pérdida de cobertura vegetal en terrenos fácilmente erosionables.

CÓMO SE FORMAN

Las causas de la sequía no se conocen con precisión, pero se admite que en general se deben a alteraciones de los patrones de circulación atmosférica, que a su vez están ocasionados por el desigual calentamiento de la corteza terrestre y de las masas de vapor de agua, manifestados en fenómenos como *El Niño*; también la quema de combustibles fósiles, la deforestación, el cambio de uso del suelo y la actividad antropogénica en general contribuyen a la modificación de la atmósfera y con ello a los patrones de precipitación. (Velasco, 2002). Si a las variaciones atmosféricas se añaden los cambios en el uso del suelo, los efectos negativos en el medio ambiente se pueden amplificar, resultando en falta de humedad en los terrenos agrícolas y forestales (Magaña, 2000).

Entre las causas más relevantes para que se produzca la sequía se mencionan las siguientes: las manchas solares que alteran la cantidad de energía que llega a la superficie de la Tierra; las alteraciones en la circulación de los vientos generados por modificación en el albedo superficial o por cambios en la temperatura superficial de los océanos; como consecuencia, el fenómeno se debe a una compleja interacción de todos estos factores, cuyo resultado final es que las sequías son inevitables, impredecibles y de consecuencias cada vez más espectaculares e impactantes (Magaña, 2000; Crespo, 2005; Ruiz, 2007; Velasco, 2008).

En nuestro país el fenómeno *El Niño* tiene serias repercusiones. En general se puede decir que las lluvias de invierno se intensifican y las de verano se debilitan. En la zona centro y norte del país se incrementan los frentes fríos en invierno, en tanto que en verano aparece la sequía y disminuyen el número de huracanes en el Atlántico, Mar Caribe y Golfo de México (Magaña et al., 1998).

En el campo de la hidrología, la sequía ha sido poco estudiada, por lo complejo que resulta y por los múltiples factores que son causa y efecto de la misma (Torrain, 1973). Se ha llegado a mencionar que la sequía es un "no evento" (Hershfield et al., 1973), debido a que su ocurrencia, sobre todo en su inicio, no es fácilmente detectable como tal, sino que más bien se le reconoce por los efectos que tiene.

Aun cuando las sequías pueden presentarse en cualquier tiempo y en cualquier lugar, existen áreas especialmente susceptibles al fenómeno, básicamente definidas por la latitud: de acuerdo con los patrones naturales de circulación atmosférica, a partir de la línea del ecuador y en dirección a ambos polos, de forma alterna se presentan las franjas de baja presión y las de alta presión atmosférica. Estas últimas, son las de los vientos descendentes y secos, que no proporcionan lluvias, alrededor de los 30° Norte y Sur, y en los polos (Linsley, et. al., 1977).

México tiene gran parte de su territorio en la zona o franja de latitud norte de alta presión, por lo que estas áreas son áridas o semiáridas.

Dichos patrones se ven afectados por otros factores importantes en la distribución atmosférica de la humedad, como son la orografía, la cercanía a las grandes masas de agua como los océanos, la influencia de las grandes corrientes marinas, y, en las últimas décadas, la cobertura vegetal y el cambio en el uso del suelo por las actividades del hombre.

En estas regiones la radiación solar es tal, que es un factor más para que la escasa humedad disponible escape a la atmósfera en forma de vapor de agua y acuse más el déficit hídrico; de hecho en éstas áreas, es tan precario el equilibrio ecológico que se tiene el enorme riesgo de que, al crecer las actividades humanas y haber una mayor demanda de agua, al no satisfacerse ésta en forma natural, se hace un uso cada vez más intenso de los escasos recursos disponibles, agravándose a tal grado que al romperse el equilibrio, el resultado es la desertificación acelerada de regiones que antes mantenían un límite razonable a las zonas de aridez total (Landsberg, 1975; Hare, 1985)

DEFINICIÓN DE SEQUÍA ADOPTADA

Ante la pregunta: ¿qué es sequía?, las respuestas pueden ser múltiples, dependiendo desde el ángulo que se vea. Muchos investigadores han dado sus propias definiciones, de acuerdo a su particular punto de vista, y por lo mismo, es difícil la propuesta y aceptación de una definición que cubra todos los complejos aspectos del fenómeno. El fenómeno es tan complejo y tiene tan diversas facetas (GriggyVlachos, 1993), que de hecho, no existe una definición precisa del fenómeno, universalmente aceptada, sino que existen tantas definiciones como interesados o afectados existan (Bonacci, 1993).

Quizás la definición más breve y general, dada por la American Meteorological Society (Palmer, 1965), es: "Sequía es un periodo de tiempo caracterizado por un prolongado y anormal déficit de humedad".

La definición de sequía que más nos permiten precisar de manera aproximada el ámbito en el que se pretende tratar este tema, y que se ha adoptado para este trabajo es:

"La sequía es un fenómeno natural que ocurre cuando la precipitación y la disponibilidad del agua en un periodo de tiempo y en una región dados, es menor que el promedio histórico registrado, y cuando esta deficiencia es lo suficientemente grande y prolongada como para dañar las actividades humanas" (Velasco, 2002).

Otras definiciones de sequía se ilustran en el capítulo siguiente.

Debe diferenciarse que, de acuerdo a los estudios hechos y a los puntos de vista y formación de quien los realiza, existen varios tipos de sequía, entre los que figuran como los más importantes los siguientes (Escalante, 2000; Velasco, 2002, Ravelo 2007):

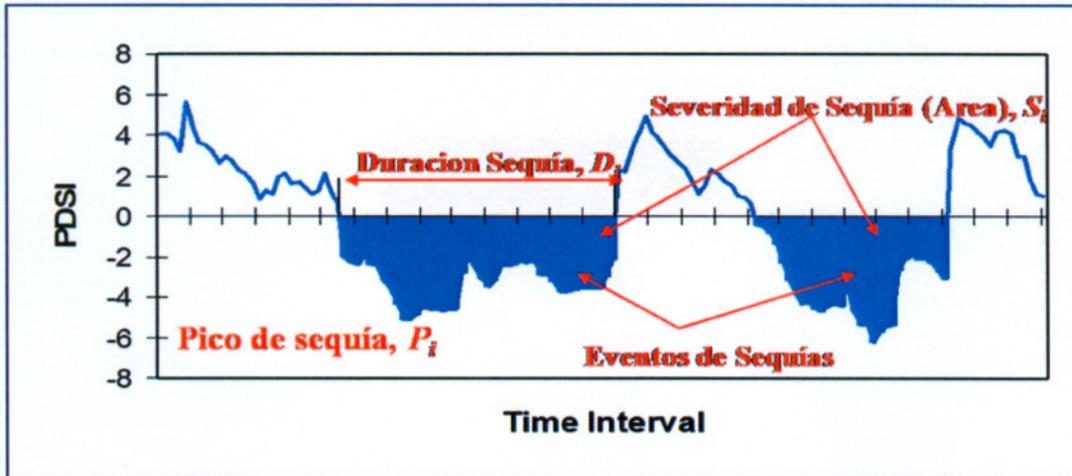
- ♦ **Atmosférica:** también llamada **meteorológica**, caracterizada por una baja humedad ambiental, acompañada por altas temperaturas, y frecuentemente con presencia de fuertes vientos y precipitación nula o muy baja.
- ♦ **Agrícola:** básicamente caracterizada por la escasa, mínima o nula disponibilidad de agua en la zona de raíces de las plantas, lo que ocasiona que no alcancen a desarrollarse o producir frutos.
- ♦ **Hidrológica:** referida esencialmente a la baja en los niveles o caudales de almacenamientos y corrientes superficiales, así como al abatimiento de los niveles de los acuíferos.

CARACTERÍSTICAS DEL FENÓMENO

Para mitigar los efectos de la sequía, lo más conveniente es tomar medidas preventivas, para ello es necesario caracterizarla y con base en ello analizar los escenarios probables que se pudieran presentar ante la disminución o ausencia de la precipitación, de los escurrimientos superficiales, de la disminución de los volúmenes almacenados en las presas, abatimiento de niveles estáticos de los acuíferos y deterioro de la calidad del agua en cuencas y acuíferos.

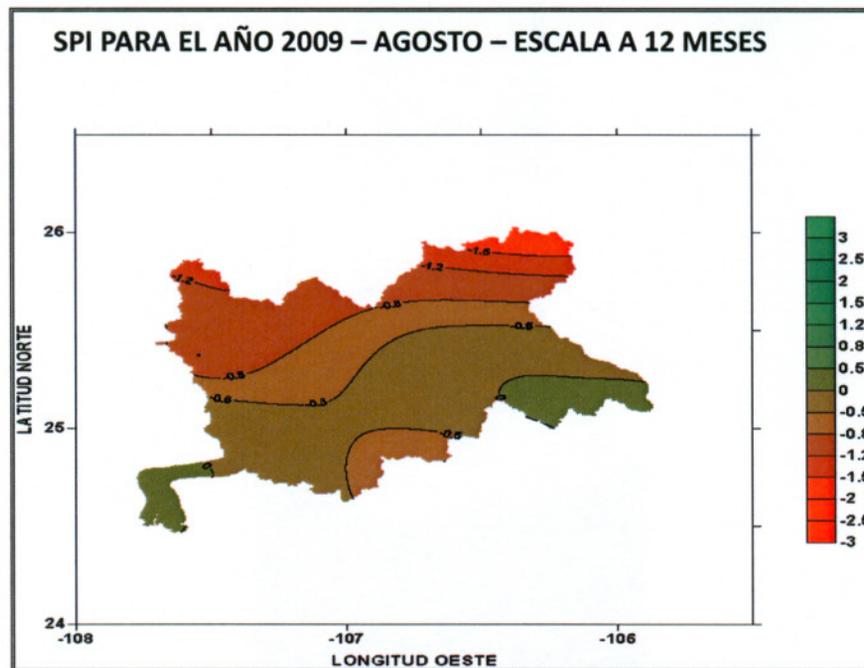
De acuerdo con la Figura 1.1, la duración (D) de la sequía está en función, entre otros factores, del llamado nivel de truncamiento [X_0], referencia a partir de la cual los valores menores representan una deficiencia y probablemente una sequía, medida en términos de la cantidad de lluvia, escurrimiento, etc. Otros dos parámetros importantes del fenómeno son la severidad (S) y la magnitud o intensidad (I); el primero se refiere al déficit acumulado en todo el periodo, y el segundo al déficit por unidad de tiempo (meses o años); además, la sequía es un fenómeno que abarca amplias extensiones geográficas, sin una dirección o trayectoria definida y sin epicentro (Velasco, 2002; Ravelo, 2007, 2008), Figura 1.2.

Figura 1.1: Ilustración de las características físicas de la sequía: duración (D), severidad (S) e intensidad (I).



Velasco, 2002: pág.

Figura 1.2: Ilustración de la característica espacial de la sequía.



Ravelo, 2008: pág.

VULNERABILIDAD

Con respecto a este punto, se puede decir que: “La vulnerabilidad a la sequía está en relación inversa al grado de desarrollo social y económico de las áreas afectadas”; es por ello que en los países pobres o en desarrollo, una sequía genera hambre, desastre y más pobreza, sin

posibilidades de mitigar los estragos. Desde luego, existen áreas más vulnerables a la sequía, que además de definirse por su situación geográfica, también están caracterizadas por la densidad demográfica y la intensidad de la actividad económica, es decir por la relación oferta-demanda (Postel, 1991; Velasco, 2002).

IMPORTANCIA DEL FENÓMENO EN LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN LA CUENCA

De manera particular, en el ahora Organismo de Cuenca Pacífico Norte (OCPN) encargado de administrar el agua en esta región, se han enfrentado en la historia reciente varios periodos secos, el más actual y representativo es el ocurrido de 1995 a 2002 (siete años) (OCPN, 2008). Esto ha puesto de manifiesto la necesidad de contar con recursos humanos calificados y herramientas tecnológicas apropiadas para enfrentar las consecuencias y afectaciones a la población y sus actividades productivas, particularmente la agricultura, de trascendental relevancia en la zona.

Por lo anterior, se plantea la necesidad de contar con un Sistema Operativo para la identificación, caracterización, monitoreo y evaluación de escenarios de sequías, mediante modelación, que le permita elaborar planes y/o programas estratégicos de gestión del agua, encaminadas a plantear y ejecutar medidas de contingencia y mitigación de los impactos generados por las sequías (OCPN, 2006; Ravelo, 2007).

En este esquema, atendiendo el espíritu de la Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento en lo relativo a la administración del recurso hídrico y al Programa Nacional Hídrico 2007-2012 en su Objetivo 6, estrategia 9 "Formular planes de prevención que permitan enfrentar en mejores condiciones los periodos de sequías y apoyar su implementación", se considera necesaria la participación de los tres órdenes de gobierno, instituciones de investigación y educación y en especial, la de los usuarios del recurso agua.

En consecuencia, el OCPN, preocupado por la inminente ocurrencia de este evento en los próximos años, ha considerado la creación y la puesta en marcha de un plan y un programa de gestión integral del agua en periodos de escasez para mitigar los efectos de la sequía, en los sectores económico, social y ambiental; para ello como zona piloto, se ha seleccionado a la cuenca y acuífero del río Culiacán (OCPN, 2006).

Para crear e implementar dicho plan, es necesario primeramente caracterizar la ocurrencia de la sequía en esta zona mediante índices, y evaluar mediante una metodología correcta, la disminución de los volúmenes de agua precipitados, escurridos y almacenados en las presas; para



que a partir de este punto podamos “predecir” con cierto grado de probabilidad de ocurrencia, cuál será la evolución de la sequía y podamos analizar escenarios futuros de escasez de agua.

HIPÓTESIS

La utilización de información bio-física (meteorológica, climática, hidrológica, agrícola, entre otros) con métodos apropiados permite identificar y evaluar la ocurrencia de sequías en la cuenca del río Culiacán y establecer las bases para una gestión integrada de sus recursos hídrico

2. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Caracterizar a la cuenca y acuífero del río Culiacán mediante índices de sequía con la finalidad de realizar la toma de decisiones más eficientes en un contexto de gestión integral del agua en tiempos de escasez.

OBJETIVOS PARTICULARES

1. Caracterizar conceptualmente los diversos tipos de sequías que inciden en la cuenca y acuífero del río Culiacán.
2. Utilizar índices de sequía (SPI y PDSI) para el monitoreo temporal y espacial considerando los registros de las estaciones meteorológicas de la cuenca, el acuífero del río Culiacán y áreas circundantes.
3. Evaluar escenarios de ocurrencia de sequías a 1, 2 y 3 meses, mediante el uso de redes neuronales e índices de sequía.
4. Analizar las relaciones entre un índice de sequía y los volúmenes de escurrimiento, volúmenes de almacenamiento en las presas y los niveles estáticos, en la cuenca y el acuífero del río Culiacán.
5. Establecer las bases metodológicas para el diseño de un Sistema de Monitoreo, Evaluación y Pronóstico de Sequías en el Organismo de Cuenca Pacífico Norte.

3. ANTECEDENTES

3.1 Planteamiento del problema

Desde hace varias décadas, la variabilidad en el régimen de lluvias en la Región III Pacífico Norte ha sido notorio: se han **intensificado la presencia de sequías** y la ocurrencia de precipitaciones de gran intensidad y poca duración. Aunque hasta el momento no se tiene la certeza si tales circunstancias obedecen al fenómeno de cambio climático o si solo son parte de la variabilidad normal del clima, o qué tanto a nivel local ha afectado a los microclimas la construcción de grandes obras hidráulicas y el cambio del uso del suelo.

Durante las sequías la reducción en la precipitación mensual o anual se refleja en la disminución de los volúmenes de escurrimiento en los ríos, y de ingreso y almacenamiento en las presas, así como en la recarga a los acuíferos existentes en el Organismo de Cuenca Pacífico Norte, con los consecuentes impactos económicos, ambientales y sociales, generando efectos negativos en la agricultura y la ganadería (PHR 2000-2006, 2007-2012).

3.2 Métodos de análisis

Como resultado de la revisión bibliográfica, se tiene lo siguiente: Existen muchos artículos, que presentan diversas herramientas metodológicas creadas para cuantificar los diferentes tipos de sequía existentes: meteorológicas, agrícolas, hidrológicas y socioeconómicas, haciéndose notar la dificultad de utilizar el mismo umbral de déficit pluviométrico en dos lugares diferentes, debido a la diversidad climática existente en el planeta, (Valiente, 2006).

Definiciones y tipos de sequía

La sequía es un fenómeno natural tan complejo que no tiene una definición única universal, si no que depende de quién y para que se defina; existen diversos autores (entre ellos: Escalante, 2000; Marcos, 2001; Velasco, 2002; Ravelo, 2007) que han realizado un buen compendio de clasificación y definición de sequías, por ejemplo Marcos (2001), las clasifica en definiciones conceptuales o enciclopédicas a aquellas que no establecen umbrales de referencia, ni toman en cuenta la realidad climática del lugar afectado; y en definiciones operacionales a las que precisan el momento de inicio, finalización e intensidad de la sequía, las cuales requieren de un conocimiento más detallado de las variables meteorológicas y climáticas, así como de disponer de una base de datos registrados y conformados en series de diferentes escalas, según el nivel de detalle que se requiera: decenal, mensual, estacional, anual u otras.

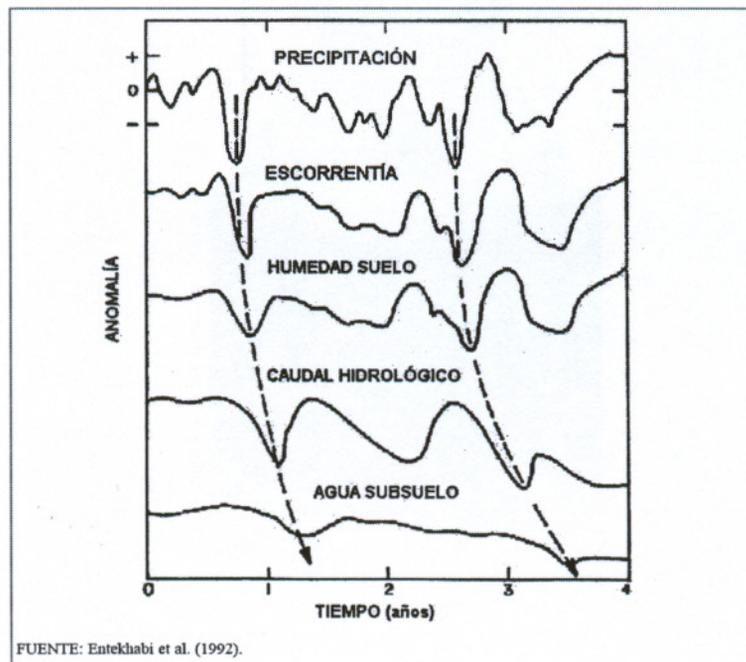
Existen más de 150 definiciones operacionales de sequía (Wilhite y Glantz, 1985), las cuales categorizaron en cuatro grupos, según la disciplina científica desde la que se analizó: sequía meteorológica, sequía agrícola, sequía hidrológica y sequía socioeconómica; existen otras clasificaciones, pero ésta es la conceptualmente mejor sustentada.

A continuación se describen algunos comentarios sobre las relaciones entre los diferentes tipos de sequía (Escalante, 2000; Marcos, 2001; Velasco, 2002; Ravelo, 2007):

La sequía agrícola que depende, además de las condiciones meteorológicas, de las características biológicas del cultivo y las propiedades del suelo, no es equivalente a la sequía meteorológica. Si los niveles de humedad en el subsuelo son suficientes para proporcionar agua a un determinado tipo de cultivo durante el período que dure la sequía meteorológica, no llegará a producirse una sequía agrícola.

A diferencia de la sequía agrícola, que tiene lugar poco tiempo después de la meteorológica, la sequía hidrológica puede demorarse durante meses desde el inicio de la escasez pluviométrica (Figura 3.1), o si las lluvias retornan en poco tiempo, no llegan a manifestarse. Por lo tanto, la secuencia temporal es: sequía meteorológica, a continuación sequía agrícola y posteriormente sequía hidrológica.

Figura 3.1: Desfase temporal en la propagación de anomalías pluviométricas en los niveles del ciclo hidrológico



Entekhabi et al., 1992:

En la Tabla 3.1, se muestran ejemplos de las definiciones de sequía más representativas o conocidas conforme a la clasificación antes mencionadas, así como las condiciones que las caracterizan.

Tabla 3.1: Ejemplos de definiciones de sequía conforme a la clasificación de Wilhite y Glantz (1985).

GRUPO	DEFINICIÓN	CONDICIONES
Sequía meteorológica	Palmer (1965): "Intervalo de tiempo, generalmente con una duración del orden de meses o años, durante el cual el aporte de humedad en un determinado lugar cae consistentemente por debajo de lo climatológicamente esperado o del aporte de humedad climatológicamente apropiado".	Basada en datos climáticos, es una expresión de la desviación de la precipitación respecto a la media durante un periodo de tiempo determinado. En la mayoría de los casos, es imposible extrapolar la definición de sequía meteorológica de una región a otra.
Sequía agrícola	Kulik (1962): "Período durante el cual sólo hay 19 mm de agua disponible en los primeros 20 cm de suelo".	Se produce cuando no hay suficiente humedad en el suelo para permitir el desarrollo de un determinado cultivo en cualquiera de sus fases de crecimiento. No es posible establecer umbrales de sequía agrícola válida para un área geográfica.
Sequía hidrológica	Linsley et al. (1975): "Período durante el cual los caudales son inadecuados para satisfacer los usos establecidos bajo un determinado sistema de gestión de aguas".	Se refiere a una deficiencia en el caudal o volumen de aguas superficiales o subterráneas (ríos, embalses, lagos,...). Al producirse un desfase entre la escasez de lluvias o nieves y la reducción del caudal de río o el nivel de lagos y embalses, las mediciones hidrológicas no pueden ser utilizadas como un indicador del inicio de la sequía, pero sí de su intensidad.
Sequía socioeconómica	Havens (1954): "Escasez de precipitaciones tan cuantiosa y continuada como para afectar dañinamente a la vida animal y vegetal de un lugar, y para reducir las reservas de agua para usos domésticos y para el funcionamiento de plantas energéticas, especialmente en aquellas regiones donde la lluvia es normalmente suficiente para tales necesidades". Velasco (2002): "La sequía es un fenómeno natural que ocurre cuando la precipitación y la disponibilidad del agua en un periodo de tiempo y en una región dados, es menor que el promedio histórico registrado, y cuando esta deficiencia es lo suficientemente grande y prolongada como para dañar las actividades humanas".	Se produce cuando la disponibilidad de agua disminuye hasta el punto de producir daños (económicos o personales) a la población afectada por la escasez de lluvias. Para hablar de sequía socioeconómica no es necesario que se produzca una restricción del suministro de agua, sino que basta con que algún sector económico se vea afectado por la escasez hídrica.

Valiente, 2006

La capacidad de gestionar los recursos hídricos hace que la sequía hidrológica dependa, además del volumen de agua existente en los vasos de las presas, lagos y acuíferos, de la forma en que se emplea el agua embalsada.

La presión social, cada vez más creciente, sobre el recurso agua hace que cada vez sea mayor la incidencia de la sequía socioeconómica, con pérdidas económicas crecientes, incluso en caso de una sequía meteorológica leve.

En términos generales, la sequía socioeconómica sucede a la agrícola, pero en regiones menos desarrolladas o subdesarrolladas, donde este sector tiene un mayor peso en la economía, y su incidencia es más directa e inmediata que en regiones desarrolladas, la sequía agrícola constituye en sí misma el inicio de la sequía socioeconómica.

En el caso de la sequía socioeconómica, son tan determinantes la magnitud y la duración del evento de sequía como la forma en que la economía y la sociedad desarrollan sus actividades, ya que determinadas acciones incrementan la vulnerabilidad a la escasez de precipitaciones. En función de esa vulnerabilidad, los efectos de la sequía sobre la economía y la sociedad, medidos en forma de pérdidas materiales, población afectada o pérdida de vidas humanas, adquirirán mayor o menor relevancia, llegando a configurar situaciones en las que la sequía es considerada una catástrofe.

Por esta parte, debe tenerse presente que la sequía puede apreciarse desde diferentes puntos de vista, y en esto al menos podemos distinguir tres (Beran and Rodier, 1985):

- ♦ El del *científico*, a quien le interesa probar teorías y metodologías para caracterizar el fenómeno y plantearlo desde un riguroso punto de vista analítico
- ♦ El *tomador de decisiones* o responsable de un sistema hidráulico, preocupado por tener soluciones inmediatas, viables y confiables, para satisfacer los requerimientos de sus diversos usuarios de una manera que no se creen conflictos y que se asegure la permanencia de la fuente de abastecimiento al nivel tal que pueda garantizarse el suministro mínimo al menos por un período razonable.
- ♦ El *usuario común* del agua, de cualquier tipo, a quien le preocupa quedarse sin agua para satisfacer sus necesidades, independientemente de lo que les suceda a los demás.

Conciliar estos tres esquemas es una labor ardua y difícil de lograr, por no decir que imposible, y es uno más de los problemas que se aumentan a los de por sí graves del puro fenómeno natural

Algunos de los factores que se toman como indicadores del fenómeno son los siguientes (Palmer, 1965; Beran y Rodier, 1985), ya sea que ocurran en forma simultánea o progresiva:

- ♦ Precipitación menor que un determinado valor en un período corto dado (v.g. 5 mm en 48 horas)
- ♦ Períodos con baja precipitación, fuertes vientos, baja humedad relativa y altas temperaturas.
- ♦ Humedad aprovechable en el suelo menor que un valor determinado, de acuerdo con su capacidad de retención y requerimientos de las plantas.
- ♦ Lluvia mensual sensiblemente menor que la que se ha presentado como promedio histórico en el mismo período.
- ♦ Agua disponible menor a las necesidades por satisfacer, ya sea en presas, ríos, acuíferos, etc.
- ♦ Baja sensible en agua y alimento disponibles para animales domésticos, así como de agua para riego.

Métodos cuantitativos de caracterización de la sequía

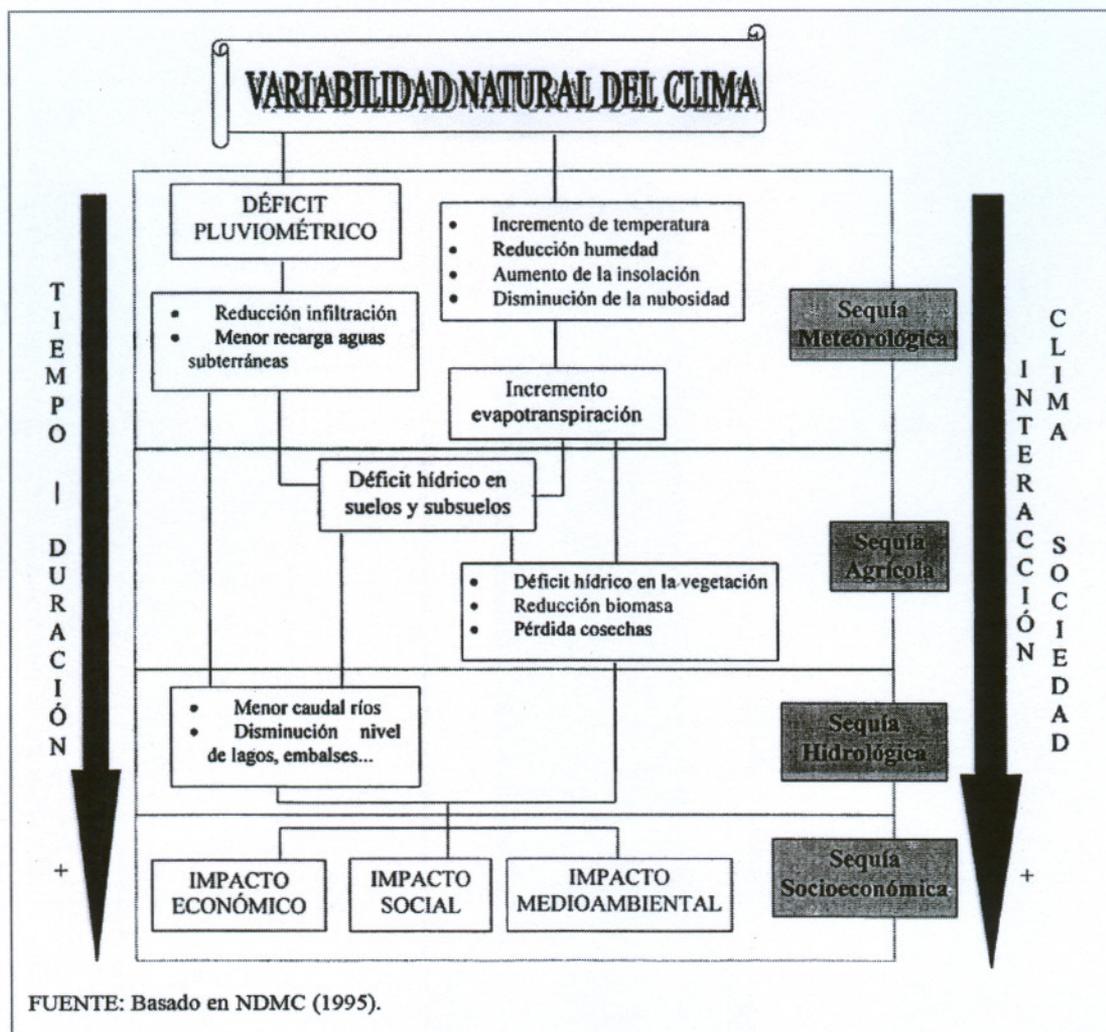
Los cuatro tipos de sequía analizados anteriormente, reflejan un proceso de evolución de la sequía, determinado tanto por la variabilidad natural del clima, como por la duración del evento, y por la interacción entre clima y sociedad (Figura 3.2). Cada tipo de sequía es cuantificado para poder establecer la magnitud y duración del período de escasez de precipitación, pero la diversidad de definiciones existentes, determina la existencia de numerosos métodos de cuantificación, los cuales buscan mediante un formato numérico poder precisar las características de las sequías.

¿Qué componentes nos permiten definir una sequía?

Desde el punto de vista antrópico, que es el que determina que un evento extremo de la naturaleza de los períodos de escasez de precipitación se convierta en un riesgo natural, Burton *et al.* (1978) definen siete parámetros para caracterizar la sequía: uno independiente (magnitud), cuatro temporales (duración, frecuencia, velocidad de implantación y espaciado temporal) y dos espaciales (extensión y dispersión temporal).

Para cuantificar cada uno de estos parámetros es necesario aplicar cálculos matemáticos para establecer detalladamente en qué medida ha habido déficit pluviométrico y cuales son los límites temporales del período de sequía.

Figura 3.2: Secuencia de evolución de los diversos tipos de sequía operacional.



NDMC, 1995

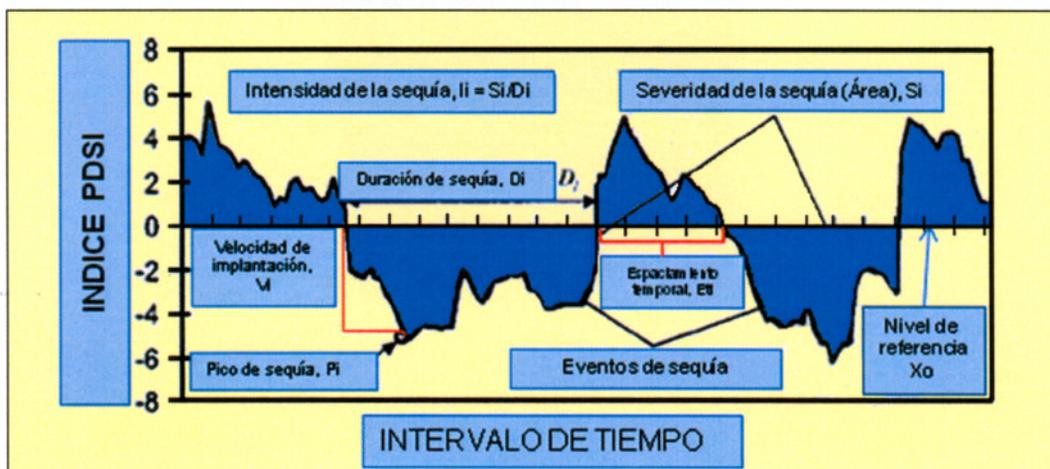
Conforme a los trabajos realizados sobre sequías meteorológicas (Dracup *et al.*, 1980) e hidrológicas (Martin-Vide, 1998), cada parámetro puede definirse y ser medido de forma individual, como puede observarse en otros trabajos de interés (Escalante y Reyes, 2000; Velasco, 2002, Ravelo, 2007):

- La **magnitud** es el déficit medio de precipitación o caudal durante el período de duración de la sequía, y puede medirse como la anomalía (en porcentaje %) o la diferencia (en valor absoluto) de precipitación o caudal para el período seleccionado.

- otro parámetro importante de la sequía y que es consecuencia de la relación de dos variables básicas, como son la magnitud y la duración es la **severidad**, definida como el déficit acumulado de caudal o precipitación para la duración de la sequía.
- La **duración** es el tiempo (número total de días, meses o años consecutivos) durante el cual la precipitación o el caudal totales registrados son inferiores a la precipitación o el caudal medio de ese mismo período.
- De acuerdo con Dracup *et al.* (1980), para un mismo período los parámetros de magnitud, severidad y duración, están relacionados por la expresión: $\text{Magnitud} = \text{Severidad} / \text{Duración}$.
- La **frecuencia** es el número de casos que se producen durante un período determinado. También, puede medirse a través de la probabilidad empírica de que la precipitación o caudal sean inferiores a la media, o del período de retorno del evento de sequía definido como el intervalo medio de tiempo dentro del que puede esperarse que ocurra una sequía de determinada magnitud.
- La **velocidad de implantación** es el tiempo transcurrido entre el momento de inicio del déficit de precipitación o caudal, y el momento en que ese déficit alcanza su valor máximo.
- El **espaciamiento temporal** es el tiempo transcurrido entre diversos períodos de sequía, lo que proporciona una medida de la regularidad o aleatoriedad del fenómeno. Este parámetro proporciona una primera aproximación a la previsibilidad de la sequía.
- La **extensión** es la superficie total en la que se registra déficit hídrico.
- La **dispersión espacial** es la medida del grado de difusión o concentración de la anomalía de caudal o de precipitaciones.

Los parámetros anteriormente definidos se muestran en la Figura 3.3.

Figura 3.3: Definición de las características de sequías usando PDSI, con nivel de referencia $X_0 = 0$.



Métodos de cuantificación de sequías

Existen una gran variedad de índices y ecuaciones dedicadas a caracterizar los eventos de sequía en sus parámetros más relevantes: magnitud o severidad y duración, considerando el tipo de sequía; en las Tablas 3.2A, 3.2.B, 3.2.C y 3.2.D del Anexo 9, se muestra un concentrado de los principales índices meteorológicos, hidrológicos, agrícolas y socioeconómicos, su autor, año de creación, características y condiciones de aplicación.

Sobre la bondad y los defectos, ventajas y desventajas, de los diversos métodos de cuantificación de las sequías se han escrito múltiples artículos (Bowles *et al.*, 1980; Alley, 1984; Karl, 1986; Raynal, 1988; Soule, 1992; Meyer y Hubbar, 1995; NDMC, 1996; Meshcherskaya y Blazhevich, 1997; Byun y Wilhite, 1999; NDMC, 1999; Escalante, 2000; Velasco, 2002; Ravelo, 2007, otros).

Existen una gran variedad de índices, desde lo más simples como el cálculo del porcentaje de la precipitación respecto a la media para una determinada escala temporal, hasta los más complejos, como el PDSI de Palmer; todos ellos con la intención de ser universales; aún sin embargo, algunos no son aplicables en determinados lugares del mundo, como los elaborados por W.C. Palmer (PDI, CMI).

Entre todos los índices anteriormente mencionados, se han seleccionados el SPI, PDSI, CMI y NDVI, para aplicarlos en la caracterización y evaluación de sequías en la cuenca y acuífero del río Culiacán, motivo de este trabajo; el SPI a diferentes escalas de tiempo, para tratar de representar los tres tipos de sequía que más inciden en la región como son los meteorológicos, agrícolas e hidrológicos (tanto en aguas superficiales como subterráneas); el PDSI, para cuantificar los parámetros de las sequías meteorológicas y agrícolas, utiliza datos mensuales; el CMI, aplicable a las sequías agrícolas, requiere de datos semanales o decenales; y el NDVI, para auxiliar en la caracterización espacial de la sequía, también a corto plazo.

Una breve descripción de cada método con respecto a su fundamentación, pros, contras y aplicaciones, se presentan en el subcapítulo 4.4.2.3, en lo correspondiente al punto "Aspectos metodológicos y software utilizados", específicamente de los puntos 4.4.2.3.2 al 4.4.2.3.5; y en los Anexos 8 y 9.

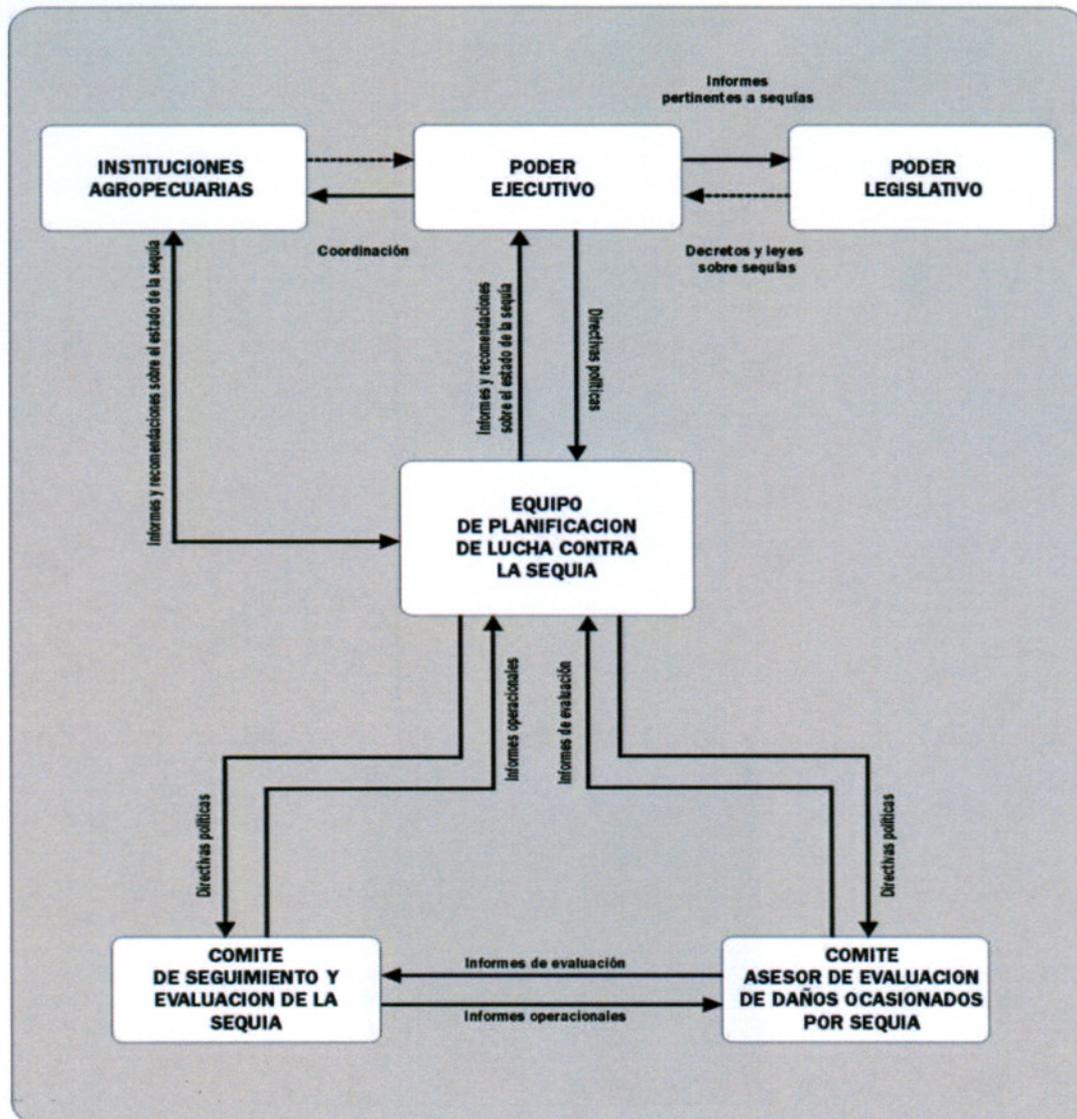
3.3 Ejemplos de sistemas operativos de sequías

Los sistemas operativos de monitoreo y evaluación de sequías (SOS) son programas de computación que generan índices, mapas y gráficos de sequía en forma automatizada, con la

finalidad de hacer más eficiente la determinación de sus características y evaluación, tanto temporal como espacialmente. A continuación, se muestran algunos ejemplos:

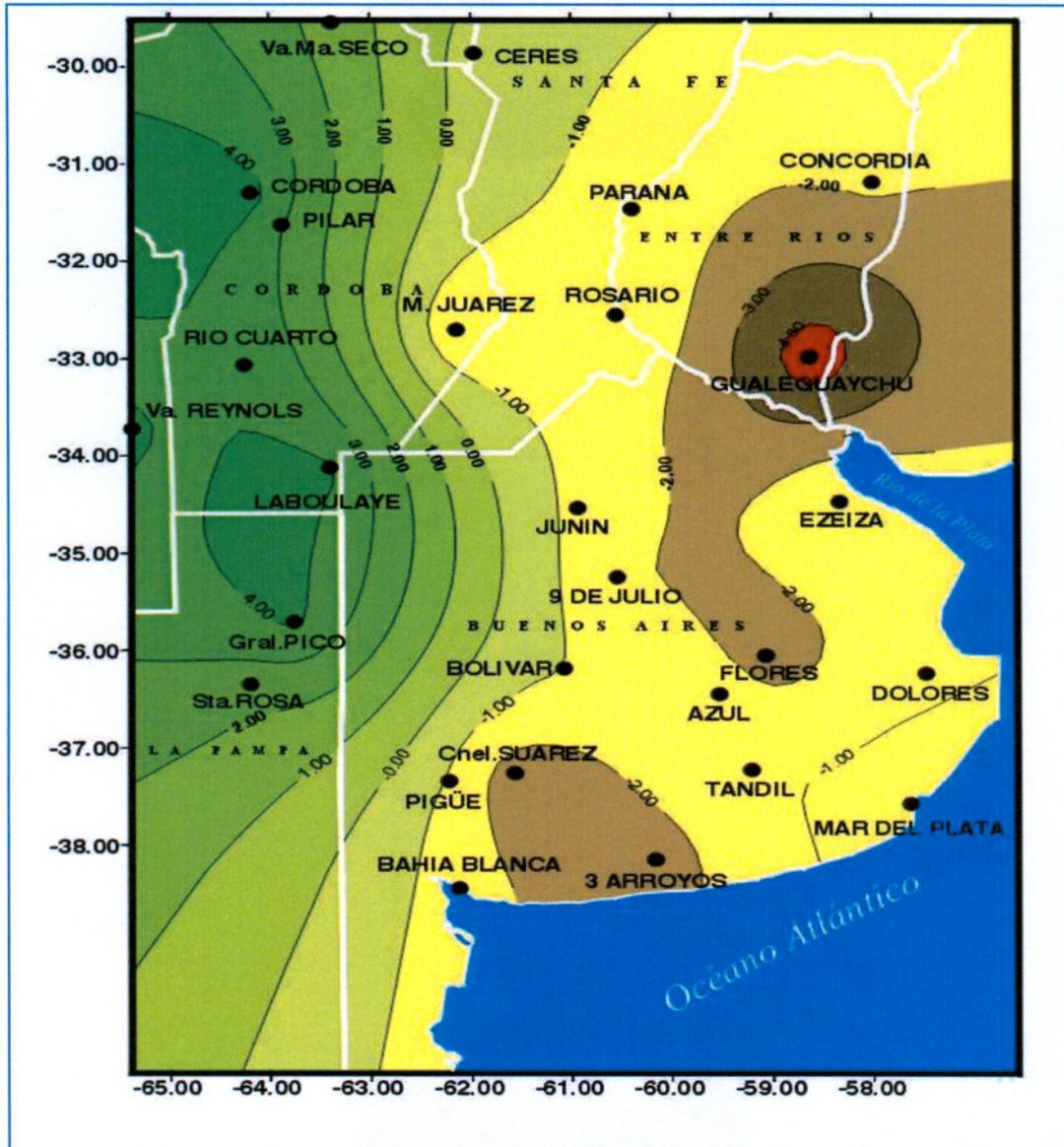
Sistema operativo de Sequías para el monitoreo y evaluación de las sequías en Argentina (Ravelo, 2007), se muestra el diagrama de flujo de la información y una imagen del monitoreo, Figuras 3.4 y 3.5, respectivamente.

Figura 3.4: Diagrama de flujo del SOS para detección, seguimiento y evaluación de las sequías agrícolas.



Ravelo, 2007

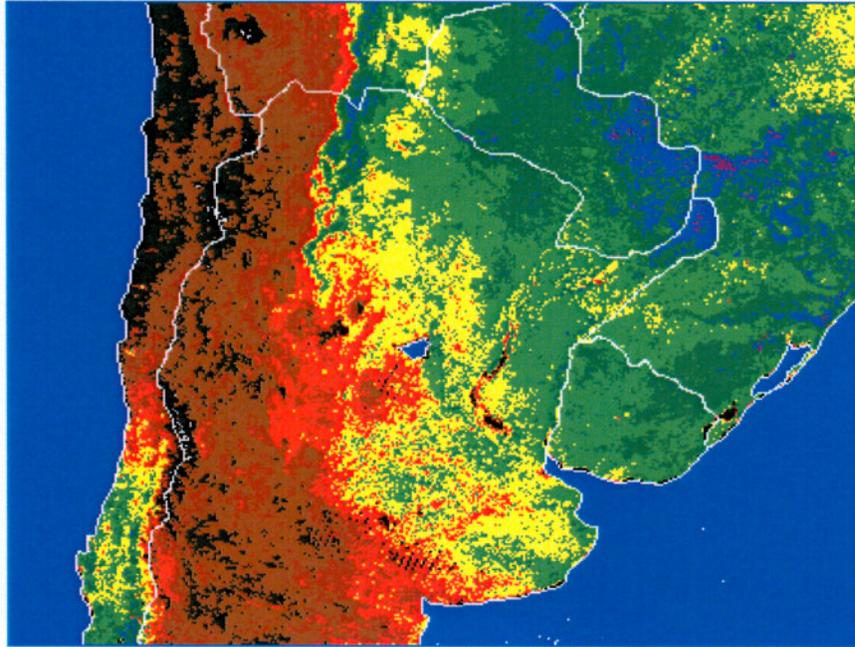
Figura 3.5: Monitoreo espacial de la sequía agrícola en el noreste de Argentina (Oct. /1999, PDSI).



Ravelo, 2007

También, existen sistemas de monitoreo de sequías por imágenes satelitales, que son programas de computación como el WinDisp 5.0, que utilizan imágenes SPOT Vegetation para identificar anomalías en la cobertura vegetal; en la Figura 3.6, se muestra un ejemplo de su aplicación.

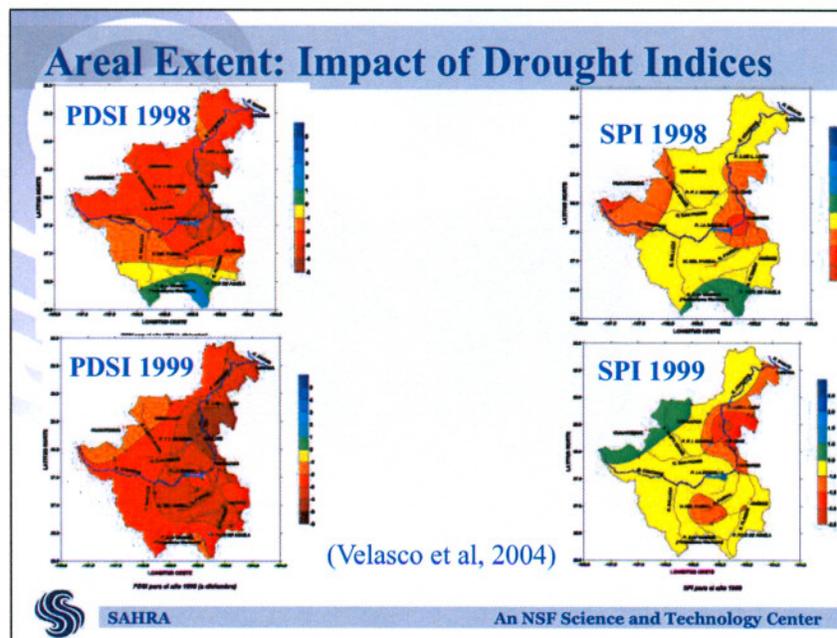
Figura 3.6: Zona afectada por sequía en Argentina y Chile, (Nov. /1993, NDVI).



Ravelo, 2007

Otro ejemplo, es el monitor de sequías, utilizado para evaluar las sequías en las cuencas tributarias del río Bravo, mediante los índices PDSI y SPI (Velasco, 2004), Figura 3.7.

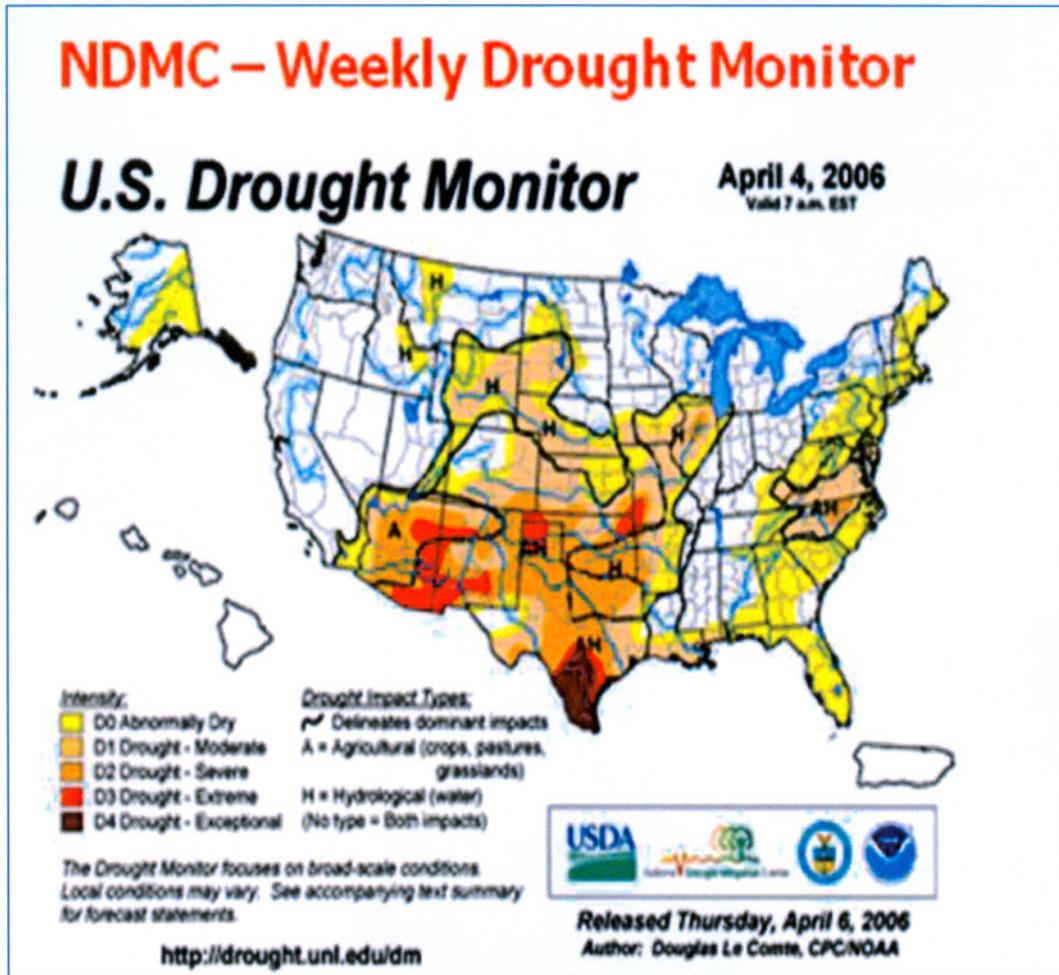
Figura 3.7: Zona afectada por sequía en la cuenca del río Conchos, afluente del río Bravo, (1998, 1999).



Valdés, 2005

Otro importante monitor de sequía, es el U.S. Drought Monitor, desarrollado por el NDMC- Weekly Drought Monitor, el cual utiliza varios índices para monitorear las sequías en los Estados Unidos de América; para mayor información visitar la página de internet <http://drought.uni.edu/dm>. y <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/Drought/>, ver Figura 3.8.

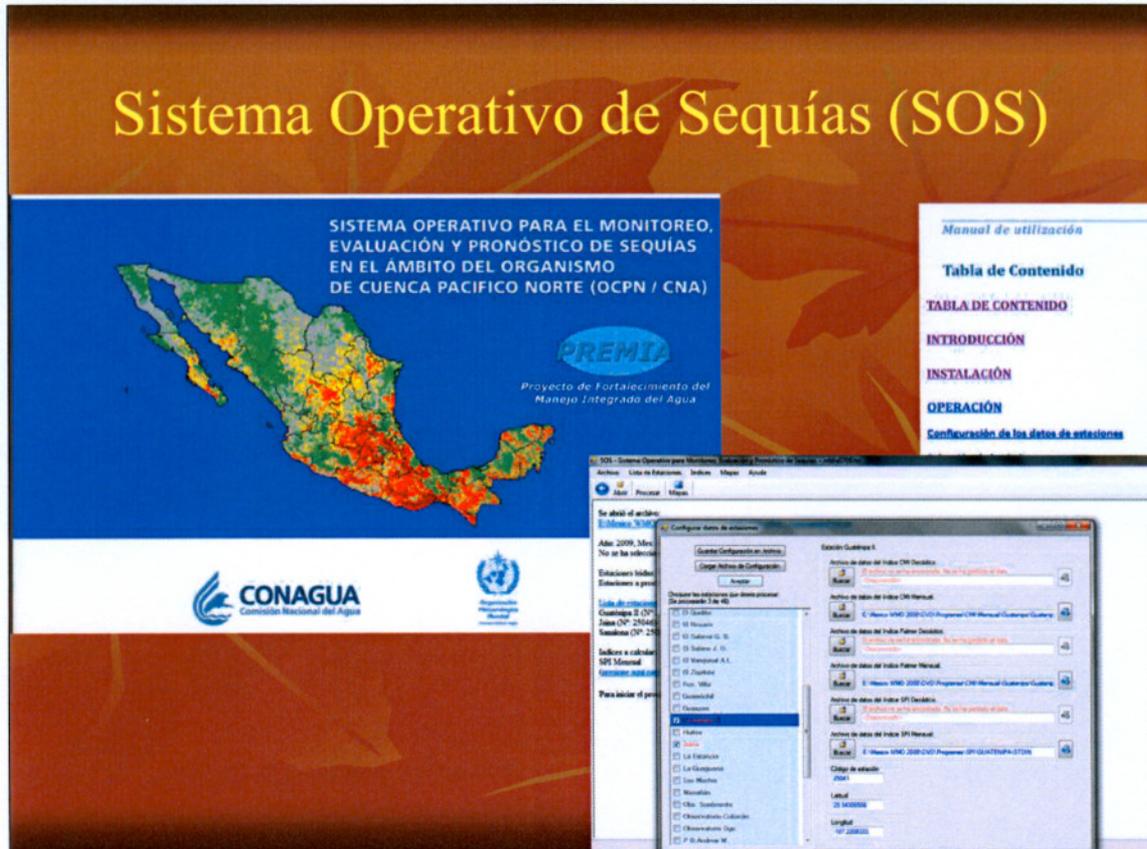
Figura 3.8: Zona afectada por sequía en la zona sur de los Estados Unidos de América, abril de 2006.



Mitchell, 2007

Durante el año 2008, se desarrolló el sistema operativo para el monitoreo, evaluación y determinación de escenarios probables por sequías en el ámbito del Organismo de Cuenca Pacífico Norte (OCPN/CNA), bajo el Proyecto de Fortalecimiento del Manejo Integrado del Agua (PREMIA), en coordinación Organización Meteorológica Mundial (OMM) y Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), tomando como zona piloto a la cuenca del río Culiacán (Ravelo, 2008), Figura 3.9. Actualmente, este sistema se encuentra en etapa experimental.

Figura 3.9: Sistema Operativo para el OCPN, caso piloto Cuenca del río Culiacán

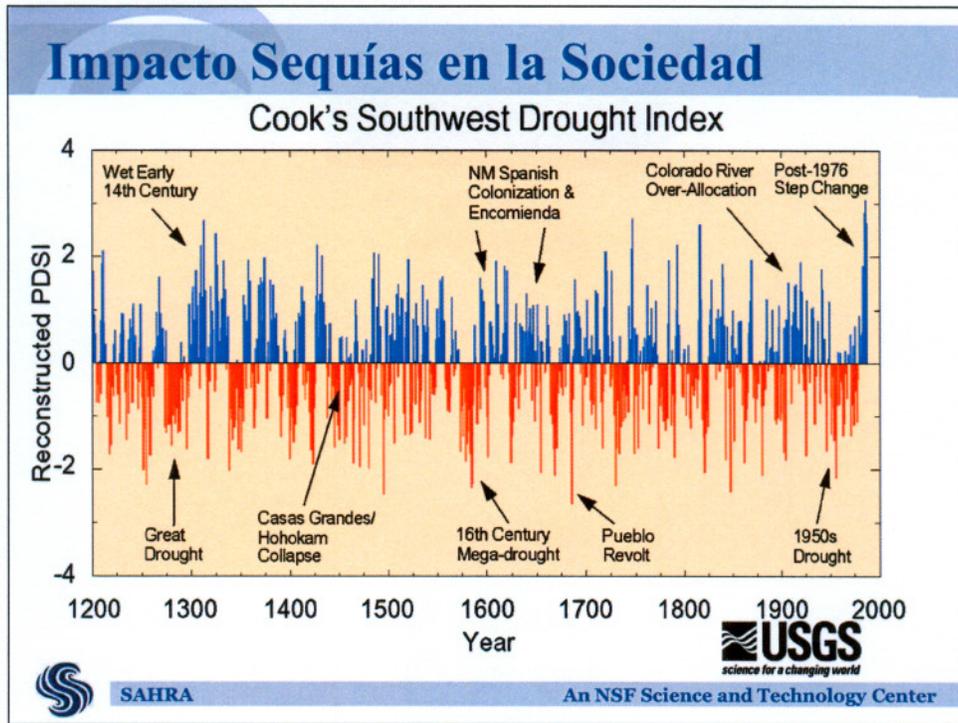


Ravelo, 2008

3.4 Importancia del monitoreo, evaluación y determinación de escenarios por sequías

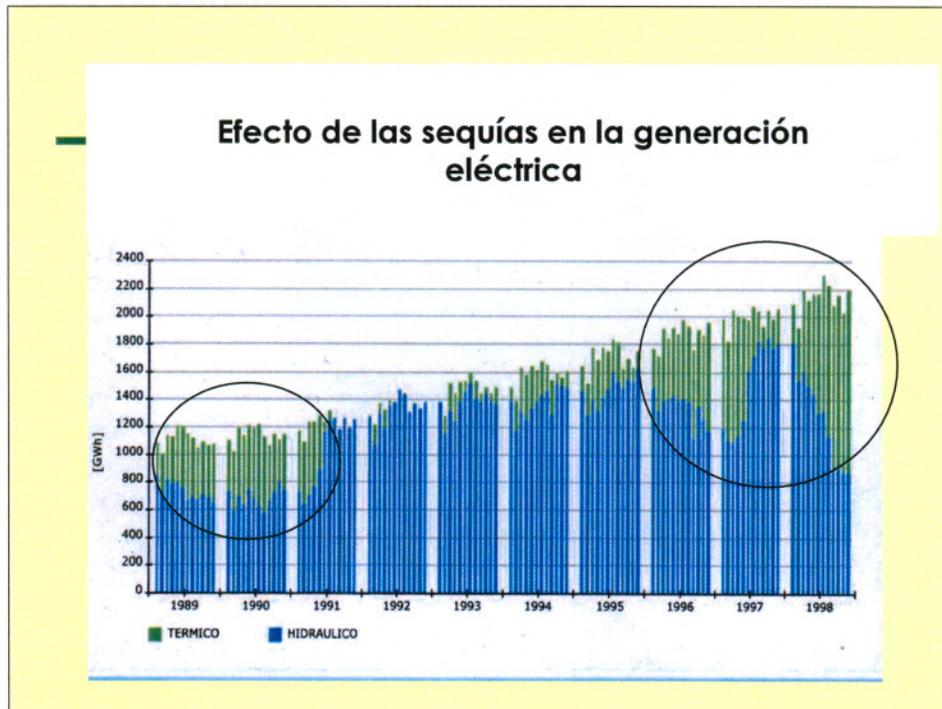
Como se ha mencionado anteriormente, las sequías han ocasionado pérdidas económicas millonarias, de miles de cabezas de ganado, miles de hectáreas de cultivo siniestradas, tanto de temporal como de riego, incendios forestales, están asociada a la deforestación, bajas excesivas en la generación de energía hidroeléctrica, y pérdidas de vidas humanas (Figuras 3.10 y 3.11); así mismo la mejor manera de mitigar sus efectos es la prevención, para ello es necesarios generar planes de atención de sequías (Velasco, 2002; Ravelo, 2007), basado en el monitoreo, evaluación y determinación de escenarios probables por sequía.

Figura 3.10: Impacto de la sequía en la sociedad, reconstrucción mediante el PDSI



Valdés, 2005

Figura 3.11: Efecto de la sequía en la generación de energía eléctrica

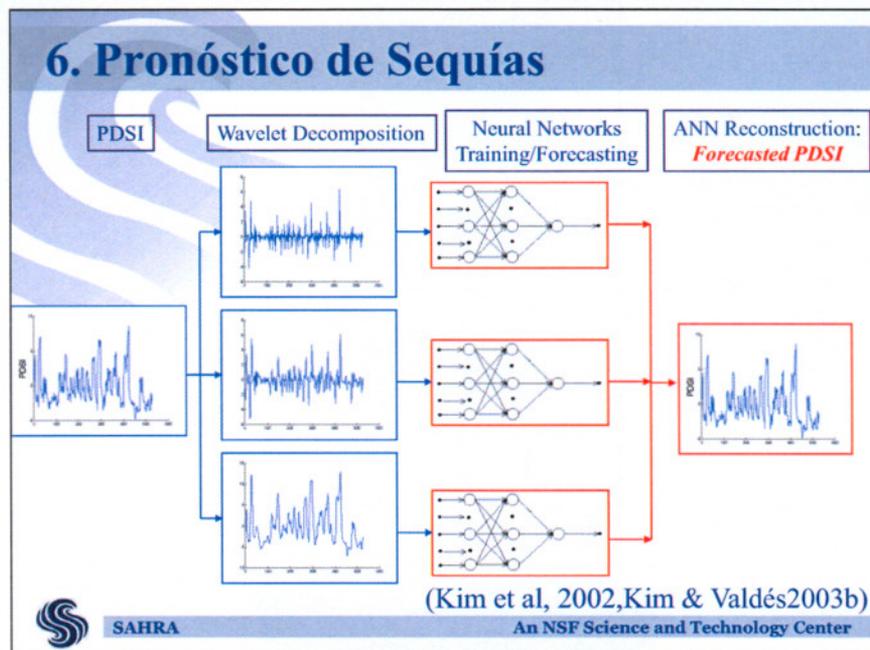


Ravelo, 2007

Existen dos formas de determinar los escenarios probables por sequía: una es mediante la aplicación de redes neuronales (RN) y la otra mediante la aplicación del índice normalizado de la diferencia de cultivos de sequía NDVI asociado a las normales climatológicas de precipitación.

El sistema de redes neuronales consiste en un programa de computación para la determinación de escenarios probables por sequía a 1, 2 y 3 meses, considerando que entre más nos alejemos en el tiempo el pronóstico es más impreciso. La técnica de redes neuronales, ha sido aplicada en el cono sur (Ravelo, 2007), en el norte de México (Kim *et al.*, 2002), así mismo existen otros trabajos relativos a la utilización de modelos no paramétricos en la estimación de períodos de retorno de sequías en regiones áridas (Kim *et al.*, 2003); y la aplicación de modelos no lineales para el pronóstico de sequías basado en redes neuronales (Kim and Valdés, 2003), ver Figura 12.

Figura 3.12: Determinación de escenarios probables por sequía, mediante RN aplicado a los PDSI.



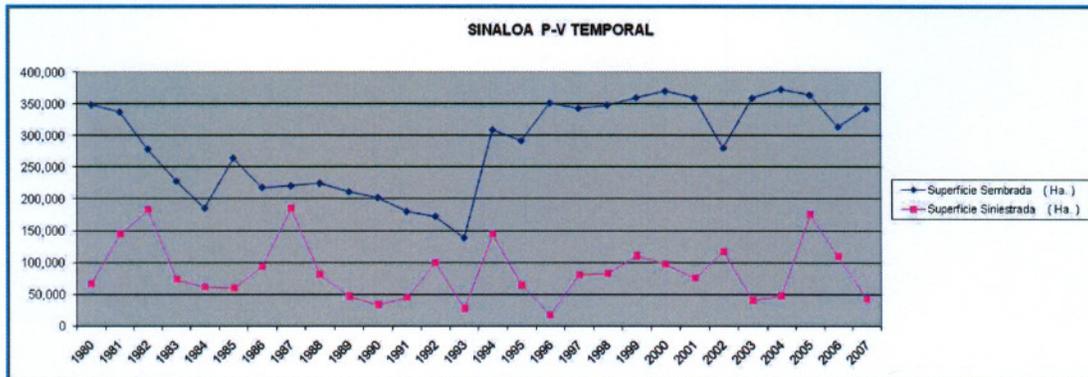
Kim et al., 2002

3.5 Principales efectos en la región

En Sinaloa, durante el período de 1977 a 1980, la sequía ocasionó pérdidas de más de 50 mil millones de pesos en los diferentes usos del agua; en otro período posterior 1988-1994, el sector ganadero registró una pérdida de 35,559 cabezas de ganado, además de la disminución en peso de 800 mil cabezas, lo que provocó la venta masiva de ganado al 50% de su precio normal. La grave sequía también provocó serias repercusiones en la ocupación de campesinos que según estimaciones dejaron de percibir alrededor de 300 mil jornales directos. Se estima que 20 mil campesinos abandonaron sus tierras.

En el año de 1999, de acuerdo a la Comisión Nacional del Agua se dejaron de sembrar 215 mil hectáreas de riego en el ciclo primavera-verano debido a este mismo problema. Durante ese mismo año 68 localidades de los altos de Sinaloa con un total de 64,235 habitantes tuvieron problemas en el suministro de agua potable, por lo que los gobiernos estatal y federal ejercieron la cantidad de 28.242 millones de pesos para la construcción de obras de abastecimiento y suministro de agua en dichas localidades, ver Figuras 3.13 y 3.14.

Figura 3.13: Superficies de temporal sembradas vs siniestradas por sequía (Sinaloa, 1980-2007)



Fuente: OIEDRUS, Secretaria de agricultura del estado de Sinaloa.

Figura 3.14: Difusión en la prensa local, de la afectación de la sequía estival (Sinaloa, 2009)



debate.com.mx., 30/05/2009: pág. principal.

Aunado a lo anterior, en el ámbito del OCPN existen otros problemas ocasionados por la disminución de lluvias que no han sido cuantificadas apropiadamente, entre ellas están: la mortandad de ganado, devastación de áreas forestales por el fuego, aumento de concentración de contaminantes en el suelo, degradación de la calidad del agua, disminución de la generación de energía hidroeléctrica, reducción de las actividades recreativas y de pesca en presas, diques y lagunas, tandeo de agua en ciudades, entre otros, Figura 3.15.

Figura 3.15: Superficies siniestradas por incendios forestales, en el estado de Sinaloa, 1978-2008



Fuente: OIEDRUS, Secretaría de agricultura del estado de Sinaloa

3.6 Importancia del análisis de escenarios

El análisis de escenarios, permite tomar medidas apropiadas para la mitigación de los efectos de la sequía en la cuenca y en el acuífero del río Culiacán.

Los balances generales de agua, tanto superficiales como subterráneos, parten de los valores medios en cuanto a precipitación, escurrimiento por los ríos, volúmenes de ingreso a las presas, recarga al acuífero, el volumen comprometido anual o gasto ecológico, evapotranspiración, descargas al mar, entre otros; por lo tanto las disponibilidades de aguas son sobre valores medios y los valores comprometidos también; por esta razón, cuando se presenta una sequía, la cual produce precipitaciones, escurrimientos, volúmenes de ingreso y almacenamientos en presas, y recargas a los acuíferos por debajo de lo normal, lo que necesariamente genera un déficit, el cual habrá que compensarlo de alguna manera o de alguna fuente.

En la zona en estudio, cuando ha ocurrido sequía, el primer déficit que se presenta es el de aguas superficiales y generalmente se compensa con la extracción de agua subterránea, exponiendo al acuífero a una sobreexplotación e intrusión salina en sus partes bajas.

Tener una idea cuantitativa de lo que puede ocurrir a uno, dos o tres meses es de gran utilidad, para planificar la extracción con políticas que tiendan hacia lo óptimo, ya que es preferible padecer varias sequías incipientes continuas que una severa o catastrófica.

Para el análisis de escenarios probables, es necesario contar con modelos de simulación dinámica en qué basarse para cuando tengamos que disponer de volúmenes adicionales de alguna fuente, saber en dónde extraer más agua, en dónde recortar los volúmenes de extracción, qué demandas atender, con qué prioridad.

En orden de afectación, es conveniente conocer los escenarios probables por sequía, enseguida los escenarios de volúmenes de ingreso a las presas, de volúmenes de almacenamiento, escurrimiento por los ríos, de valores de recarga al acuífero, de los volúmenes de extracción y sobretodo, escenarios de demanda, para que de una manera integral podamos satisfacer o reducir los volúmenes de extracción, de una manera consensuada a través del Consejo de Cuenca.

3.7 Mitigación de sequías (GIACA)

Ante la eventualidad de la ocurrencia de las sequías, en la zona en estudio, la mejor manera de mitigar sus efectos es mediante la prevención; para ello, partiendo de la evaluación de escenarios probables y a través del Consejo de Cuenca, es necesario definir un plan de atención de sequías que involucre la implantación de un programa de gestión integral del agua en tiempos de escasez, para mitigar los impactos económicos, ambientales y sociales de la sequía, en donde la sociedad juega un papel preponderante.

3.8 Difusión (Boletín, Página WEB)

Una vez establecido el sistema operativo de sequías para la zona en estudio, es conveniente conformar un boletín de sequías que permita informar a la sociedad sobre los avances del fenómeno, para que ésta tome sus debidas precauciones; el caso concreto del boletín de sequías para la cuenca del río Culiacán, este se publica mensualmente en la página Web de CONAGUA, Anexo H.

3.9 Trabajos realizados y métodos más usados

Entre los trabajos sobre sequías que se han realizado en México, el OCPN y la cuenca del río Culiacán, sobresalen los siguientes:

- ❖ Análisis univariado de frecuencias de sequías en la región noroeste del país, utilizando la función de distribución General de Valores Extremos y gastos medios diarios de diferentes

estaciones hidrométricas del OCPN, a diferentes duraciones, mediante los métodos de Momentos, Máxima Verosimilitud y Momentos de Probabilidad Pesada (Raynal, 1988, 1989, 1992, 1995; Raynal y Douriet, 1994).

- ❖ Identificación y análisis de sequías en la Región Hidrológica Número 10, Sinaloa, Carlos Escalante y Lilia Reyes (1998), presentan una técnica para la identificación de sequías que junto con un proceso de simulación de muestras sintéticas pretenden determinar el inicio, la duración y la terminación de las sequías hidrológicas basadas en técnicas de análisis de frecuencias de gastos mínimos anuales, tanto a nivel puntual como regional en sitios con escasa o nula información.
- ❖ Sequía Meteorológica, desarrollado por (Hernández *et al.*, 2000), determinan las áreas de México vulnerables a la sequía meteorológica en el período 1950-1980, mediante un índice de severidad, en condiciones actuales y según escenarios de cambio climático; utilizaron los modelos climáticos de circulación general GFDL-R30 (Geophysical Fluid Dynamics Laboratory) y CCC (Canadian Climate Center). Concluyeron que en todo el país no existen áreas que no sean afectadas por sequías meteorológicas y que ante el cambio climático habrá un aumento en la superficie del país en el cual aumenta el grado de severidad de la sequía.
- ❖ En Culiacán, Sinaloa, en mayo del año 2000, se desarrolló el Seminario Taller Internacional para el diseño de los parámetros de la sequía, en donde sus principales conclusiones fueron: proponer la formación de un Organismo Nacional para la Mitigación de la Sequía; iniciar el programa de control y atención de las sequías en el estado de Sinaloa, incorporar el parámetro de calidad del agua en la evaluación de la sequía, incorporar modelos de simulación de cantidad y calidad del agua, superficiales y subterráneas, y adoptar el índice de precipitación normalizada (SPI), como el adecuado para la caracterización, monitoreo y evaluación de sequías en el OCPN (GRPN, 2000).
- ❖ Uno de los puntos esenciales para contar con suficientes registros de datos meteorológicos e hidrológicos con gran longitud es el completar datos faltantes de una manera confiable; para ello se han desarrollado una gran cantidad de métodos, como el de homogeneidad de datos, valor medio, el inverso de la distancia, interpolación, entre otros, todos ellos con algún grado de error; recientemente Navarro y Losilla (2000), aplicaron redes neuronales para completar datos faltantes, obteniendo menor error que con otras técnicas.
- ❖ Los investigadores Shin y Salas, en el año 2000, realizaron un análisis regional de sequías basado en redes neuronales, cuyo objetivo fue el desarrollo de una tecnología para

analizar y cuantificar los patrones temporales y espaciales de las sequías meteorológicas basadas en datos de precipitación anual, usando algoritmos de redes neuronales no paramétricos.

- ❖ Velasco, en el año 2000, en el Proyecto TH-9920, propone una metodología para formular lineamientos de estrategia y planes de acción para afrontar sequías, aplicable a cuencas hidrológicas.
- ❖ En el año 2001, Dawson y Wilby, llevaron a cabo trabajos de modelación hidrológica usando redes neuronales artificiales (ANNs) en la modelación y pronóstico de avenidas. En su artículo muestran los principios básicos de la modelación por ANN, la arquitectura de trabajo de las redes y los algoritmos de entrenamiento. Discuten las relaciones entre los temas de la división y procesamiento de datos para la calibración y validación del modelo, las técnicas de estandarización de datos, y los métodos de evaluación del desarrollo del modelo ANN.
- ❖ Kim, Valdés y Aparicio (2002) llevaron a cabo el trabajo Frequency and Spatial Characteristics of Droughts in the Conchos River Basin, Mexico, en el cual usaron el índice de Severidad de Sequías de Palmer (PDSI), para determinar las características de sequías en la cuenca del río Conchos, tributario del río Bravo. Con las características temporales y espaciales de la sequía obtenidas mediante el PDSI crearon las curvas intensidad-área-frecuencia que puede ser útil para determinar la severidad de una sequía en la cuenca. El estudio muestra la ocurrencia de una sequía severa en la cuenca en los años noventa, la cual tiene asociado un período de retorno entre 80 y 100 años.
- ❖ Velasco (2002) en su tesis doctoral Plan de Preparación para Afrontar las Sequías en un Distrito de Riego, utiliza el índice SPI a diferentes escalas de tiempo para el monitoreo de las sequías en las cuencas de los ríos Conchos y San Pedro; así mismo, propone un plan de preparación para afrontar las sequías en el Distrito de Riego 05 Delicias, Chihuahua, compuesto de 10 fases. Además, para mejorar la eficiencia en el uso del agua en toda la región, recomienda formular y aplicar una operación conjunta de las aguas superficiales y subterráneas, restringiendo la extracción del agua del acuífero para garantizar su permanencia. También, recomienda la conformación de un Grupo Técnico Directivo, como máximo órgano del plan, que integre un equipo humano con capacidad para dar respuesta a las necesidades producto de la emergencia, resaltando el hecho que el monitoreo, evaluación y pronóstico son claves para que el análisis y la estrategia a seguir sean exitosas.

- ❖ En el año 2003, los investigadores Kim y Valdés, presentaron su trabajo A Nonlinear Model for Drought Forecasting based on Conjunction of Wavelet Transforms and Neural Networks. En él muestran los modelos que fueron aplicados en el pronóstico de sequías para el río Conchos, en México, tributario del río Bravo. Como resultado resaltan el hecho que la conjunción de ambos modelos mejora el pronóstico de sequías regionales mediante índices como el PDSI.
- ❖ En el desarrollo de los trabajos correspondientes a la tesis de maestría Impacto de las Sequías en el Estado de Sinaloa, dentro de la Actividad Agrícola y Ganadera (Martínez, 2006), identifica los impactos económicos con el apoyo del registro histórico recopilado en los anuarios estadísticos editados por INEGI, desde 1980 a 2003, y propone estrategias para prevenir o mitigar los efectos provocados por las sequías.
- ❖ The North American Drought Monitor (NADM) Workshop (2006, 2008), este monitor es de gran escala, aplicable a Canada, USA y México, usa varios índices para el monitoreo y evaluación de sequías; el inconveniente que tiene es que se elabora en Estados Unidos, para ello el país al que le interese algún producto lo debe de solicitar, no existe autonomía, y su gran escala no permite evaluar la sequía por cuenca.
- ❖ Morid *et al.*, (2007) desarrollaron el Trabajo Drought forecasting using artificial networks and time series of drought índices, en donde consideran al pronóstico como un componente crítico del riesgo de sequías, por lo que desarrollan un método para el pronóstico de sequías, usando redes neuronales artificiales (ANN) y los índices de sequía efectiva (EDI) y el índice estandarizado de precipitación (SPI), ambos por sus siglas en inglés, los índices para 1 a 12 meses fueron probados para una provincia de Irán; los mejores resultados los arrojó el EDI para todos los casos; los modelos finales de pronóstico han sido utilizados para el sistema de alertamiento temprano por sequías.
- ❖ Pandey *et al.*, (2007) realizaron un estudio de caracterización de sequías mediante índices en el distrito KBK en Orissa (India), utilizando un sistema de monitoreo de sequías mediante los índices SPI, EDI y deciles para el análisis temporal y un sistema de información geográfica, concluyen que las sequías ocurren cuando la relación entre la lluvia acumulada anual y la evapotranspiración potencial es menor a 0.6, y que EDI es el índice que mejor representa la sequía en esa zona en estudio.
- ❖ En el año de 2007, se desarrolla la tesis de maestría Caracterización de la sequía en el Estado de Zacatecas (Corvera, 2007), en este estudio se utiliza el índice SPI como indicador de las anomalías de precipitación para dicho estado, con lo cual se caracteriza

cuantitativamente la sequía, para diferentes zonas del estado y/o para los diferentes municipios y localidades, en escalas de tiempo diferente. Para ello, se diseñó y desarrolló el programa SIG.GESEZA 1.0 para los cálculos y la generación de mapas para el análisis temporal y espacial, respectivamente.

- ❖ También, en ese mismo año (Ruiz, 2007), desarrolla la tesis de maestría Evaluación física de la sequía en el estado de Zacatecas, mediante el uso del índice de severidad de sequía de Palmer, 1980-2005, en este trabajo el objetivo principal fue el de caracterizar la sequía mediante el PDSI en 13 cuencas del estado de Zacatecas, se compararon los resultados obtenidos con el SPI; así mismo, se determinó que Kriging fue el mejor método de interpolación. Aquí también se utilizó el programa GESESA. Se detectó que el período de sequía más severo y prolongado fue 1998-2000 y que el año más húmedos fue 2004.

- ❖ Como parte del desarrollo de un sistema de pronóstico de sequía aplicado a la cuenca del río Culiacán, la Organización Meteorológica Mundial (OMM) a través del proyecto PREMIA y en coordinación con la Subdirección General Técnica de la CONAGUA, capacitó a personal del OCPN y otras entidades gubernamentales a nivel estado de Sinaloa y municipios, que conforman el Grupo de Monitoreo y Evaluación de las Fases de la Sequías (GMEFS), mediante cursos y talleres aplicados que a continuación se indican:
 - 1).- Curso en Sequía y Conceptualización de un Modelo de Pronóstico de Sequías (Nov./2007); 2).- Taller sobre Monitoreo, Evaluación y Pronóstico de sequías en la Cuenca del río Culiacán, (Nov./2008) y 3).- Asistencia Técnica Especializada al GMEFS, para el desarrollo de planes de atención de sequías, cuyo objetivo principal fue el de Avanzar en el desarrollo de un plan de atención de sequías en la cuenca del río Culiacán, orientado principalmente a la prevención o mitigación de sus impactos. El taller de asistencia técnica se llevó a cabo en dos etapas, una durante el mes de septiembre y la otra en noviembre de 2009.

Estas capacitaciones fueron desarrolladas por el consultor de la OMM Dr. Andrés Ravelo, en la ciudad de Culiacán, Sinaloa.

- ❖ Santos (2009), en su tesis El Indicador de Alteración Hidrológica (IHA) Aplicado a la Cuenca del Río Tamazula, analiza las variaciones hidrológicas del comportamiento de un ecosistema pluvial perturbado en el río Tamazula, afluente del río Culiacán, determinando mediante el IHA que la construcción de la presa Sanalona, ha modificado el régimen de flujos del río convirtiéndolo de un régimen libre a uno controlado; en el aspecto de la

sequía, los flujos controlados han mejorado las condiciones del río en época de escasez, amortiguando en algún grado los impactos ambientales por sequía.

- ❖ Visita Técnica al Centro de Relevamiento y Evaluación de Recursos Agrícolas y Naturales (CREAN) de la Universidad Nacional de Córdoba, celebrada en octubre de 2009, en donde se trabajó en actividades técnicas sobre aspectos meteorológicos, hidrológicos, agrícolas y socioeconómicos de las sequías, para complementar el desarrollo e implantación del Sistema Operativo para el Monitoreo, Evaluación y Pronósticos de Sequías en la Cuenca del Río Culiacán (SOS), con apoyo de la Organización Meteorológica Mundial, en esta visita se determinó el software de redes neuronales para aplicarlo en la determinación de los escenarios probables por sequía a 1, 2 y 3 meses en la zona en estudio.

4 MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Selección y localización de la zona de estudio

4.1.1 Selección del área de estudio

Se ha seleccionado como área de estudio a la zona comprendida por la cuenca y acuífero del río Culiacán; considerando que las sequías son de gran extensión (Velasco, 2002), la unidad de gestión es la cuenca (PHR, 2006) y es la escala en donde mejor se pueden evaluar los impactos ambientales, económicos y sociales por sequía (Ravelo, 2008).

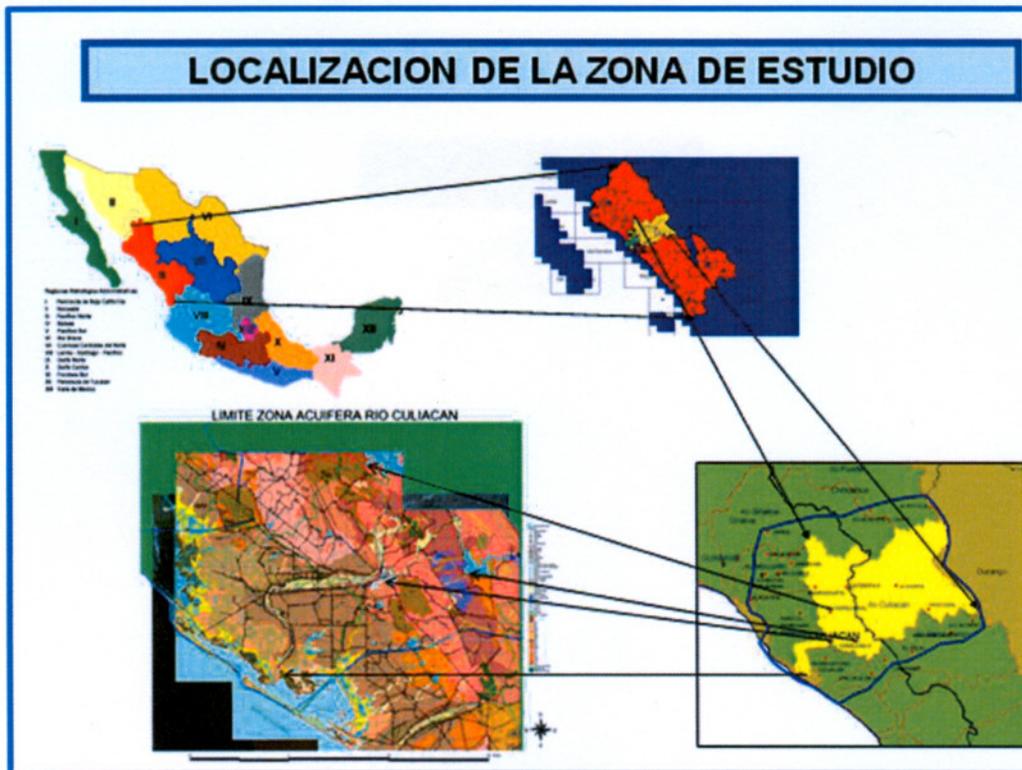
La selección de esta zona se debió también a que es donde se encuentran las oficinas del OCPN, se dispone de mayor información básica, se cuenta con un sistema de presas y un acuífero costero, y está interconectada con cuencas vecinas para apoyar y complementar la disponibilidad de este sistema de cuencas. Además, exporta importantes volúmenes de agua superficial a la cuenca del río Mocorito e importa cantidades similares de la cuenca del río San Lorenzo.

4.1.2 Localización del área de estudio

La zona de estudio, cuenca y acuífero del río Culiacán, se localiza en el noroeste de la República Mexicana; en la jurisdicción del OCPN, dentro de la cuenca hidrográfica y la unidad hidrogeológica del mismo nombre. Limita hacia el norte con la cuenca y acuífero del río Mocorito, hacia el sur con el acuífero y cuenca del río San Lorenzo, al oeste el Océano Pacífico y al este con el Organismo de Cuenca Cuencas Centrales del norte; es conveniente mencionar que la zona de explotación del acuífero se encuentra en la parte baja de la cuenca, dentro del valle costero del río Culiacán y la parte alta de la cuenca es la zona de recarga del acuífero (Figura 4.1).

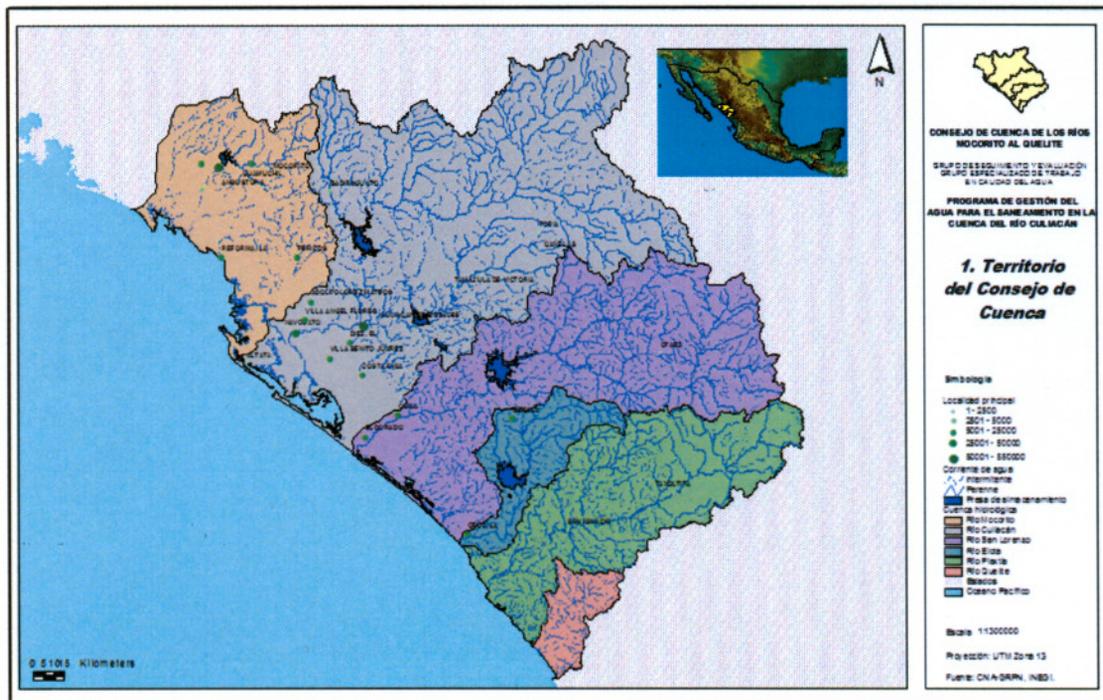
Por otra parte, La zona de estudio, se encuentra enclavada dentro de la jurisdicción del Consejo de Cuenca de los ríos Mocorito al Quelite y comprende principalmente la cuenca y el acuífero del río Culiacán; y una extensión hacia cuencas vecinas, para lograr una mejor representación espacial de la sequía; hacia el norte se abarca parcialmente las cuencas de los ríos Sinaloa, Mocorito y el Fuerte; y hacia el sur la cuenca del río San Lorenzo (Figura 4.2).

Figura. 4.1: Localización de la zona en estudio (cuenca y acuífero del río Culiacán)



Fuente: Dirección Técnica, OCPN, CONAGUA

Figura 4. 2. Territorio del Consejo de Cuenca de los ríos Mocorito al Quelite



CONAGUA, 2006: SIGA

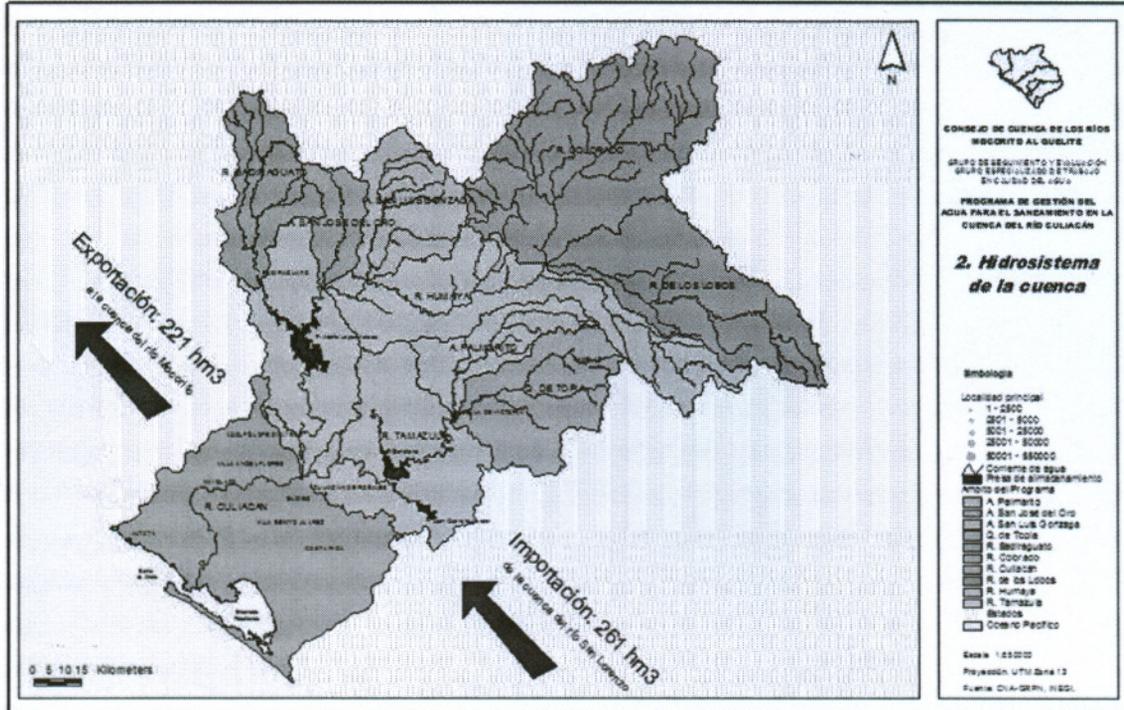
4.1.3 Descripción del área de estudio

La cuenca del río Culiacán, nace en el estado de Durango y termina en el Golfo de California, es de gran desarrollo y está conformada por los ríos Humaya, Tamazula y Culiacán; este último se forma con la confluencia de los dos primeros ríos. También cuenta con dos presas “El Varejonal” y “Sanalona”, sobre los ríos Humaya y Tamazula, respectivamente.

El acuífero Río Culiacán, se forma en ambas márgenes del río del mismo nombre, a partir de la ciudad de Culiacán, Sinaloa, donde se inicia el valle y el Distrito de Riego 010, terminando en la línea de costa; este acuífero es de tipo libre, con niveles estáticos someros, que en general son menores a los 10 metros de profundidad (Figura 4.1).

Por otra parte debido al fuerte desarrollo agrícola de la zona, se interconecta con los sistemas de riego del río San Lorenzo, en el sur, y con el correspondiente al río Mocerito, en el norte; del río San Lorenzo se importan 261 hm³ al año y de la presa “El Varejonal” se exportan 221 hm³ anuales; todos estos volúmenes de agua son destinados al uso agrícola en los Distritos de riego 010 y 074 respectivamente (Figura 4.3).

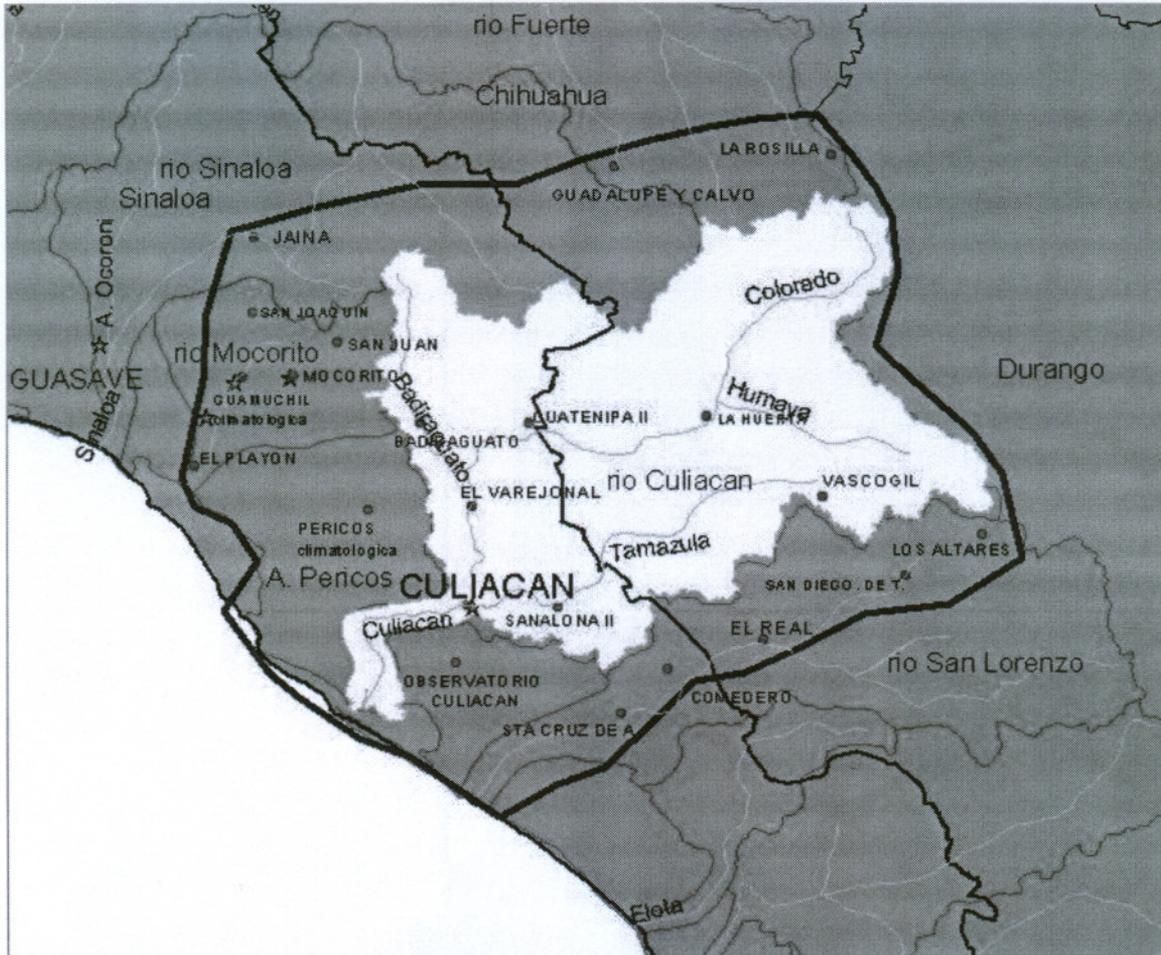
Figura 4.3.- Cuenca y acuífero del río Culiacán, con los volúmenes anuales importados y exportados.



CONAGUA, 2006: SIGA

La cuenca del río Culiacán, colinda al norte con las cuencas de los ríos Mocorito, Sinaloa y Fuerte; hacia el sur con la cuenca del río San Lorenzo y hacia el este con el Organismo de Cuenca Cuenas Centrales del Norte (Figura 4.4).

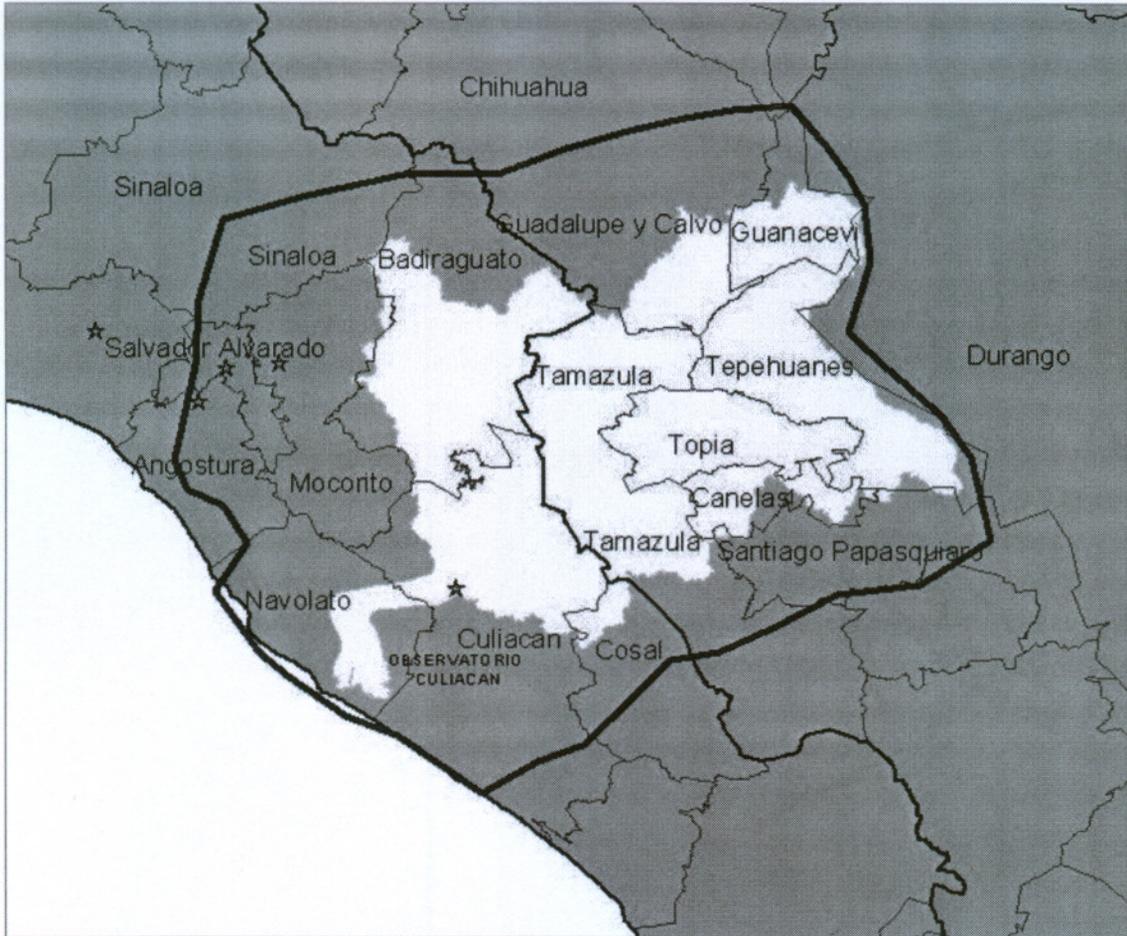
Figura 4.4. Cuencas en la zona en estudio



Fuente: Dirección Técnica, OCPN, CONAGUA

La zona en estudio se encuentra en los estados de Sinaloa, Chihuahua y Durango y comprende los municipios de Sinaloa, Badiraguato, Salvador Alvarado, Angostura, Mocorito, Navolato, Culiacán y Cósala, en el estado de Sinaloa; Guadalupe y Calvo y Guanacevi, en Chihuahua; y Tamazula, Tepehuanes, Topia, Canelas, Tamazula y Santiago Papasquiaro, en Durango, (Figura 4.5).

Figura 4.5.- Estados y municipios en la zona en estudio.



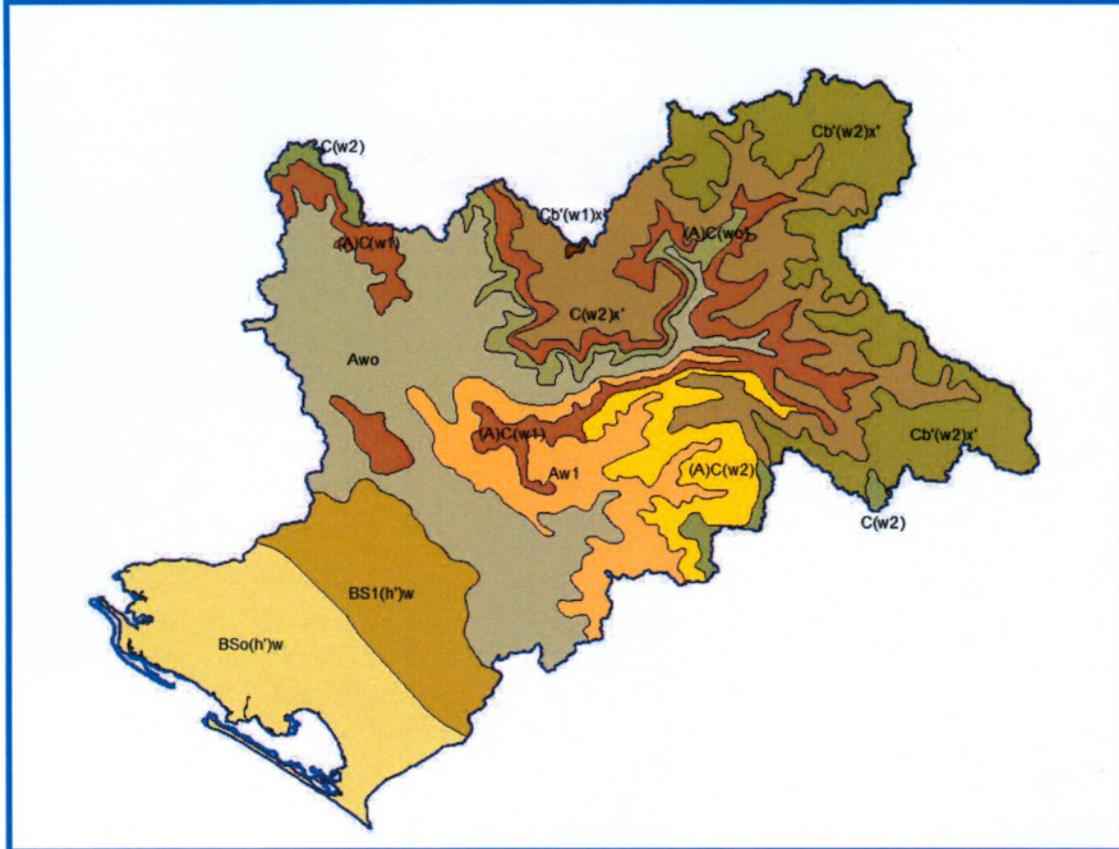
Fuente: Dirección Técnica, OCPN, CONAGUA

4.2 El clima en la zona de estudio

Descripción del Clima

Según la clasificación climática de Köppen, modificada por Enriqueta Garcia en 1981, y sobre la base de las condiciones particulares de la República Mexicana (www.ineter.gob.mx; INEGI, 1981), el clima que prevalece en la cuenca hidrológica y acuífero del río Culiacán, es variado y se describe a continuación, (Figura 4.6):

Figura 4.6: Ilustración del tipo de clima en la zona en estudio.



CONAFOR, 2006: documento interno.

En la parte alta de la cuenca, prevalece un clima semi-seco con primavera seca y semi-frío extremo, con régimen de lluvias de verano fresco y largo, y las lluvias de invierno son notorias, con oscilación anual de las temperaturas medias mensuales, varía entre 19.5°C y 30.6°C, a excepción de la subcuenca río Tamazula, en la zona correspondiente al estado de Durango, en donde las fluctuaciones están entre 4°C y 17 °C; (Cb'(w2)x', C(w2), C(w2)x', Cb'(w1)x').

En la parte baja, se encuentra un clima muy seco con humedad deficiente en todas las estaciones (BS0 (h') w) y semiárido cálido sin estación invernal (BS1 (h) w), con lluvias en verano, las lluvias invernales son menores que el 10% de la anual, con oscilación anual de las temperaturas medias mensuales entre 19.5° c y 29.8°C.

En la zona intermedia entre las dos anteriores, se tiene un clima con invierno seco, con primavera seca y cálida con invierno benigno (cálidos subhúmedos (AW0, AW1) y semicálidos subhúmedos (A) C (W1). (A)C (W2)).

Los datos de precipitación, temperaturas y los climogramas de soporte se muestran en el Anexo C y lo correspondiente al tipo de clima en el Anexo C1.

4.3 Materiales

La caracterización y evaluación de las sequías en la cuenca y el acuífero del río Culiacán se realizó utilizando métodos meteorológicos y agrometeorológicos. Se utilizó el Índice Estandarizado de Precipitación (SPI, por sus siglas en inglés) a diferentes escalas de tiempo y el Índice de Severidad de la Sequía de Palmer (PDSI, por sus siglas en inglés) y de manera auxiliar en etapa experimental el Índice de Humedad del Cultivo (CMI, por sus siglas en inglés) y el Índice Normalizado de diferencia de la Vegetación (NDVI, por sus siglas en inglés). Se requirió la generación de una base de datos meteorológicos, hidrológicos, geohidrológicos, edafológicos y agrologicos correspondientes a la zona en estudio, y los programas de cómputo necesarios para la estimación de los índices. La descripción de la base de datos se da en el siguiente apartado y en la tabla 4.1, se indican los índices estimados y los programas utilizados.

Tabla 4.1 Índices de sequía y los programas utilizados en su estimación

INDICE DE SEQUÍA	PROGRAMA	DESCRIPCION
SPI	SPI.EXE	Índice estandarizado de precipitación
PDSI	PDI.EXE	Índice de severidad de sequía de Palmer
CMI	CMI.EXE	Índice de humedad del cultivo
NDVI	WINDISP5.1.EXE	Índice normalizado de vegetación

Fuente: Creación propia

Se creó *ad hoc* un sistema de información geográfica denominado GIS-Sinaloa, para el análisis y la evaluación puntual y espacial de la sequía de manera automática en plataforma ArcGis 9.2 (ESRI, 2008), con apoyo del Surfer utilizando PDSI, SPI y CMI, así como el método de Kriging para la interpolación de los puntos en la creación de las curvas de isovalores.

Para la proyección de ocurrencia de sequías, se utilizó de manera experimental un sistema de Redes Neuronales (Ravelo, 2007), aplicable a los índices históricos de PDSI y SPI a diferentes escalas de tiempo, así como el programa de cómputo Neurosolución en plataforma Excel (Ravelo, 2008); así mismo se requirió de una computadora portátil para la creación del SIG y un equipo de cómputo estacionario de gran capacidad para el análisis y procesamiento de la información, la cartografía digital y las imágenes de NDVI derivadas del satélite SPOT.

4.4 Métodos

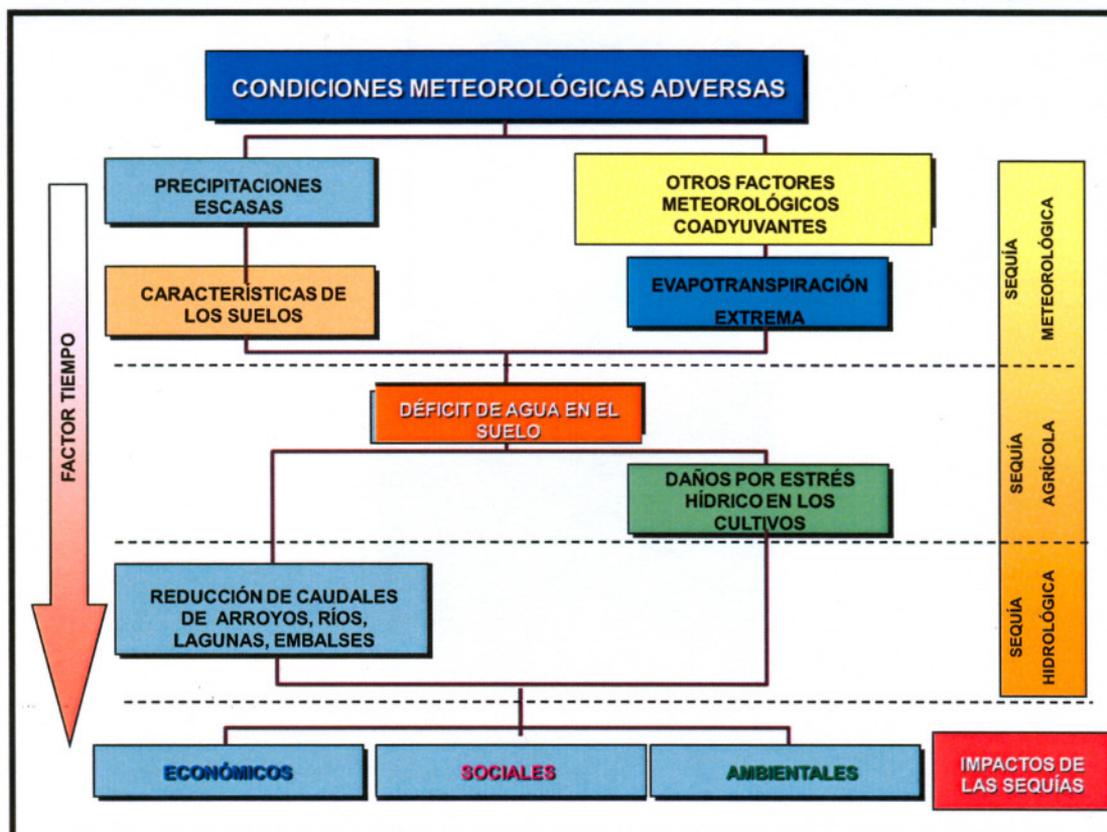
Para caracterizar y evaluar las sequías en la cuenca y en el acuífero del río Culiacán, se cumplieron las siguientes etapas:

- Establecer el modelo conceptual.
- Caracterizar las sequías en duración, intensidad, severidad y extensión.
- Evaluar las sequías en forma puntual (SPI, PDSI), y espacialmente (SIG).
- Establecer las relaciones entre los índices de sequía, las variables hidrológicas de la cuenca y los niveles estáticos del acuífero río Culiacán.

4.4.1 Modelo conceptual de sequías

Las sequías son inevitables, impredecibles, sin epicentro, ni dirección definida, de gran extensión, y eventualmente, se presentan en cualquier lugar y en cualquier tiempo (Velasco, 2002). Por ello, para caracterizar y evaluar el efecto de las sequías en el acuífero del río Culiacán, fue necesario analizar toda la cuenca hidrológica y la unidad hidrogeológica del río Culiacán, ya que están interconectadas entre sí. Considerando que si se reduce la precipitación, también se reduce el escurrimiento superficial y por tanto la captación de agua en las presas; por otro lado, la evapotranspiración generalmente aumenta y se genera déficit de agua en los suelos, produciéndose daños por estrés hídrico en los cultivos, con los consecuentes impactos económicos, sociales y ambientales (Figura. 4.7).

Figura.4.7.- Bosquejo descriptivo de los diferentes tipos de sequías e impactos que genera.



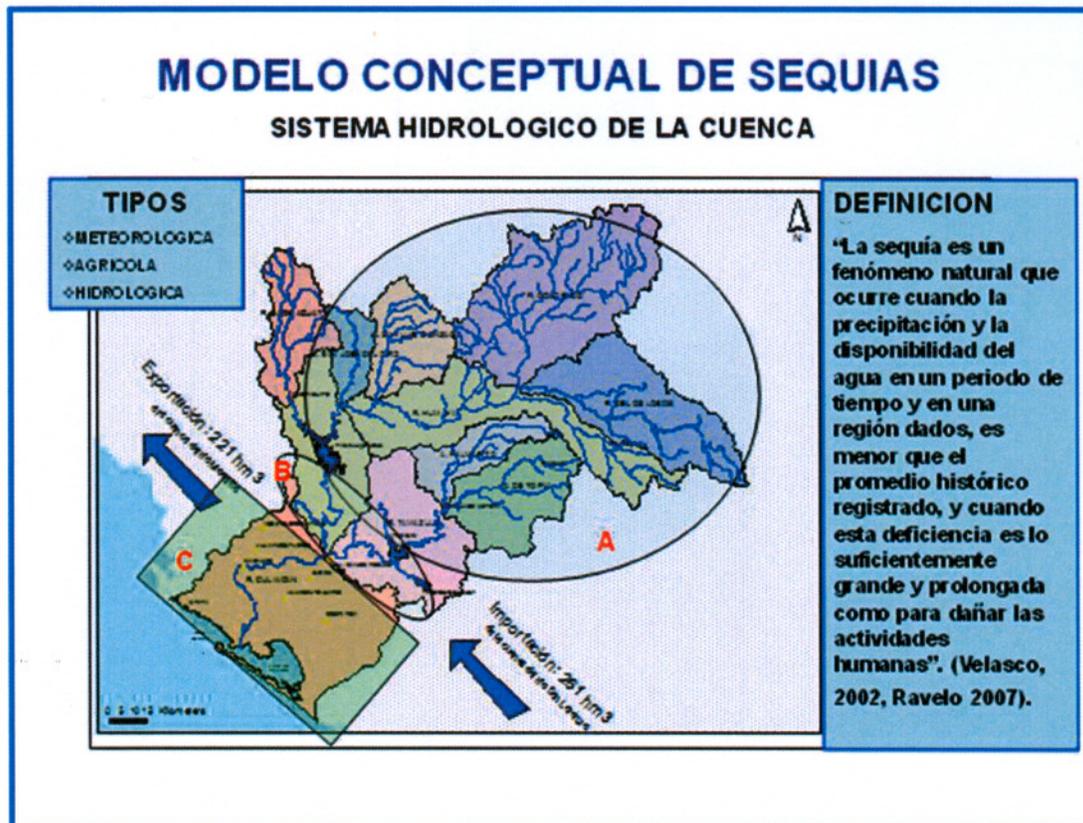
Velasco y Collado,1998A ;Velasco, 2002 ; Ravelo, 2009

Para establecer el modelo conceptual de sequías para la cuenca y acuífero del río Culiacán, fue necesario definir qué se entiende por sequía, en una cuenca que cuenta con dos presas de uso múltiple: riego, generación de energía eléctrica, pesca, turismo y control de avenidas. Además, se cuenta con una presa de derivación al inicio del valle, un acuífero en equilibrio, un distrito de riego que utiliza aguas superficiales y subterráneas para el desarrollo de sus cultivos, un fuerte desarrollo industrial y una población de más de un millón de habitantes (INEGI, 2005), que viven en grandes ciudades como Culiacán y Navolato, y pueblos rurales. Dichas poblaciones tienen una creciente demanda de volúmenes de agua para uso público-urbano y doméstico. Por lo tanto, la definición que se consideró más apropiada para esta situación particular es:

“La sequía es un fenómeno natural que ocurre cuando la precipitación y la disponibilidad del agua en un periodo de tiempo y en una región dados, es menor que el promedio histórico registrado, y cuando esta deficiencia es lo suficientemente grande y prolongada como para dañar las actividades humanas” (Velasco, 2002).

Sobre la base de los tipos de sequía y la definición de sequía adoptada, se estableció el modelo conceptual de sequías para la cuenca y acuífero del río Culiacán (Figura 4.8).

Figura.4.8.- Descripción del modelo conceptual de la zona en estudio



Fuente: Creación propia

En el área en estudio, se distinguen tres zonas de distinto impacto de sequía:

La primera (zona A): que comprende desde las presas El Varejonal (sobre el río Humaya), y Sanalona (sobre el río Tamazula), hacia aguas arriba, hasta los límites con el parteaguas de la cuenca; en donde su disponibilidad de agua superficial solamente depende de las precipitaciones y escurrimientos de los ríos, los cuales hasta aquí se consideran vírgenes; en un análisis de los registros históricos de precipitaciones y escurrimientos se muestra que son de régimen variable y estacional, en donde se manifiestan períodos húmedos con grandes avenidas y de sequías prolongadas, en donde los períodos de estiaje se agudizan.

La segunda (zona B): comprende desde las presas, antes mencionadas, hasta la presa derivadora Antonio Carvajal Zarazúa, a la altura de la ciudad de Culiacán. En este tramo el agua que se conduce por los ríos es controlada y su régimen depende de los volúmenes de agua que se extraen para riego agrícola, los cuales son más o menos constantes, quedando solamente la precipitación como variable no controlada; y

La tercera (zona C), donde el río Culiacán transporta un caudal casi nulo con aportes únicamente de los escapes de las compuertas, los aportes del subálveo y las descargas de aguas negras de la ciudad de Culiacán y de poblados ribereños; en cambio, se cuenta con las aguas subterráneas del acuífero del río Culiacán y con las aguas de retorno agrícola del Distrito de Riego 010, provenientes tanto de aguas superficiales como de aguas subterráneas.

Como puede observarse, el impacto por sequía tiende a ser mayor en la zona A, debido a que cuando se presenta el fenómeno, la disponibilidad de agua disminuye hasta generar déficit para los diferentes usos, y las condiciones para compensarlo son escasas, por lo que sus efectos se vuelven más severos en cuanto su duración e intensidad sean mayores, pudiendo llegar a situaciones críticas y catastróficas; aquí se manifiesta de manera inmediata la sequía meteorológica, para luego dar paso a la tipo agrícola y posteriormente a la hidrológica.

En cambio en la zona B, la sequía hidrológica se amortigua con los volúmenes de agua que escurren de manera controlada por los ríos Humaya y Tamazula (Santos, 2009), pero cuanto más lejos de los cauces, los efectos por sequía se acentúan.

En la zona C, la sequía meteorológica se presenta, pero al igual que la agrícola se ve altamente disminuida por los volúmenes de agua superficial aportados por las presas y por la extracción de agua subterránea, de tal manera que dependiendo de la severidad de la sequía hidrológica de la zona A, se podrá tener algún impacto por sequía en esta zona.

Por lo anteriormente descrito, es de esperarse que el impacto directo de la sequía en el acuífero del río Culiacán sea leve, y solamente de manera indirecta podrá tener serias repercusiones, si el

grado de sequía hidrológica de la zona A es tan crítica, que para compensar un fuerte déficit de aguas superficiales sea necesario extraer más allá de la capacidad de recarga del acuífero. Lo que sí es conveniente saber es de cuánto y de qué parte hay que extraer los volúmenes de aguas subterráneas sin que genere impactos negativos en el acuífero como son abatimiento de niveles al grado de sobre-explotación y el incremento del riesgo de intrusión salina en las partes bajas del acuífero.

4.4.2 Caracterización de las sequías en la cuenca y acuífero del río Culiacán.

Se caracterizó a las sequías ocurridas en la cuenca y acuífero del río Culiacán según su duración, intensidad, severidad y extensión, considerando los pasos siguientes:

- Selección de estaciones meteorológicas e hidrométricas y pozos piloto
- Preparación de las bases de datos
- Estimación de los índices de sequía
- Análisis y evaluación de resultados.
- Determinación de las características físicas de las sequías

4.4.2.1 Selección de las estaciones meteorológicas e hidrométricas y pozos piloto

Sobre la base del inventario geográfico de las redes de estaciones hidroclimatológicas, existente en la Dirección Técnica del OCPN, se realizó un filtrado, mediante el uso del programa Arcview 2.a (ESRI, 2000), para seleccionar las estaciones que influyen en la zona de estudio. De 245 estaciones existentes, 64 se encuentran dentro de la zona en estudio, a las cuales se les realizó una amplia revisión de la información climatológica, considerando su período de registro de datos de precipitación, temperaturas y evaporación; eliminando aquellas que no contaran con al menos 30 años continuos de registro histórico, las que tuvieran mucha ausencia de datos, se observara inconsistencia en los mismos o que dejaron de funcionar; quedando 22 estaciones que superaron este primer filtro (Anexo A).

De estas 22 estaciones seleccionadas, todos los datos procesados fueron sometidos a control de calidad en lo referente a continuidad, variabilidad y magnitud; para determinar su confiabilidad y consistencia mediante métodos gráficos y estadísticos (Bois, 1971; Kendall *et al.*, 1999; Ramírez, 2007).

La continuidad fue establecida para no utilizar series incompletas (completando datos faltantes); la variabilidad de la serie y magnitud de los datos fueron controlados utilizando el criterio de la media de la muestra más o menos tres veces la desviación estándar, correspondiente a una

probabilidad de ocurrencia menor o igual a 0.99; esto es, el ajuste de una función de distribución de probabilidad normal y sus límites de confianza (Ramírez, 2007); todos los datos que quedaron fuera de este intervalo fueron identificados como incorrectos y se verificó su valor en la fuente original, antes de eliminarlo; igualmente, se llevó a cabo la validación cruzada de datos con estaciones vecinas. Además de lo anterior, otro criterio que se consideró fue el de la disponibilidad de datos meteorológicos en tiempo real (Ravelo, 2008). La explicación del criterio estadístico se ilustra en el Anexo B.

Finalmente, después del filtrado de datos, quedaron 18 estaciones con registros completos y con calidad adecuada para el cálculo de los índices de sequía: SPI, PDI y CMI, las cuales se muestran en el Cuadro 1 y se ilustra su ubicación en la Figura 4.9:

Cuadro 4.1: Estaciones seleccionadas para el análisis de la sequía en la zona de estudio.

CUADRO 1		ESTACION	ID CLICOM	LATITUD	LONGITUD	ALTURA msm
		Estaciones seleccionadas para el análisis de las sequías Criterios Lr mayor 30 años Registros completos X / Xm \pm 3 DS Período 1978-2008 (31)	SAN JOAQUIN	25172	25° 40' 5''	108° 1' 12''
GUATENIPA	25041		25° 20' 35''	107° 13' 15''	297.00	
LA HUERTA	10037		25° 21' 48''	106° 42' 2''	670.00	
EL VAREJONAL	25033		25° 5' 40''	107° 23' 35''	119.00	
CULIACAN	25015		24° 49' 0''	107° 25' 0''	40.00	
SANALONA	25081		24° 48' 0''	107° 9' 45''	113.00	
VASCOGIL	10087		25° 8' 45''	106° 21' 45''	2377.00	
BADIRAGUATO	25006		25° 22' 0''	107° 33' 0''	300.00	
LOS ALTARES	10121		24° 59' 20''	105° 53' 30''	2490.00	
SANTA CRUZ	25087		24° 29' 15''	106° 57' 15''	109.00	
PERICOS	25071		25° 5' 35''	107° 41' 40''	51.00	
MOCORITO	25117		25° 30' 0''	107° 54' 0''	87.00	
GUADALUPE y CALVO	8172		26° 6' 30''	106° 58' 30''	2279.00	
EL VERGEL	8061		26° 28' 0''	106° 23' 0''	2700.00	
EL REAL	10148		24° 42' 43''	106° 32' 37''	300.00	
EI PLAYON	25030		25° 13' 0''	108° 12' 0''	5.00	
JAINA	25046		25° 53' 40''	108° 1' 30''	161.00	
GUAMUCHIL	25037		25° 28' 10''	108° 5' 30''	50.00	

Fuente: Dirección Técnica, OCPN, CONAGUA.

Figura 4.9: Localización de las estaciones climatológicas seleccionadas



Fuente: Dirección Técnica, OCPN, CONAGUA

De las 18 estaciones seleccionadas, 7 son hidroclimatológicas (Guatenipa, El Varejonal, Sanalona, Badiraguato, Santa Cruz, El Vergel y Jaina) y las 11 restantes son climatológicas. Así mismo, en su distribución por cuenca, 7 corresponden a la cuenca del río Culiacán (La Huerta, Vascogil, Guatenipa, Badiraguato, El Varejonal, Sanalona y Culiacán), una a las corrientes independientes que conforman en conjunto con esta cuenca el valle y el acuífero del río Culiacán (Pericos), dando un total de 8 estaciones para estudiar las sequías tanto temporal como espacialmente en la zona de interés; para un mejor análisis se consideraron estaciones de cuencas vecinas; en el norte se tienen 7 estaciones (2 en la cuenca del río Fuerte: El Vergel y Guadalupe y Calvo, localizadas en el estado de Chihuahua; una localizada en la cuenca del río Sinaloa: Jaina; y 4 en la cuenca del río Mocorito: San Joaquín, Mocorito, Guamúchil y El Playón); y 3 hacia el sur, en la cuenca del río San Lorenzo: Los Altares, El Real y Santa Cruz de Alaya.

Haciendo una correspondencia de las estaciones hidroclimatológicas y meteorológicas, con las zonas de impacto de las sequías, dentro de la cuenca y acuífero del río Culiacán, se tiene que 3 corresponden a la zona A, una a la zona B, una a la zona C y dos que sirven tanto a la zona A como a la B.

Adicionalmente a las estaciones climatológicas e hidrométricas descritas, se cuenta con dos presas: El Varejonal y Sanalona sobre los ríos Humaya y Tamazula, respectivamente, las cuales se ilustran en el Anexo 3B; así mismo se cuenta con una red de pozos piloto para la medición de niveles

estáticos en el acuífero del río Culiacán (CONAGUA, 2003), los cuales se muestran en el Anexo 3C, se describe brevemente en las Tablas 4.2 y 4.2a, y se ilustra su localización en la figura 4.10.

Tabla 4.2 Pozos piloto para la medición de niveles estáticos en el acuífero del río Culiacán

ACUÍFERO		POZOS PILOTO
RIO CULIACAN	Margen Derecha	CNA-87, CNA-89, CNA-121, CNA-123, CNA-161, CNA-176, CNA-216, CNA-310, CNA-329, CNA-325, CNA-363, CNA-340, CNA-376
	Margen Izquierda	CNA-70, CNA-83, CNA-115, CNA-165, CNA-215, CNA-246, CNA-259, CNA-273, CNA-279, CNA-288, CNA-325, CNA-327.

CONAGUA, 2003

Tabla 4.2a: Relación de pozos piloto, su localización y cota, en el acuífero del río Culiacán

MARGEN DERECHA RIO CULIACAN				MARGEN IZQUIERDA RIO CULIACAN			
POZO	LAT GMS	LON GMS	COTA	POZO	LAT GMS	LON GMS	COTA
CNA-87	24 54 16	107 39 46	29.13	CNA-70	24 39 12	107 26 40	14.01
CNA-89	24 55 13	107 34 57	52.93	CNA-83	24 47 52	107 25 21	32.08
CNA-121	24 52 51	107 28 55	67.22	CNA-115	24 46 52	107 26 58	32.87
CNA-123	24 51 58	107 28 00	55.86	CNA-165	24 40 40	107 33 35	12.66
CNA-161	24 49 43	107 39 16	13.26	CNA-215	24 43 51	107 36 31	9.75
CNA-176	24 49 14	107 32 37	21.71	CNA-246	24 39 35	107 35 29	9.96
CNA-216	24 48 52	107 30 17	26.36	CNA-259	24 37 01	107 32 36	9.77
CNA-310	24 42 42	107 48 32	7.43	CNA-273	24 41 20	107 28 28	19.72
CNA-323	24 47 29	107 47 54	8.42	CNA-279	24 40 17	107 31 21	14.09
CNA-325	24 48 25	107 31 07	5.37	CNA-288	24 46 13	107 31 26	26.9
CNA-340	24 46 34	107 45 41	8.22	CNA-325	24 45 01	107 21 34	67.32
CNA-353	24 50 28	107 45 02	7.78	CNA-327	24 44 33	107 26 22	44.46
CNA-376	24 50 32	107 30 56	45.8				

CONAGUA, 2003

Figura 4.10: Localización de pozos piloto en el acuífero del río Culiacán



Fuente: Dirección Técnica, OCPN, CONAGUA

4.4.2.2 La base de datos: meteorológicos, hidrométricos y de niveles estáticos

Se desarrolló la base de datos físicos, correspondiente a las estaciones meteorológicas, hidrométricas y a la red de pozos piloto, previamente seleccionados, para el período 1978-2008.

En la cuenca del río Culiacán, para cada estación meteorológica, se consideraron los registros mensuales de las variables de precipitación, temperatura y evaporación; en las hidrométricas, los gastos y volúmenes de escurrimiento mensuales; en las presas, los volúmenes mensuales de ingreso y de egreso, así como los niveles de almacenamiento alcanzados al primer día de cada mes.

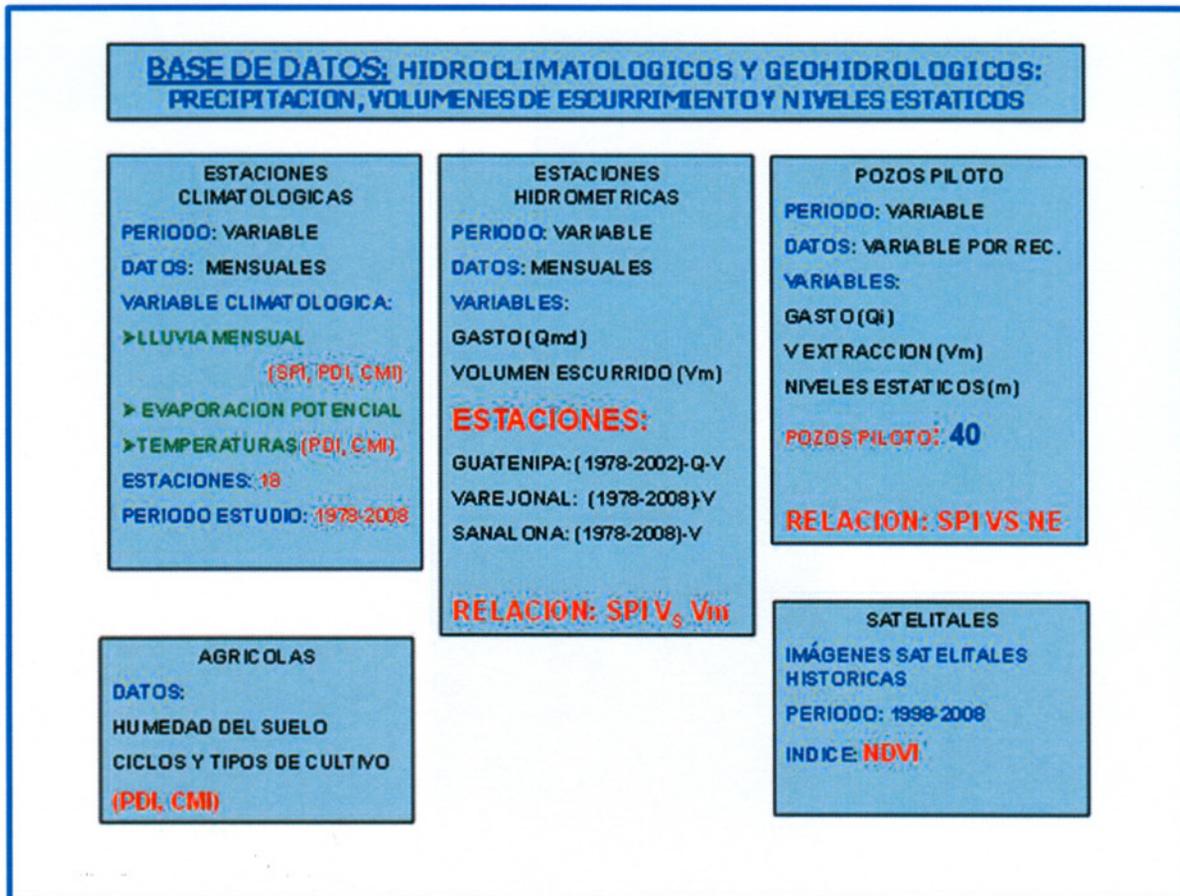
En el caso del acuífero, se recopilaban los registros de la profundidad de los niveles estáticos obtenidos durante los recorridos de piezometría, llevados a cabo dos veces al año; el primero corresponde a la época de estiaje y el segundo a la temporada de lluvias o de recuperación. Las mediciones se realizaron en los pozos piloto, anteriormente descritos; en ocasiones, no es posible

hacer las mediciones sobre algún pozo piloto, y es complementada la información efectuando las mediciones en pozos cercanos que tengan el mismo tipo de estratigrafía.

Con base en las mediciones de las profundidades de los niveles estáticos, efectuadas desde el brocal de los pozos piloto, con cota referenciada al nivel del mar (NMM), la distancia vertical entre el terreno natural (TN) y el brocal, se estimaron las elevaciones y profundidades de nivel estático con respecto al NMM y el TN, respectivamente.

La base de datos conformada con los registros de estas variables se muestra en el Anexo D. Un resumen de la base de datos conformada con los registros de precipitación, temperaturas, evaporación, volúmenes de escurrimiento y niveles estáticos, se ilustra en la Figura 4.11.

Figura 4.11: Resumen de la base de datos de la zona en estudio y los índices que se estiman.



Fuente: Dirección Técnica, OCPN, CONAGUA

A continuación se realiza una breve descripción de la base de datos, asociando cada variable con el índice de sequía que se pretende estimar y la probable relación a obtener.

De las 18 estaciones seleccionadas (meteorológicas e hidroclimatológicas), se obtuvieron los registros mensuales de precipitación, temperatura y donde fue posible de evaporación. El período de registro fue variable, acotándose a un período de al menos 30 años, en este caso fue de 1978-2008, esto es el período tiene una longitud de 31 años.

Los valores de precipitación mensual se asocian a los índices de sequía SPI, PDSI y CMI, en donde se convierten en datos de entrada de los programas utilizados para la estimación de estos índices.

Los datos mensuales de las variables meteorológicas de temperatura y evaporación, se combinan con los datos agrícolas puntuales de humedad del suelo, para formar los registros de entrada a los programas utilizados para estimar los índices de sequía PDSI y CMI.

De estas variables, los datos de precipitación, temperaturas y evaporación faltantes, se completaron considerando la moda para meses secos y la media para meses húmedos, de las mismas estaciones, conforme a lo sugerido en los cursos internacionales sobre sequía impartidos por la OMM, en el OCPN en años anteriores (Ravelo, 2007, 2008); no obstante, existen una gran variedad de métodos para estimar el dato faltante, su elección depende de la precisión con la que se desee determinar (Goicochea, 2002).

Se recopilaron los registros de escurrimiento mensual y de gastos medios diarios, obtenidos de las estaciones hidrométricas, para determinar los años secos, normales y húmedos; así mismo, asociarlos con los índices de sequía PDSI y SPI a diferentes escalas de tiempo. El período de los registros es variable, con datos estimados al año 2002.

Para el caso de las presas Varejónal y Sanalóna, se obtuvieron los registros mensuales de los volúmenes de ingreso a los vasos y de salida por obra de toma; así como los volúmenes de almacenamiento al día primero de cada mes. Los volúmenes de ingreso se asocian a los índices de sequía SPI a diferentes escalas de tiempo y se determinan los años secos, normales y húmedos; en cambio los volúmenes de salida se asocian con los niveles estáticos del acuífero. El número de años de los registros es variable y se acotó al período de análisis 1978-2008.

Debido a la gran cantidad y variabilidad de los datos hidrométricos, al igual que los climatológicos, se sometieron a un estricto control de calidad en lo referente a continuidad, variabilidad y magnitud, conforme a los criterios aplicados a las variables meteorológicas en el subinciso anterior.

En el caso de los datos geohidrológicos para el acuífero del río Culiacán, se recopilaron y analizaron los registros de la profundidad de niveles estáticos (PNE) y de volúmenes de extracción, obtenidos en: censos de obra, actualizaciones geohidrológicas y recorridos piezométricos realizados por lo general dos veces al año, uno en temporada de estiaje (abatimiento) y el otro después de las lluvias de verano (recuperación).

Con base en las PNE, se determinaron las elevaciones de niveles estáticos (ENE) con respecto al nivel medio del mar y las profundidades referidas al terreno natural, así como sus evoluciones para diferentes períodos de tiempo. Es conveniente mencionar que la red de pozos piloto ha variado en el tiempo; por un lado se ha venido incrementando el número de obras de captación de aguas subterráneas, y por otro, algunos pozos piloto han dejado de funcionar por azolvamiento, se han llenado de abejas o ya no es posible tomar el nivel; estas variaciones en la red de monitoreo, aunado al cambio en la numeración de los mismos, ha dificultado el contar con registros de niveles completos, continuos y de gran longitud.

El período de registro de los niveles estáticos tanto por pozo como por acuífero es variable, algunos datan desde 1962; aunque es conveniente aclarar, que existen años en los cuales no se llevaron a cabo los recorridos piezométricos, por lo que esos datos fueron inferidos conforme a la evolución total en un período de tiempo determinado y su distribución espacial correspondiente, debido a que la variación del volumen de almacenamiento y de los niveles estáticos asociados se consideran pequeñas (Anexo D); lo anterior ha dificultado la evaluación de la variabilidad espacial y temporal de los niveles estáticos en el acuífero.

La última red de pozos piloto fue establecida por CONAGUA en el año 2003, se complementó la ya existente con 25 pozos piloto más para un total de 40. Los registros de niveles estáticos se asocian al índice de sequía SPI a diferentes escalas de tiempo, principalmente a 12 meses, para caracterizar la sequía geohidrológica, correlacionándolos conforme a la metodología propuesta en líneas posteriores.

La información descrita, está disponible en la Dirección Técnica del OCPN.

Por otro lado, como una forma de apoyo para la evaluación espacial de la sequía y contrastarlo con lo obtenido mediante los índices SPI y PDSI, se utilizó el índice NDVI, para lo cual fue necesario obtener información satelital, consistente en datos decenales (diez días) del Índice Normalizado de Vegetación (NDVI) generados por el satélite Spot-Vegetation. Se usaron también datos climáticos y mapas extractados de las siguientes páginas web: <http://www.e-local.gob.mx/work/templates/enciclo/sinaloa/>, <http://www.iwmi.cgiar.org/WAtlas/AtlasQuery.htm>. Dichas imágenes de satélite y datos climáticos fueron proporcionadas por el instructor de los

Cursos Internacionales sobre Sequías, coordinados por la Organización Meteorológica Mundial (OMM), las cuales se encuentran disponibles en la Dirección Técnica del OCPN.

Debido al tamaño de las imágenes y el volumen de los datos climáticos, para el procesamiento de calibración se utilizó el período 1998-2008, con tres imágenes por mes.

4.4.2.3 Estimación de los índices de sequía: SPI, PDSI, CMI Y NDVI

Sobre la base de los aspectos metodológicos de los índices SPI, PDSI, CMI y NDVI, descritos en los siguientes subcapítulos, en donde se detallan sus alcances y limitantes; así como la aplicación de los programas desarrollados para cada índice en particular, a los registros de la base de datos descrita en el subcapítulo anterior (4.4.2.2), se estimaron cada uno de los tres primeros índices puntuales (SPI, PDSI y CMI) para cada una de las 18 estaciones hidroclimatológicas seleccionadas. Así mismo, se determinó la normal climatológica de precipitación para la cuenca y acuífero del río Culiacán, correspondiente al período 1978-2008.

Para el análisis de la variabilidad espacial de la sequía, sobre la base de la serie de valores puntuales de los índices estimados y el apoyo de un Sistema de Información Geográfica (ArcGis 9.2) se creó *ad hoc* un sistema para graficar espacialmente las sequías de manera semiautomática, y como apoyo de manera experimental de forma comparativa se estimó la sequía utilizando el NDVI.

Aspectos metodológicos y software utilizados

4.4.2.3.1 Normal climatológica de precipitación en la zona de estudio

Considerando un registro histórico de lluvia, para un periodo dado puede estimarse el valor medio que se esperaría ocurriera. Esto sería lo normal o esperado. De acuerdo con (Linsley et al., 1978), la normal climatológica debe calcularse para periodos de 30 años. Mayor tiempo puede llevar implícitos cambios naturales o antropogénicos que desvirtúen la información. Periodos menores pueden no reflejar las cualidades del fenómeno a analizar.

En este caso se estimaron las normales climatológicas de precipitación anual, mensuales acumuladas y sin acumular, en el período 1978-2008, para cada una de las estaciones seleccionadas y con base en ello su variabilidad espacial en la cuenca del río Culiacán; los resultados se muestran en el siguiente capítulo. Las normales climatológicas mensuales de lluvia dan una idea clara de cómo se distribuye la lluvia esperada en los diferentes meses del año, en la cuenca; con estas normales de lluvia de 31 años consecutivos de información, y en combinación

con la normal mensual de temperatura, se generaron los climogramas para cada una de las estaciones seleccionadas.

También se generaron (para cada una de las estaciones), las normales mensuales acumuladas para efectos de seguimiento, ya que se facilita la comparación de lo que se esperaría que lloviera hasta determinado mes, contra lo que realmente ha llovido. Esta comparación de los valores acumulados nos da una idea cuantitativa del tamaño del déficit de la sequía y nos ilustra si el año es seco, normal o húmedo. Además, debido a que la mayor cantidad de precipitación ocurre durante el verano, se estimaron las normales de precipitación acumulada para los tres meses más lluviosos del año, que en esta zona son: julio, agosto y septiembre, ya que el déficit que se presente en este período tendrá mayor impacto en los usos del agua.

Los resultados de las normales de precipitación y los climogramas de la estación Culiacán, se muestran en el capítulo siguiente; y lo correspondiente al resto de las estaciones en el Anexo E.

Se hace un análisis comparativo entre las normales de precipitación anual, la de los tres meses más lluviosos y la de los tres meses más secos del año (período de estiaje), para determinar los años lluviosos, normales y secos; esto es, definir los períodos y años con sequía, estimar si ha habido desfases en los periodos lluviosos, su magnitud para realizar el análisis de las repercusiones y las medidas de mitigación necesarias. También, se llevó a cabo un análisis comparativo de la normal de precipitación con los volúmenes de escurrimiento y de ingreso a las presas Sanalona y Varejonal, para definir los años secos y húmedos.

Por otro lado, se hace una asociación entre los valores de precipitación, áreas cultivadas de temporal e incendios forestales, para años secos, normales y húmedos, ya que estas variables tienen una dependencia más directa de la lluvia, y cualquier anomalía en su ocurrencia puede significar severas alteraciones en el campo.

Para la cuenca del río Culiacán, y las subcuencas Humaya, Tamazula y Culiacán, esta última conformada por el valle del río Culiacán y corrientes independientes, se determinó la precipitación media anual, por los métodos: promedio aritmético, polígonos de Thiessen e Isoyetas, (Anexo F), obteniéndose los siguientes resultados (Tabla 4.3):

Tabla 4.3: Precipitación promedio estimada para la cuenca del río Culiacán

CUENCA	PROMEDIO	THIESSEN	ISOYETAS
Subcuenca río Humaya	926.93	882.04	954.89
Subcuenca río Tamazula	969.13	990.76	1002.4
Subcuenca río Culiacán (solo zona C)	800.7	776.04	751.52
Río Culiacán	903.24	939.75	959.03

Fuente: Creación propia.

La información anterior, nos sirve de base para que con criterios previamente definidos, como son los índices podamos caracterizar una sequía, o bien, determinar si el año es húmedo o seco.

Entre los índices de sequía más usuales se tiene: Porcentaje de la Normal (PN), Variabilidad de la Precipitación Anual (VPA), Deciles de Precipitación (DP), índice de Severidad de Sequía de Palmer (PDSI), Índice Palmer de Sequía Hidrológica (IPSH), Índice de Humedad de los Cultivos (CMI), Índice de Precipitación Estandarizada (SPI), e Índice Normalizado de la Diferencia de Vegetación (NDVI), como se indica en la literatura diversa (Escalante y Reyes, 2000; Velasco, 2002; Ravelo, 2008).

A continuación se describen brevemente los índices: SPI, PDSI, CMI, y el NDVI, utilizados en el desarrollo de este trabajo, los primeros dos como base y los restantes en forma experimental.

4.4.2.3.2 Índice Estandarizado de Precipitación (SPI).

El SPI, es un indicador basado en la probabilidad de lluvias, en cualquier período de tiempo. Fue desarrollado por McKee *et al.*, (1993, 1995), para cuantificar el déficit de precipitaciones durante múltiples escalas de tiempo. Estos periodos reflejan el impacto de la sequía sobre la disponibilidad de los diferentes recursos hídricos. Las condiciones de humedad del suelo responden a las anomalías pluviométricas en un intervalo de tiempo relativamente corto, mientras que el agua subterránea, el caudal de los cursos superficiales y el agua embalsada reflejan tales anomalías a largo plazo, razón por la cual, el SPI se calculó para períodos de tiempo de 1, 3, 6, 12, 24 y 48 meses.

Para la estimación del SPI se utilizó el programa de computación SPI.exe (Ravelo, 2008; Velasco, 2009). Este programa se encuentra disponible en la Dirección Técnica del OCPN, CONAGUA.

En la evaluación de las características físicas de la sequía, mediante los valores del SPI a diferentes escalas de tiempo y su representación espacial, se utilizó la clasificación propuesta por (Hayes, 2000), quién partió de la escala original de (McKee *et al.*, 1993); la cual se ilustra en la Figura 4.12.

La paleta de colores que se muestra en esta figura, fue definida específicamente para la evaluación espacial de la sequía en la cuenca del río Culiacán, mediante el índice SPI.

Para la estimación de los índices de sequía y su graficado espacial, se utilizó el Sistema SIG-Sinaloa, creado *ad hoc* para este fin.

Figura 4.12: Clasificación de rangos de valores del SPI y su paleta de colores definida para este trabajo.

Referencias SPI		
2.50 ó mayores		Humedad Extrema
2.00 a 2.49		Muy Húmedo
1.50 a 1.99		Humedad Moderada
1.00 a 1.49		Humedad Incipiente
-0.99 a 0.99		Condiciones Normales
-1.00 a -1.49		Sequía Incipiente
-1.50 a -1.99		Sequía Moderada
-2.00 a -2.49		Sequía Severa
-2.50 ó menores		Sequía Extrema

Hayes, 2000

Utilizando los datos de entrada: precipitación mensual, en el software SPI.EXE y el sistema SIG-Sinaloa, se estimaron los índices puntuales de sequía por estación, para diferentes escalas de tiempo, desde 1 hasta 48 meses, y se graficaron espacialmente para cada mes de interés.

Los resultados de estos índices y el análisis de su variabilidad espacial realizada para el año más seco, el más húmedo y el normal, para el período 1978-2008, se describe en el capítulo siguiente; el resto de los años se muestran en el anexo G1.

Entre las ventajas de este indicador (SPI), se puede mencionar que es aplicable para diferentes escalas de tiempo, como se indica en párrafos anteriores, lo que nos puede dar una señal de alerta temprana de la sequía, que ayuda a valorar la intensidad de la misma (Zanvetor y Ravelo, 2000; CREAN, 2007).

Las escalas más usuales y lógicas para el SPI son: una escala temporal de uno a tres meses para la sequía estacional o de corto plazo, asociada a las de tipo meteorológica y agrícola, considerando en este caso, los períodos estacionales correspondiente a la temporada de lluvias (julio, agosto y septiembre); y de estiaje (abril, mayo y junio), así como las lluvias acumuladas, correspondientes; escala de 6 meses para evaluar la sequía intermedia; y las escalas de 12 a 24 meses, para las sequías de largo plazo, hidrológica y geohidrológica. Por tanto, para un mes y año específicos, el valor del SPI depende de la escala de tiempo con que se haya calculado.

4.4.2.3.3 Índice de Severidad de Sequía de Palmer (PDSI)

El PDSI (Palmer, 1965; Allen *et al.*, 1998), se basa en el balance hídrico seriado, el cual utiliza datos de suelo, temperatura, precipitación y evapotranspiración, por lo que se le considera un

índice de tipo agrícola, ya que esencialmente, monitorea la disponibilidad de agua en el suelo, mes a mes, y su relación con las necesidades hídricas de las plantas.

El objetivo de este índice es ofrecer medidas normalizadas de las condiciones de humedad, para poder establecer comparaciones entre distintos lugares y entre períodos diferentes. Se calcula en base a datos termo-pluviométricos y de contenido de agua disponible del suelo. A partir de los datos de entrada se pueden calcular todos los términos básicos de la ecuación del balance de agua, incluyendo la evapotranspiración, la recarga del suelo, la escorrentía y la pérdida de humedad del horizonte considerado.

Los valores del PDSI oscilan entre -6.0 y +6.0, para períodos ordenados de secos a húmedos, como se ilustra en la (Figura 4.13). Al igual que el índice anterior, se le estableció su paleta de colores para evaluar espacialmente las sequías; se definieron colores similares al del SPI, con la finalidad de observar mejor las diferencias resultantes de comparar ambos métodos.

Figura 4.13: Clasificación de rangos de valores del PDSI; con escala cromática definida para este trabajo.



Palmer, 1965

Con base en los datos de entrada: precipitación mensual (mm), profundidad de la humedad del suelo (mm) y valores de evapotranspiración potencial (mm), mediante el uso del programa PDI.EXE (Ravelo, 2008; Velasco, 2009) y el sistema SIG-Sinaloa, se estimaron los índices puntuales de sequía por estación, graficándose espacialmente para cada mes de interés.

El índice de Palmer es muy reconocido porque ofrece a los responsables de la toma de decisiones una medida de las anomalías meteorológicas recientes, para una región determinada, da una oportunidad para situar las condiciones actuales en la perspectiva histórica, y proporciona representaciones en el espacio y en el tiempo de las sequías históricas.

Los resultados obtenidos y el análisis de su variabilidad temporal y espacial, para los años más secos, húmedos y normales dentro del período 1978-2008, se muestran en el capítulo siguiente. Además, algunos ejemplos sobresalientes se presentan en el Anexo G.

4.4.2.3.4 Índice de Humedad de Cultivo (CMI)

El indicador CMI utiliza un análisis meteorológico para hacer un seguimiento semanal de las condiciones de los cultivos. Fue desarrollado por Palmer (1968), a partir del método de cálculo del PDSI. Mientras el PDSI hace un seguimiento meteorológico de los períodos húmedos y secos a largo plazo, el CMI fue diseñado para evaluar las condiciones de humedad a corto plazo en las principales regiones de Estados Unidos dedicadas a la producción agrícola. Responde con rapidez a los cambios de condiciones, se mide por lugares y por tiempos para que los mapas que representan los valores semanales del CMI puedan ser utilizados para comparar las condiciones de humedad entre diferentes localidades.

Este índice se publica en el WeeklyWeather and CropBulletin del USDA, cuya liga Web es www.usda.gov/oce/weather/pubs/Weekly/Wwcb/index.htm y www.usda.gov/oce/weather/pubs/Weekly/Wwcb/wwcb.pdf.

Por estar diseñado para hacer un seguimiento a corto plazo de las condiciones de humedad que afectan a un cultivo en desarrollo, el CMI no es un buen instrumento para hacer un seguimiento de la sequía a largo plazo.

Este índice se está evaluando en etapa experimental, para considerarlo como una opción de análisis de sequías agrícolas de corta duración, trabaja con los mismo datos que para el índice PDSI, pero con datos decenales en lugar de mensuales y puede ser complementado con el índice de vegetación NDVI, que se explica líneas abajo, para el análisis de sequías críticas o extremas y proporcionar un escenario probable a 10 días, información que puede ser útil para los agricultores.

Para el cálculo del CMI se utilizó el programa de computación CMI.exe (Ravelo, 2008). A este índice, para cada caso en particular, se le tiene que acoplar una escala de rangos de valores para las fases de sequía y establecer su paleta de colores para la evaluación espacial, considerando la información disponible en la zona de caracterización y análisis. Para su estimación temporal y graficado espacial, se utilizó el Sistema SIG-Sinaloa.

Un ejemplo de los resultados parciales obtenidos mediante este índice se muestra en el capítulo siguiente.

4.4.2.3.5 Índice Normalizado de Diferencia de la Vegetación (NDVI)

El Índice Normalizado de Diferencia de la Vegetación (NDVI) es un índice obtenido de información satelital y que está relacionado con la cantidad de vegetación verde en la superficie terrestre. Por consiguiente, el NDVI está directamente relacionado con el porcentaje de la cobertura vegetal, con la biomasa verde o herbácea total (toneladas/ha) para cada tipo de vegetación, con el “índice del área foliar” (IAF) que se usa a menudo en los modelos de cultivos, y con la actividad fotosintética de la vegetación.

A menudo no es directamente el valor de una sola imagen el que se usa como un indicador, sino un valor que represente las características seleccionadas de una serie de tiempo. En este caso se considera la imagen representativa de cada 10 días, esto es, se emplean 3 imágenes promedio procesadas por mes.

El NDVI es utilizado para el monitoreo y evaluación de las sequías mediante el cálculo de imágenes de anomalía (Ravelo y Pascale, 1997). Sus ventajas son la amplia cobertura y la adecuada escala geográfica, su complementación con otros índices y su relación con la productividad de los cultivos.

Por otra parte, la información satelital está disponible en tiempo real, a un costo relativamente bajo y los equipos de comunicación satelital requeridos son económicos; además, se puede adquirir información antecedente o imágenes de satélite con 3 meses de antigüedad o más y sin costo, en la siguiente liga web: <http://www.e-local.gob.mx/work/templates/enciclo/sinaloa/>, <http://www.iwmi.cgiar.org/WAtlas/AtlasQuery.htm>, lo cual permite disponer del NDVI para su operación mediante sistemas operativos convencionales.

Este índice se trabajó en forma experimental y como complemento a los índices de sequía SPI y PDSI. Para el manejo y análisis de las imágenes del NDVI se utilizó el programa de computación WinDisp 5.1.exe (Ravelo, 2008). El programa y la base de datos de imágenes decenales del satélite SPOT-Vegetation para el período 1998-2008, están disponibles en la DT-OCPN-CONAGUA. En el capítulo siguiente, se muestra un ejemplo de los resultados temporales y espaciales obtenidos hasta el momento, mediante este índice.

4.4.2.4 Análisis y evaluación de los índices de sequía: SPI y PDSI.

Dadas las características de las sequías, en cuanto a su falta de periodicidad y de estacionalidad, no es posible el análisis de series de tiempo mediante la utilización de modelos

auto regresivo y distribución de frecuencias en modelos paramétricos para el pronóstico de sequías.

Por ello se efectuó un análisis y evaluación a las series de tiempo (período 1978-2008), de los índices de sequía SPI y PDSI, obtenidas mediante la estimación descrita en el punto anterior, y considerando las fases de sequías respectivas para cada índice.

Debido a que el índice SPI se estimó para diferentes escalas de tiempo, desde uno hasta 48 meses, se analiza el suavizado de las series de tiempo realizado internamente mediante el programa SPI.exe al generar los índices. En cambio, para el caso del PDSI y CMI se obtuvo una sola serie de tiempo por estación para cada índice, cuyos valores son representativos para el largo e inmediato plazos, respectivamente.

Los resultados puntuales (series de tiempo del período 1978-2008) obtenidos para los índices SPI y PDSI, se tabularon y graficaron para facilitar el análisis comparativo entre métodos o entre diferentes escalas de tiempo (caso del SPI), para cada una de las estaciones.

Para observar el comportamiento regional de la sequía, para cualquier mes o período de tiempo de interés, dentro de la zona en estudio, se elaboraron gráficas espaciales para los índices SPI a diferentes escalas de tiempo y PDSI, mediante el sistema SIG-Sinaloa.

Se compara, para los períodos de sequía, normales y húmedos, el comportamiento puntual y espacial de la precipitación con los resultados obtenidos para los índices de sequía SPI a diferentes escalas de tiempo y el PDSI, obtenidos en el subinciso anterior.

Los resultados de los índices CMI y NDVI, debido a que se encuentran en etapa experimental tan solo se toman como referencia y apoyo, respectivamente.

En el capítulo siguiente se muestran los resultados del análisis y evaluación de los índices de sequía SPI y PDSI, descritos en este subcapítulo.

4.4.2.5 Determinación de las características físicas de las sequías

Sobre la base de las series de tiempo y de la clasificación de sequías, anteriormente descritas, para cada uno de los índices SPI y PDSI; así como en los resultados del análisis y evaluación puntual y espacial de los índices, se determinan las características físicas de las sequías, en cuanto a severidad, duración, intensidad o magnitud, extensión y frecuencia de las sequías en la zona en estudio.

En el siguiente capítulo se muestran los resultados obtenidos para las estaciones Culiacán, Sanalona y Varejonal, y el resto de las estaciones en el Anexo H.

Los resultados de la evaluación puntual de la sequía, mediante los índices SPI y PDSI, y de la espacial mediante el sistema de información geográfica SIG-Sinaloa, generado *ad hoc* para este trabajo; así como las relaciones entre los índices de sequía SPI y PDSI con las variables Hidrológicas de la cuenca y los niveles estáticos del acuífero del río Culiacán, se muestran en el capítulo siguiente.

Nota: Los conceptos metodológicos y los programas de computación para el cálculo de los índices han sido presentados y utilizados durante los cursos de capacitación "Sequías y Conceptualización de un Modelo de Pronóstico de Sequía", y "Desarrollo de un Sistema Operativo para el Monitoreo, Evaluación y Pronóstico de Sequías en el Ámbito del Organismo de Cuenca Pacífico Norte (OCPN/CNA), impartidos por el Consultor de la OMM, el Dr. Andrés Ravelo, mediante el Proyecto de Fortalecimiento del Manejo Integrado del Agua en México (PREMIA), celebrados en Culiacán, Sinaloa, en noviembre de 2007 y de 2008, respectivamente; y reforzados los dos primeros índices por el asesor de esta tesis Dr. Israel Velasco, investigador del IMTA.

5 RESULTADOS Y DISCUSION

En este capítulo, se describen los resultados de la caracterización de las sequías para la cuenca y acuífero del río Culiacán, en cuanto a duración, intensidad, severidad y extensión; así como de la evaluación puntual y espacial de las mismas, determinadas mediante la aplicación de la metodología descrita en el subcapítulo 4.4, particularmente el inciso 4.4.2.

También, se discuten los resultados obtenidos de los trabajos realizados para establecer relaciones entre índices de sequía y las variables hidrológicas de la cuenca y los niveles estáticos del acuífero río Culiacán.

Además, se desarrollan aplicaciones para el monitoreo, seguimiento y evaluación puntual y espacial de las sequías en diferentes escenarios de tiempo y espacio.

Así mismo, como resultado de los puntos anteriores se plantea un sistema de monitoreo, evaluación y difusión de las sequías aplicable a la zona en estudio, en donde la sociedad juega un papel preponderante a través del Consejo de Cuenca de los ríos Mocorito al Quelite, para su mejora continua.

Con base en lo anterior, se discute una propuesta de alerta temprana y elaboración de planes de mitigación de sequías aplicable a la zona en estudio, con participación de la sociedad.

5.1 Caracterización de las sequías en la zona en estudio

La caracterización de las sequías en la cuenca y acuífero del río Culiacán, Figura 4.7, se llevó a cabo mediante la Normal Climatológica de precipitación y los índices SPI a diferentes escalas de tiempo, PDSI, CMI y NDVI, estos dos últimos únicamente como apoyo, ya que se encuentran en etapa experimental; los resultados se muestran a continuación:

5.1.1 Normal climatológica de precipitación

Dados los registros históricos de lluvia de las 18 estaciones seleccionadas (Figura 4.7), previamente completados y validados, para el periodo 1978-2008, se les estimaron los parámetros estadísticos como el valor medio esperado o normal, la desviación estándar, el sesgo y el coeficiente de asimetría, Anexo D.1.

A continuación, se muestran las normales climatológicas de precipitación anual (NCPA) para el periodo 1978-2008, estimadas (Anexo E.1) para cada una de las estaciones seleccionadas

(Tabla 5.1); formando con ello y mediante el sistema SIG-Sinaloa las isoyetas medias anuales (Figura 5.1).

Tabla 5.1. Normal climatológica de precipitación anual (NCPA), en mm, período 1978-2008

ESTACION	ID CLICOM	LATITUD	LONGITUD	ALTURA msm	NCPA mm
SAN JOAQUIN	25172	25° 40' 5"	108° 1' 12"	140.00	795.3
GUATENIPA	25041	25° 20' 35"	107° 13' 15"	297.00	1024.1
LA HUERTA	10037	25° 21' 48"	106° 42' 2"	670.00	781.2
EL VAREJONAL	25033	25° 5' 40"	107° 23' 35"	119.00	913.3
CULIACAN	25015	24° 49' 0"	107° 25' 0"	40.00	665.9
SANALONA	25081	24° 48' 0"	107° 9' 45"	113.00	866.4
VASCOGIL	10087	25° 8' 45"	106° 21' 45"	2377.00	1355.2
BADIRAGUATO	25006	25° 22' 0"	107° 33' 0"	300.00	936.8
LOS ALTARES	10121	24° 59' 20"	105° 53' 30"	2490.00	825.9
SANTA CRUZ	25087	24° 29' 15"	106° 57' 15"	109.00	761.7
PERICOS	25071	25° 5' 35"	107° 41' 40"	51.00	666.7
MOCORITO	25117	25° 30' 0"	107° 54' 0"	87.00	696.2
GUADALUPE y CALVO	8172	26° 6' 30"	106° 58' 30"	2279.00	1130.8
EL VERGEL	8061	26° 28' 0"	106° 23' 0"	2700.00	775.7
EL REAL	10148	24° 42' 43"	106° 32' 37"	300.00	798.2
EI PLAYON	25030	25° 13' 0"	108° 12' 0"	5.00	489.5
JAINA	25046	25° 53' 40"	108° 1' 30"	161.00	876.5
GUAMUCHIL	25037	25° 28' 10"	108° 5' 30"	50.00	603.1

Fuente: Creación propia

Figura 5.1: Isoyetas medias anuales (mm), en la cuenca del río Culiacán, período 1978-2008.



Fuente: Creación propia

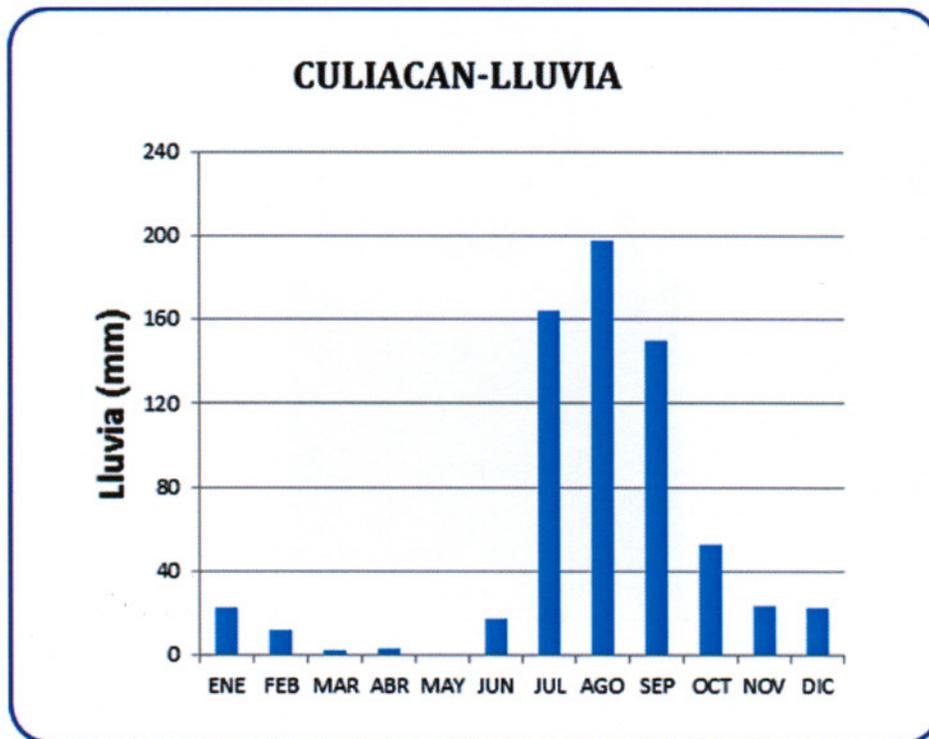
En la figura anterior, se observa que la NCPA es mayor en la sierra que en la costa, variando desde 1,300 mm en la estación Vascogil hasta menos de 600 mm en la línea de costa. También, es notorio como la precipitación disminuye en la dirección noroeste, siendo más lluvioso en la subcuenca del río Tamazula que la del río Humaya. Así mismo, la NCPA en el valle del río Culiacán (donde se encuentra el acuífero) fluctúa entre menos de 600 a 700 mm; es por ello que se considera a la parte alta (zona A) y media (zona B) de la cuenca como la zona de recarga del acuífero (zona C), Figura 4.8.

En el Anexo E.2, se muestran las isohietas para años húmedos, secos y normales, previamente seleccionados dentro del período en estudio.

Con respecto a las normales climatológicas de precipitación mensuales (NCPM), para el período 1978-2008, se determinaron las mensuales acumuladas (NCPMA) y sin acumular (NCPM) para cada una de las estaciones, con la finalidad de observar el comportamiento de la lluvia esperada en los diferentes meses del año, en las diferentes zonas de la cuenca.

En la Figura 5.2, se ilustra la variabilidad de las NCPM estimadas para la estación Culiacán (zona C), y en el Anexo E.3, lo correspondiente al resto de las estaciones.

Figura 5.2: NCPM, estación Culiacán, período 1978-2008.

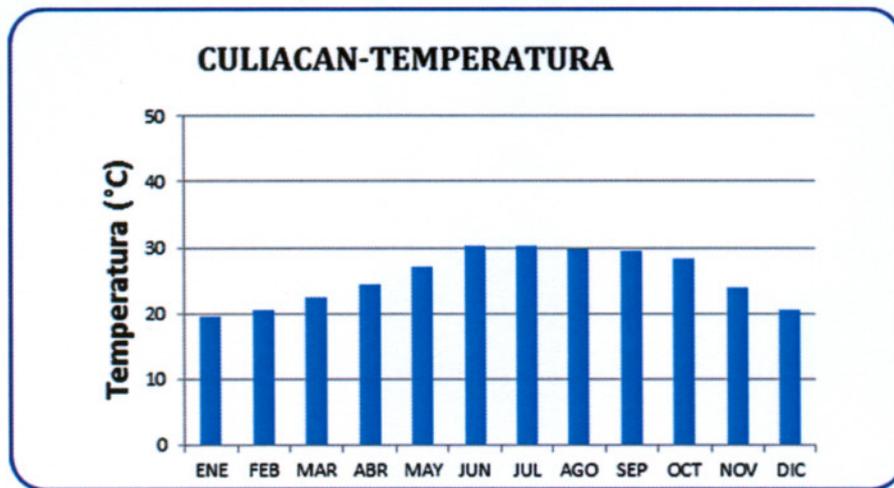


Fuente: Creación propia

En el análisis efectuado, se determinó que en todas las zonas de la cuenca las principales lluvias son las de verano, en donde durante el período de los meses de julio a septiembre ocurre más del 80% de la precipitación anual. El mes de mayor precipitación es julio, a excepción de la estación Culiacán, cuyo mes más lluvioso es agosto. Por otra parte, solamente en las estaciones de la parte alta de la cuenca (zona A) La Huerta y Vascogil se manifiesta la presencia de las lluvias de invierno, producto de los frentes fríos del norte.

De manera similar, se determinaron las normales climatológicas de temperatura media mensual (NCTMM), en °C, para el mismo período que la precipitación; en la Figura 5.3, se muestra la variación de la NCTMM a lo largo del año para la estación Culiacán, y en el Anexo D, lo correspondiente al resto de las estaciones.

Figura 5.3: NCTMM (en °C), estación Culiacán, período 1978-2008.



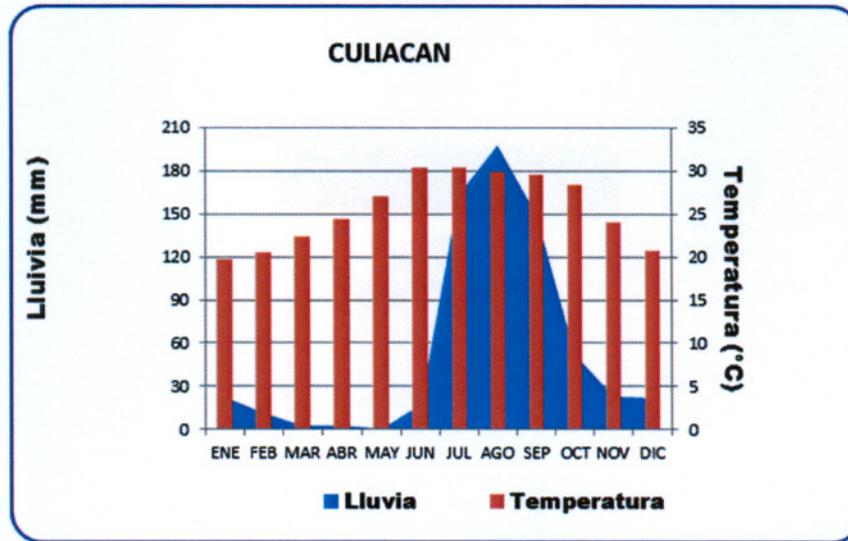
Fuente: Creación propia

En dicha figura, se observa que los meses más fríos son: diciembre, enero y febrero, correspondientes a la temporada de invierno; el más frío es enero con valores por debajo de los 20 °C; en cambio, los más calientes son junio, julio y agosto, la temperatura media más alta se presenta durante el mes de junio, con valores que sobrepasan los 30 °C.

La variación de las NCTMM para el resto de las estaciones presenta un comportamiento similar, con valores un poco menores en la parte media y sensiblemente menores en la parte alta de la cuenca.

Con las NCPM y en combinación con la NCTMM, se formaron los climogramas para cada una de las estaciones seleccionadas; en la Figura 5.4 se muestra el climograma formado para la estación Culiacán, y en el anexo E.11, lo correspondientes al resto de las estaciones.

Figura 5.4: Climograma para la estación Culiacán, período 1978-2008.

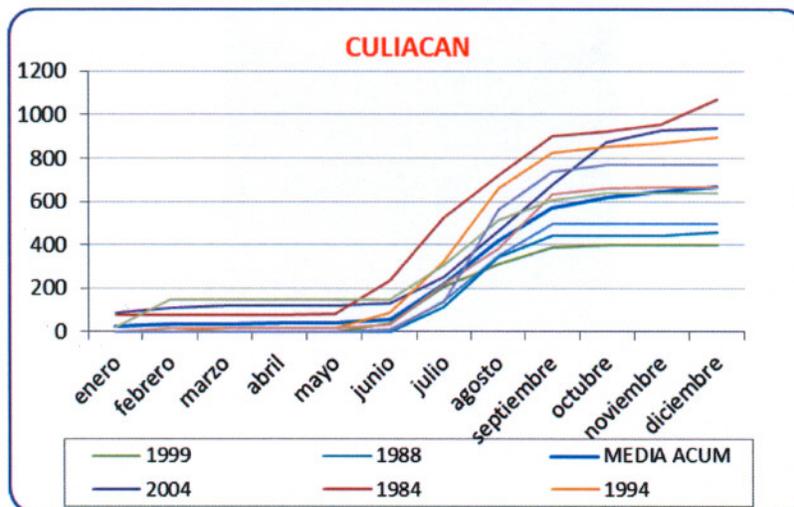


Fuente: Creación propia

Estos climogramas sirven de apoyo para determinar el clima de la cuenca del río Culiacán, como se muestra en la Figura 4.6, del capítulo anterior.

También, se graficaron las NCPMA, y la precipitación mensual acumulada (PMA) para los diferentes años dentro del período de análisis en cada una de las estaciones, para efectos de seguimiento y comparación entre lo que se esperaría que lloviera hasta determinado mes, contra lo que realmente ha llovido. En la Figura 5.5, se muestra la gráfica correspondiente a la estación Culiacán, la cual nos da una idea cuantitativa del tamaño del déficit de la sequía en esta localidad y nos ilustra si el año es seco, normal o húmedo; las gráficas correspondientes al resto de las estaciones se encuentran contenidos en el anexo E.4.

Figura 5.5: La NCPMA vs la PMA para diferentes años en la estación Culiacán, período 1978-2008.



Fuente: Creación propia.

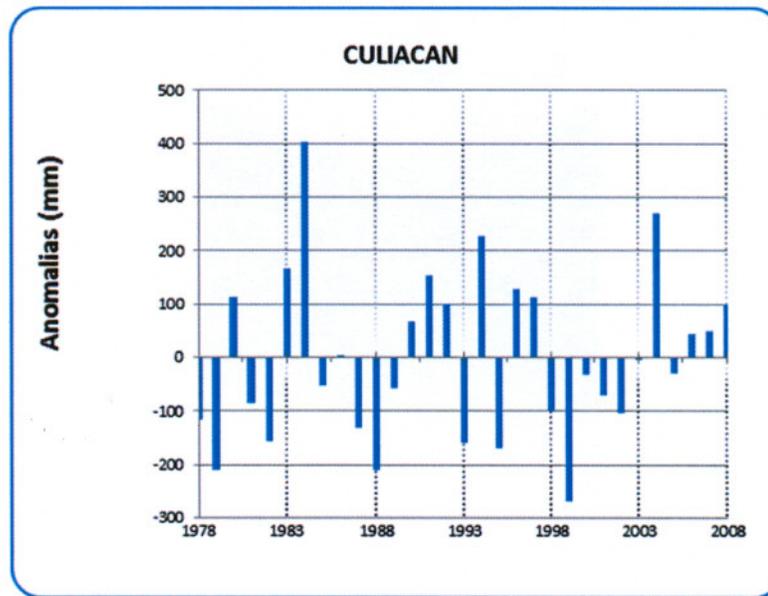
En la figura anterior, se observa que los años 1988 y 1999 fueron secos, el más seco corresponde al año de 1999; en cambio 1984 y 1994 fueron húmedos, siendo el más húmedo el correspondiente a 1984. De un análisis similar efectuado al resto de las estaciones se observa que lo que fueron los años más secos o más húmedo, no necesariamente lo fueron para las otras estaciones, mostrando variabilidad espacial y temporal de la humedad en la cuenca.

En lo general los años más húmedos fueron 1984, 1986, 1990, 1991, 1993, 1994, 1997, 2004 y 2006; los más secos: 1982, 1987, 1988, 1995, 1998, 1999, 2001 y 2002, existen años en los cuales para una estaciones fueron de sequía y para otras de humedad, como por ejemplo 1983, 1985, 1989, 1992, 1996, 2000, 2003, 2005, 2007 y 2008, no ostante, en lo general se consideran de normalidad hídrica, lo cual se constata en las figuras del Anexo E.2 y gráficas del Anexo E.4, donde se observa claramente la variabilidad de la precipitación anual en la cuenca.

Derivado de lo anterior, se pueden apreciar los años con sequía, aun sin embargo no se puede cuantificar, ni determinar la fase de la sequía; por esta razón, se ha desarrollado la caracterización de la sequía en la cuenca mediante los índices probados como son el SPI a diferentes escalas de tiempo y el PDSI, para el monitoreo y evaluación histórica de la sequía.

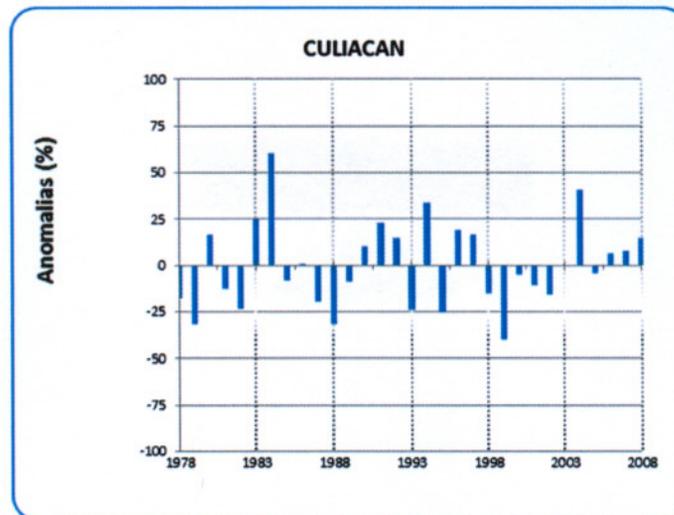
Otra forma de apreciar la variabilidad de la precipitación anual es mediante la anomalía de precipitación (AP), tanto en mm como en porcentaje. En las Figuras 5.6 y 5.7, se aprecian las AP para la estación Culiacán, y en el Anexo C, se muestran las correspondientes al resto de las estaciones.

Figura 5.6: Anomalías de precipitación (en mm) para la estación Culiacán, período 1978-2008



Fuente: Creación propia

Figura 5.7: Anomalías de precipitación (en %) para la estación Culiacán, período 1978-2008



Fuente: Creación propia

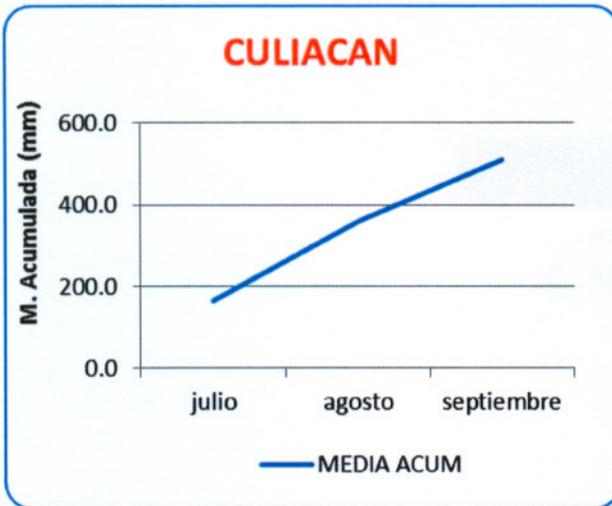
En las figuras correspondientes a la estación Culiacán, se observa cómo sobresalen los años húmedos como 1984, 1994 y 2004, con 10 años de separación entre sí, aunque con diferente intensidad. En cambio, en los años secos resaltan 1979, 1982, 1988, 1993, 1995 y 1999, mostrando una separación irregular en el tiempo, lo que ilustra lo complejo de la sequía.

En cuanto a los años que se apegan a la NCPA, considerados como de normalidad hídrica están 1985, 1986, 1989, 1990, 2000, 2003, 2005, 2006 y 2007. También, se observa que existen períodos de humedad y de sequía, por ejemplo 1984-1985, 1990-1992, 1997-1998 y 2006-2008, se pueden considerar períodos húmedos, y por el otro lado 1978-1979, 1981-1982, 1987-1989 y 1998-2002, se consideran períodos secos.

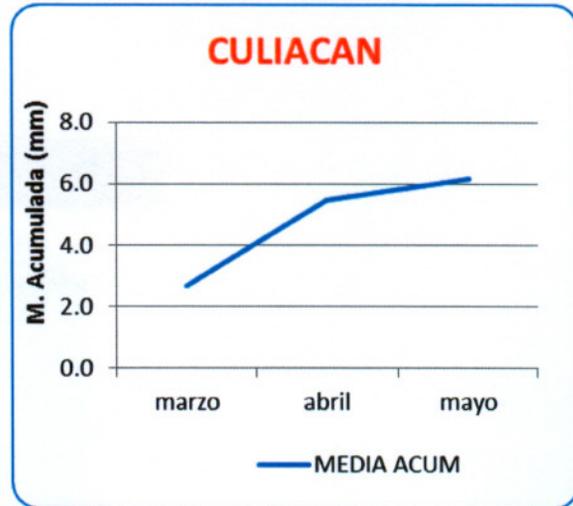
En las figuras del Anexo C, de las anomalías correspondientes al resto de las estaciones, se observa un comportamiento diferente en cada una de ellas con comportamientos similares solamente cuando los eventos son extremos; por ejemplo la estación La Huerta, muestra períodos de humedad y de sequía más prolongados; en todos los casos se manifiesta la sequía del período de 1998-2003, aunque algunos más intensos que otros.

Debido a que la mayor cantidad de precipitación ocurre durante las lluvias de verano, se estimaron las normales de precipitación acumulada para los tres meses más lluviosos del año (NCPMA3H), que en esta zona son julio, agosto y septiembre, ya que el déficit que se presente en este período tendrá mayor impacto en los usos del agua. Así mismo, se estimaron las normales climatológicas para los tres meses más secos del año o temporada de estiaje (NCPMA3S). En las Figuras 5.8.A y 5.8.B, se aprecian las gráficas de la NCPMA3H y NCPMA3S, correspondientes a la estación Culiacán.

Figura 5.8. A: La NCPMA3H, (Culiacán,1978-2008). Figura 5.8. B: La NCPMA3S, (Culiacán, 1978-2008).



Fuente: Creación propia

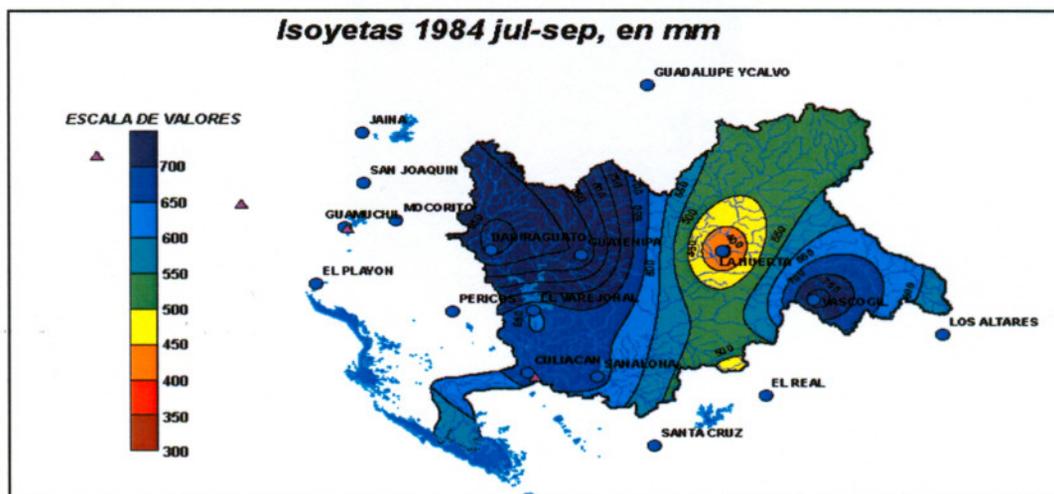


Fuente: Creación propia

Haciendo una comparativa entre ambas gráficas, por un lado se observa la gran diferencia de valores: mientras en la temporada de lluvias la NCPMA3Hes cercana a los 550 mm, en la temporada de estiaje la NCPMA3S apenas si llega a los 6 mm; por otra parte, se observa que el mes más lluvioso es agosto, con una fuerte pendiente creciente y el más seco es mayo, con una pendiente tendiente a la horizontal. Las gráficas correspondientes a las demás estaciones se muestran en el Anexo E5 para los tres meses más lluviosos del año y E7 para los tres meses más secos del año.

Un ejemplo de la variación espacial de la NCPMA3H, para la cuenca del río Culiacán, considerando un año húmedo y un año seco se ilustran en las Figuras 5.9 y 5.10, respectivamente:

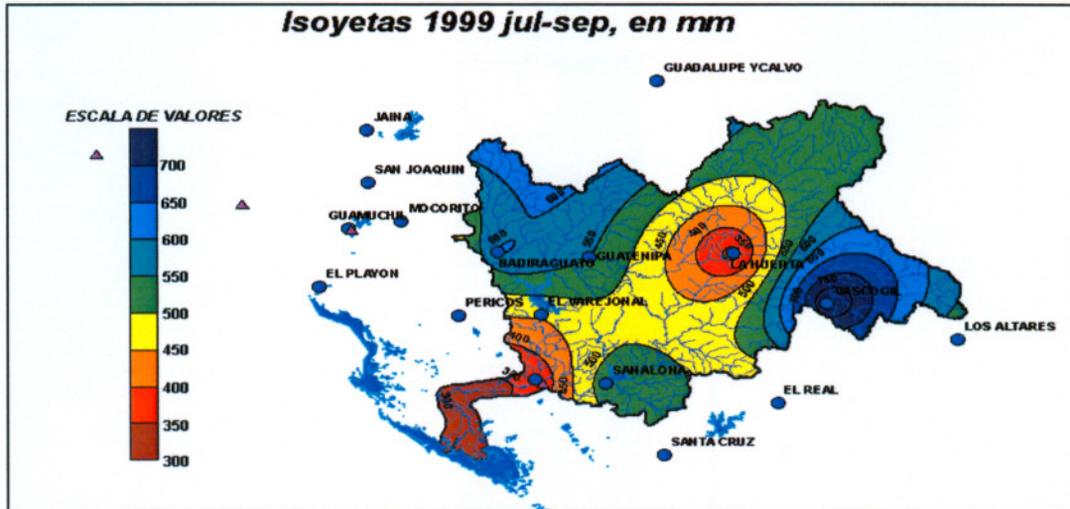
Figura 5.9: Isoyetas de NCPMA3H del año 1984, considerado húmedo para la cuenca del río Culiacán.



Fuente: Creación propia

En la figura, se observa que la NCPMA3H en la mayor parte de la cuenca, fluctúa entre 600 y 700 mm, incluyendo la parte baja de la cuenca en donde se encuentra el acuífero, cuya NCPA varía entre los 500 y 600 mm y en la parte media y norte de la cuenca llego hasta los 1000 mm, cuando su NCPA varía entre 900 y 1000 mm.

Figura 5.10: Isohietas de la NCPMA3H del año 1999, considerado seco para la cuenca del río Culiacán



Fuente: Creación propia

En cambio, en esta figura se observa que en la mayor parte de la cuenca, incluyendo la zona acuífera, la NCPMA3H varía entre los 500 y 600 mm, y el resto de la cuenca fluctúa entre 600 y 700 mm, a excepción de valores puntuales en la zona este y parte alta de la cuenca, que llegan hasta los 800 mm, cuando la NCPA varía entre los 500 y 1300 mm, en la cuenca.

Como puede observarse en el análisis anterior, la variabilidad de la precipitación en la cuenca es muy amplia, dependiendo de si es un año húmedo o año seco. En el Anexo E6 se muestran las isohietas de la NCPMA3H, para años seleccionados como los más lluviosos o más secos, dentro del periodo 1978-2008.

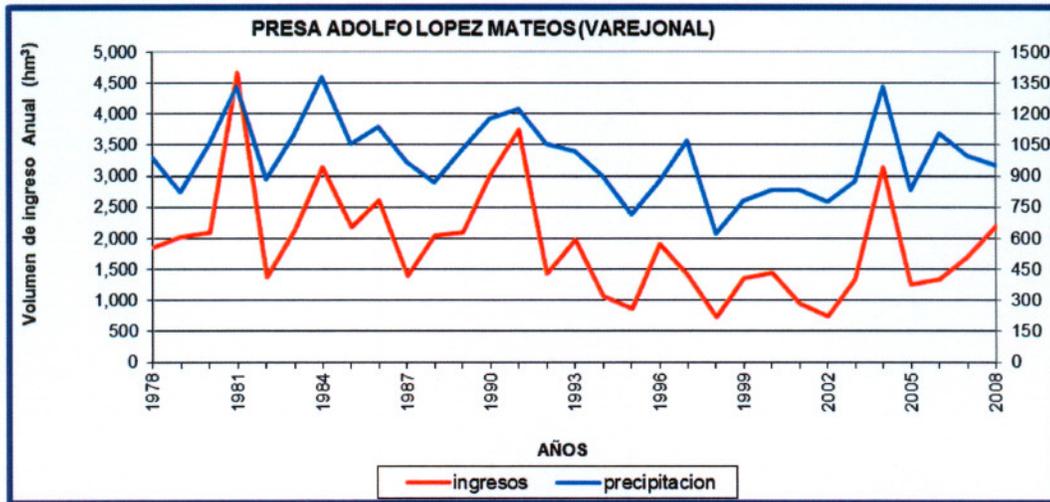
Debido a que la precipitación produce el escurrimiento superficial en la cuenca, enseguida se hace un análisis de cómo impacta la abundancia o la escasez de precipitaciones en los volúmenes de ingreso a las presas Varejonal y Sanalona, localizadas sobre los río Humaya y Tamazula, respectivamente, Figura 5.1.

Considerando el período de análisis como el del funcionamiento de cada presa, se tiene que para la presa Varejonal el promedio anual de los volúmenes de ingreso por escurrimiento superficial (VIPA) es de 1,906.39 hm³ y para la presa Sanalona es de 771.86 hm³, como podrá observarse en las tablas de volúmenes de ingresos mensuales para cada presa, en el Anexo D6; para una precipitación promedio anual (PPA) de 954.89 mm en la cuenca del río Humaya, y de

1002.4 mm para la cuenca del río Tamazula, estimadas mediante el método de las isoyetas, Anexo F y Tabla 3.4 del capítulo anterior. Para la estimación de las isoyetas se consideró el área de influencia de cada cuenca de las presas hacia aguas arriba, por lo que se consideran subcuencas de la cuenca del río Culiacán.

En la Figura 5.11, se muestra la variabilidad de los volúmenes anuales de ingreso (VIA) a la presa Varejonal y las PPA (causantes del escurrimiento), sobre la cuenca del río Humaya.

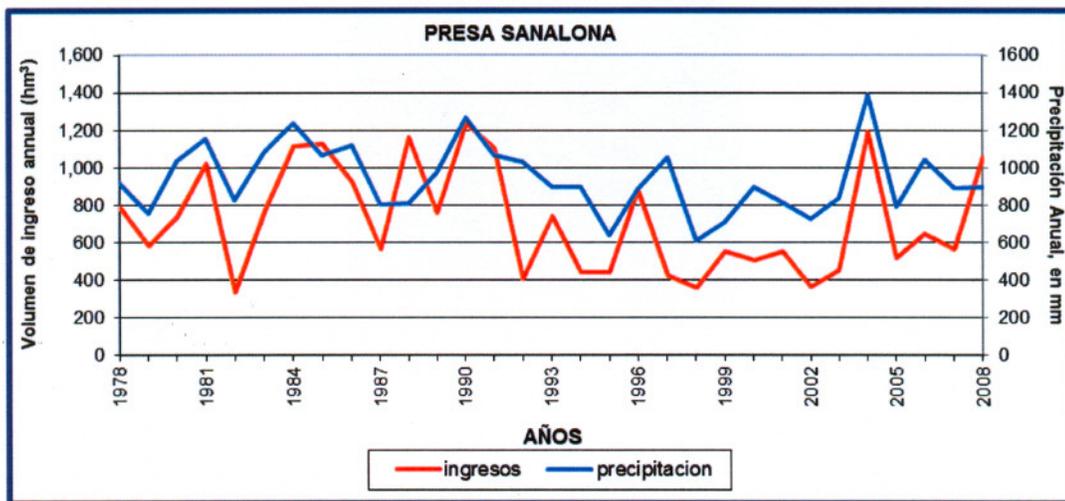
Figura 5.11: VIA (hm³) a la presa Varejonal Vs. la PPA de la subcuenca del río Humaya



Fuente: Creación propia, Dirección Técnica del OCPN

Además, en la Figura 5.12 se muestra la variabilidad de los VIA a las presa Sanalona, y las PPA sobre la cuenca del río Tamazula.

Figura 5.12: VIA (hm³) a la presa Sanalona Vs. la PPA de la subcuenca del río Tamazula

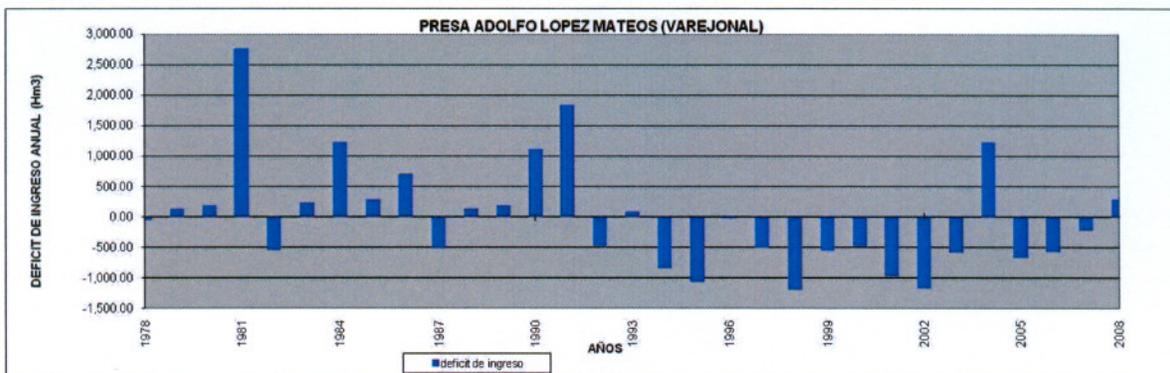


Fuente: Creación propia, Dirección Técnica del OCPN.

En las figuras anteriores, se muestra una respuesta inmediata del escurrimiento en las cuencas y su ingreso a las presas, al estímulo producido por las lluvias; se aprecia que si el año o el período es húmedo los volúmenes de ingreso a las presas es alto, en cambio, si el período es seco las precipitaciones escasean y por lo tanto los volúmenes de ingreso a la presa disminuyen; tal es el caso del período 1998-2003. Además, se aprecia que aun cuando el comportamiento de las precipitaciones en lo general es similar en ambas cuencas, el escurrimiento y los volúmenes de ingreso a las presas respectivas, en lo general también lo son, pero en algunos años en particular son distintos; esto se debe a las características fisiográficas de cada cuenca.

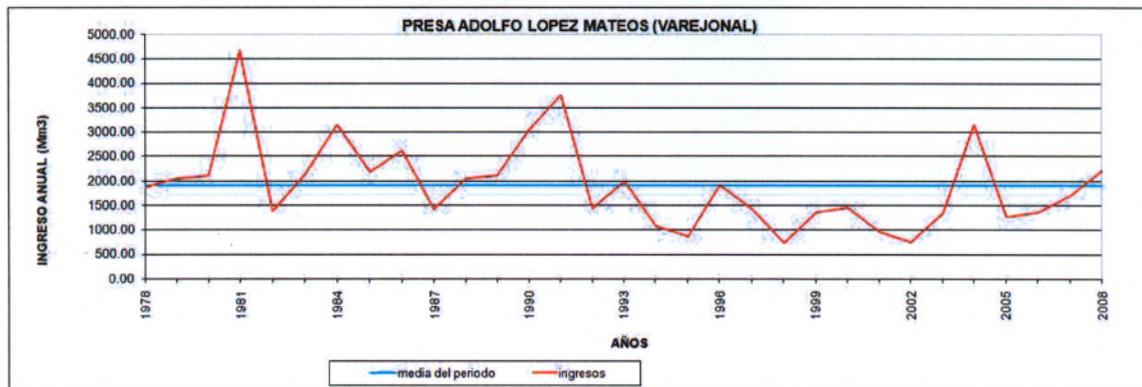
También se observa que existen períodos de humedad y de sequía, por ejemplo 1984-1985, 1990-1991, 1996-1997 y 2004, se pueden considerar períodos húmedos, y por el otro lado 1978-1979, 1981-1982, 1987-1988 y 1998-2003, se consideran períodos secos. Considerando el valor medio anual de los volúmenes de ingreso a ambas presas y la variabilidad anual de los mismos, se determinaron las anomalías de los volúmenes ingresados en cada año. En las Figuras 5.13 y 5.14 se observa el comportamiento correspondiente a la presa Varejónal.

Figura 5.13: Déficit de volúmenes de ingreso anuales a la presa Varejónal, período 1978-2008.



Fuente: Creación propia, Dirección Técnica del OCPN.

Figura 5.14: Volúmenes de ingreso anuales a la presa Varejónal, período 1978-2008.

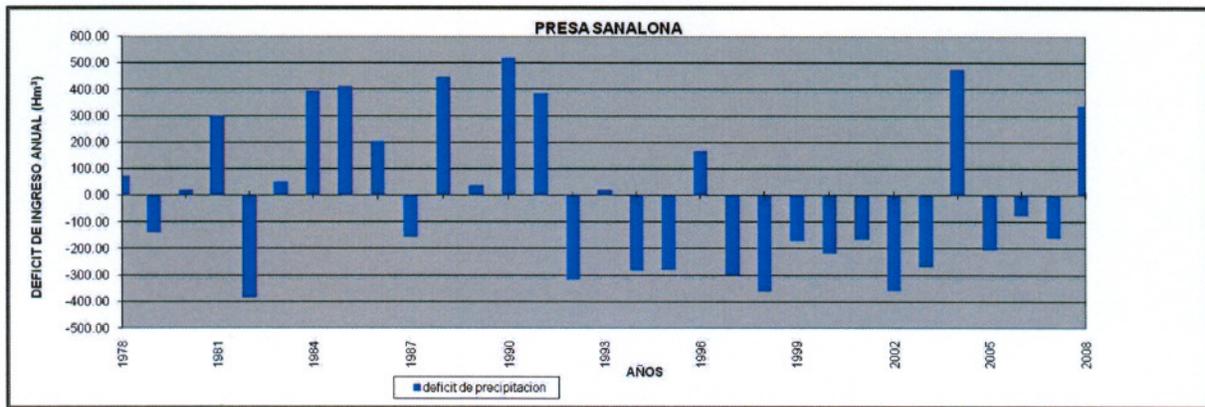


Fuente: Creación propia, Dirección Técnica del OCPN.

En las figuras anteriores, correspondientes a la presa el Varejonal, se observan cómo años húmedos sobresalientes 1981, 1984, 1991 y 2004, en donde se presentaron significativos volúmenes de ingreso muy por encima de la media histórica del período 1978-2008. En cambio, los años más secos 1994, 1998 y 2002, con fuertes déficits, con valores muy por abajo de la media. También se observa que el periodo comprendido entre 1978-1991, fue prácticamente un periodo húmedo, con pequeñas intercalaciones de años secos como 1982 y 1987, y el periodo comprendido entre 1992-2003, puede ser considerado como periodo seco, con intercalaciones de años de normalidad hídrica como 1993 y 1996, el periodo seco más sobresaliente es de 1997-2003.

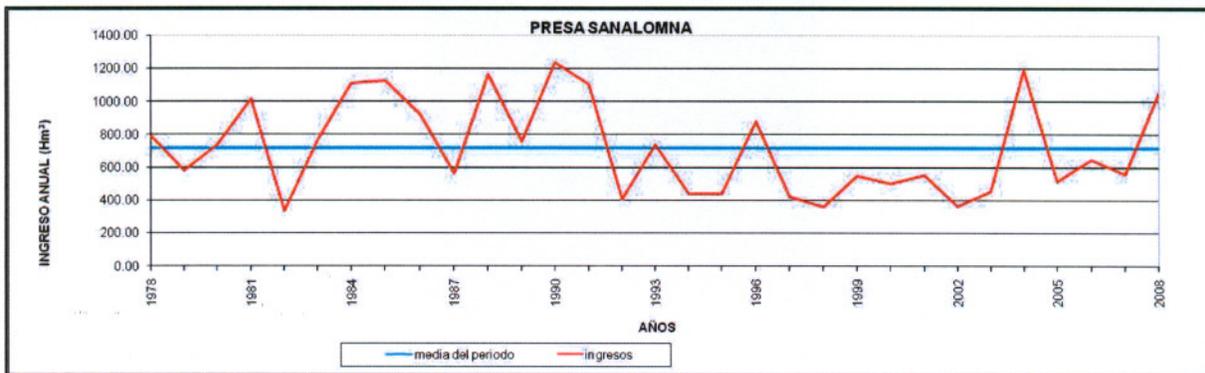
En las Figuras 5.15 y 5.16 se observa el comportamiento correspondiente a la presa Sanalona.

Figura 5.15: Déficit de volúmenes de ingreso anuales a la presa Sanalona, período 1978-2008.



Fuente: Creación propia, Dirección Técnica del OCPN.

Figura 5.16: Volúmenes de ingreso anuales a la presa Sanalona, período 1978-2008.



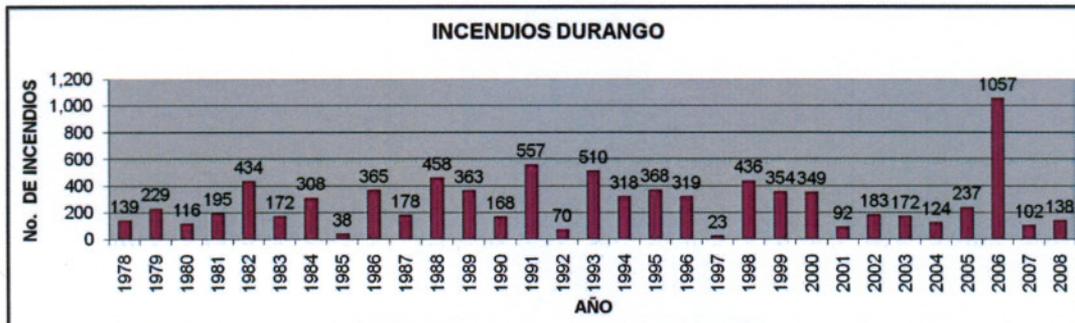
Fuente: Creación propia, Dirección Técnica del OCPN.

En estas figuras, correspondientes a la presa Sanalona, se observan años y períodos de años húmedos, tales como 1981, 1984-1986, 1988, 1990-1991, 2004 y 2008 y períodos con años secos como 1992, 1994-1995, 1997-2003 y 2005-2007. Se observa en ambos casos, presa Varejonal y Sanalona, que el período seco más prolongado e intenso se dio entre 1997-2003, en donde se manifiestan los mayores déficits de volúmenes de ingreso anuales a las presas.

Por otro lado, el déficit de humedad hídrica en la cuenca, debido a la disminución en las precipitaciones, provocó daños en áreas cultivadas de temporal, incendios forestales y una importante disminución en miles de hectáreas que se siembran bajo riego.

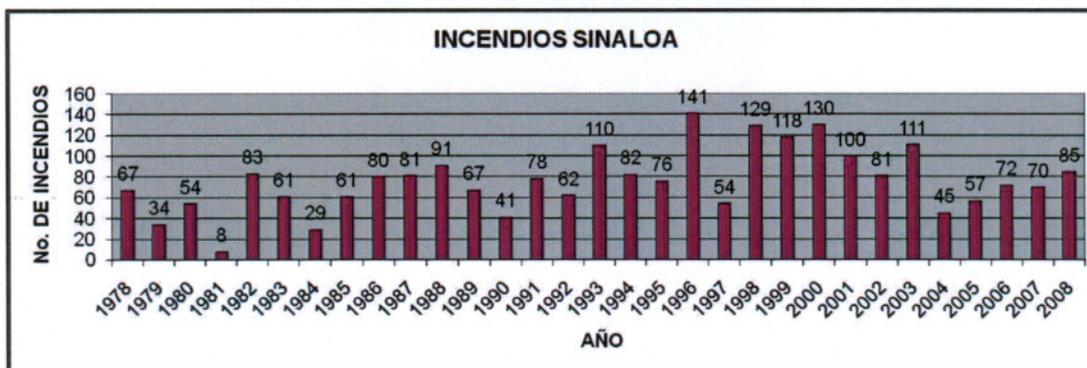
En las Figuras 5.17, 5.18, 5.19 y 5.20 siguientes, se muestra la variabilidad del número de incendios forestales, así como la cantidad de hectáreas siniestradas por los mismos, tanto para el estado de Sinaloa, como para el estado de Durango que es donde nace la cuenca del río Culiacán. En las Figuras 5.17 y 5.18, se observa que se producen mayor número de incendios en la parte alta (Durango), que en la parte media y baja (Sinaloa) de la cuenca. Además, sobresale el hecho de que en el período de sequías el número de incendios crece en ambos estados, como podrá notarse en los años 1982, 1986, 1998-2000 y 2006.

Figura 5.17: Número de incendios forestales, registrados en el estado de Durango, período 1978-2008



Fuente: OIEDRUS, Secretaria de agricultura del estado de Sinaloa

Figura 5.18: Número de incendios forestales, registrados en el estado de Sinaloa, período 1978-2008



Fuente: OIEDRUS, Secretaria de agricultura del estado de Sinaloa

Adicionalmente, en las Figuras 5.19 y 5.20, se observa que el número de has afectadas por los incendios es mayor en el estado de Durango que en Sinaloa. Además, en las mismas figuras se observa que en el período de sequías el número de has afectadas por los incendios también crece, en ambos estados; como podrá notarse en los años 1982, 1986 y 1998-2000; así mismo, se destaca que en el año 2006 se produjo una gran cantidad de incendios forestales, sin que el número de has siniestradas se incrementara de manera notable.

Figura 5.19: Superficie (has) afectada por incendios forestales en el estado de Durango, (1978-2008)



Fuente: OIEDRUS, Secretaria de agricultura del estado de Sinaloa

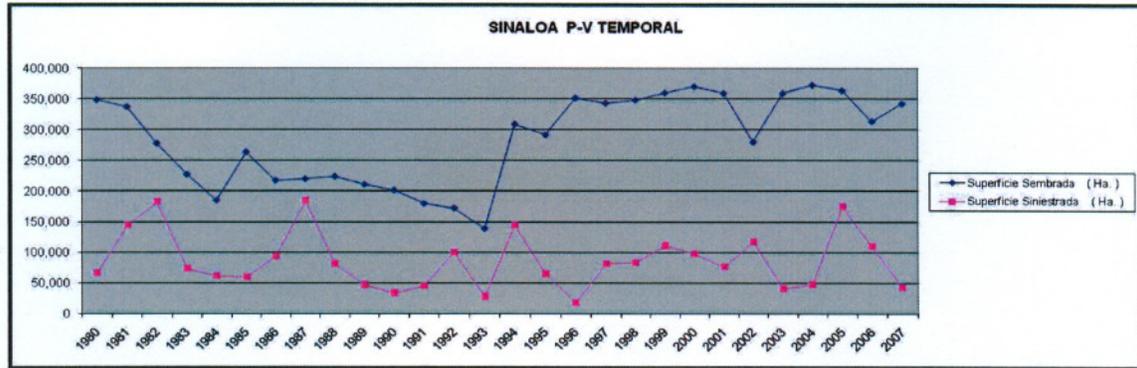
Figura 5.20: Superficie (has) afectada por incendios forestales en el estado de Sinaloa, período 1978-2008



Fuente: OIEDRUS, Secretaria de agricultura del estado de Sinaloa

En la Figuras 5.21, 5.22, 5.23 y 5.24, se muestran los resultados de un análisis histórico de la cantidad de has siniestradas por eventos secos en el período 1980-2007, para los ciclos primavera-verano y otoño-invierno, tanto para las siembras de temporal como de riego correspondientes a los estados de Sinaloa y Durango.

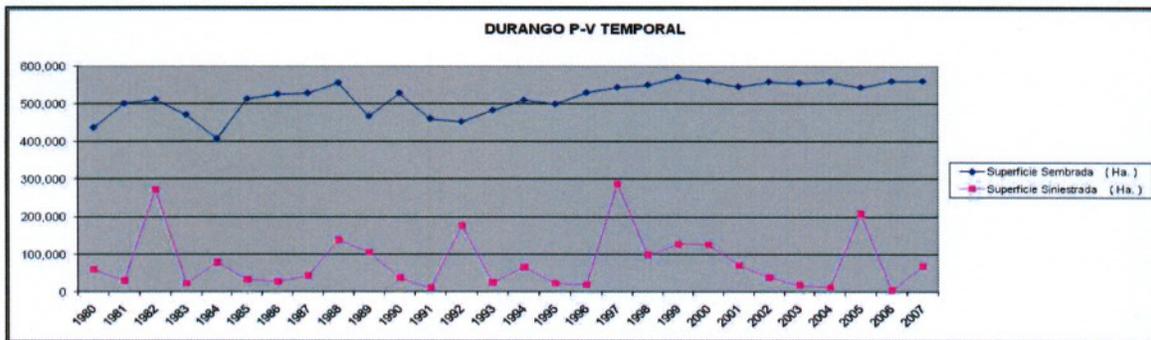
Figura 5.21: Superficies de temporal sembradas vs siniestradas por sequía, (P-V, Sinaloa, 1980-2007)



Fuente: OIEDRUS, Secretaria de agricultura del estado de Sinaloa

De la observación de la figura anterior, se destaca que en Sinaloa las sequías han siniestrado más de 150,000 has de temporal, en los años 1982, 1987, 1994 y 2005.

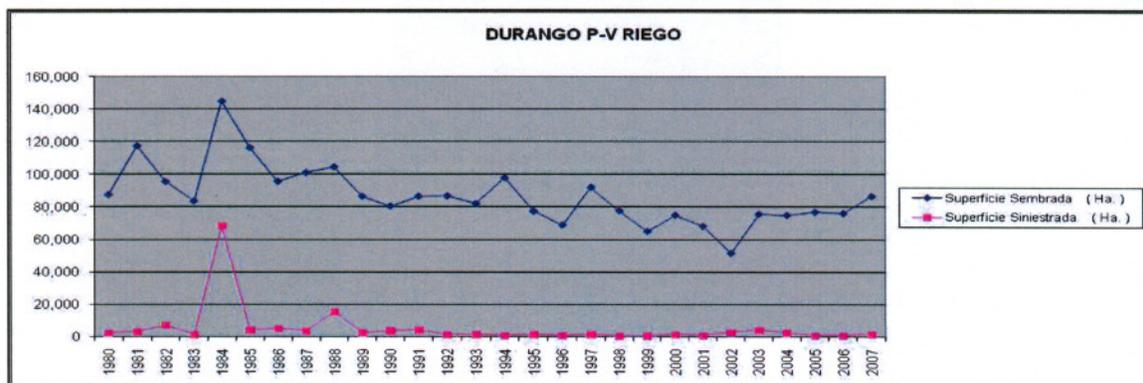
Figura 5.22: Superficies de temporal sembradas vs siniestradas por sequía, (P-V, Durango, 1980-2007)



Fuente: OIEDRUS, Secretaria de agricultura del estado de Sinaloa

Así mismo, de la observación de la figura 5.22, sobresale que en Durango las sequías han siniestrado más de 150,000 has de temporal, en los años 1982, 1992, 1997 y 2005.

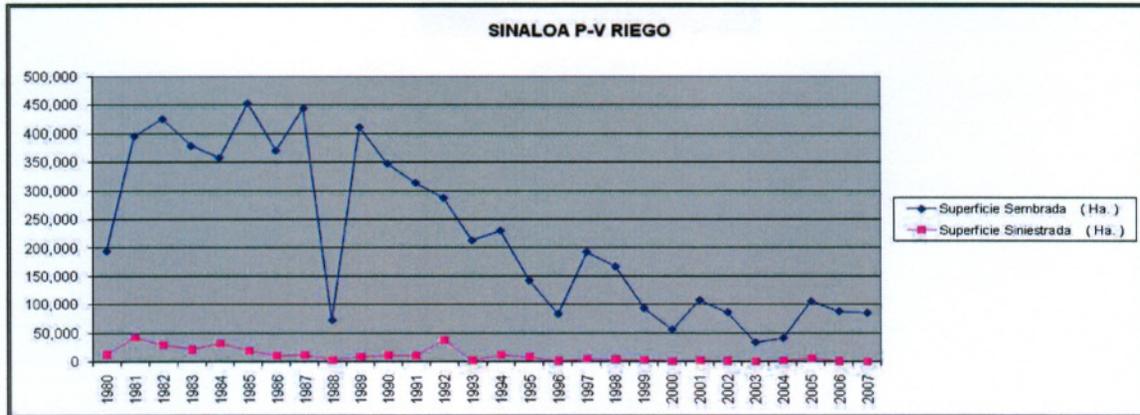
Figura 5.23: Superficie de riego sembradas vs siniestradas por sequía, (P-V, Durango, 1980-2007).



Fuente: OIEDRUS, Secretaria de agricultura del estado de Sinaloa

En cambio, en la anterior figura se ilustra que en el estado de Durango, solamente en el año de 1984 hubo pérdidas por más de 60,000 has bajo riego que fueron siniestradas por la sequía.

Figura 5.24: Superficie de riego sembradas vs siniestradas por sequía, (P-V, Sinaloa, 1980-2007).



Fuente: OIEDRUS, Secretaría de agricultura del estado de Sinaloa

Finalmente, en esta figura se observa que en el estado de Sinaloa, ocurrió el siniestro de más de 40,000 has bajo riego, en los años de 1981 y 1992.

Del análisis anterior, se concluye que las siembras en superficies de temporal son más vulnerables a la sequía que las de riego, debido a que las hectareas bajo riego se encuentran aguas abajo de las presas, que con sus volúmenes almacenados durante las lluvias anteriores permiten mitigar en parte los efectos de la sequía.

Se llevó a cabo un análisis similar para el ciclo otoño-invierno, con resultados en el comportamiento de siniestros por sequía parecido al del ciclo primavera-verano, lo que confirma que para los estados de Sinaloa y Durango se cumple lo aseverado en el párrafo anterior.

5.1.2 Índice Estandarizado de Precipitación (SPI)

Con base en la precipitación mensual en mm, mediante el programa SPI.EXE y el sistema SIG-Sinaloa, se estimaron los índices puntuales de sequía por estación, para diferentes escalas de tiempo, desde 1 hasta 48 meses, y se graficaron espacialmente para cada mes de interés.

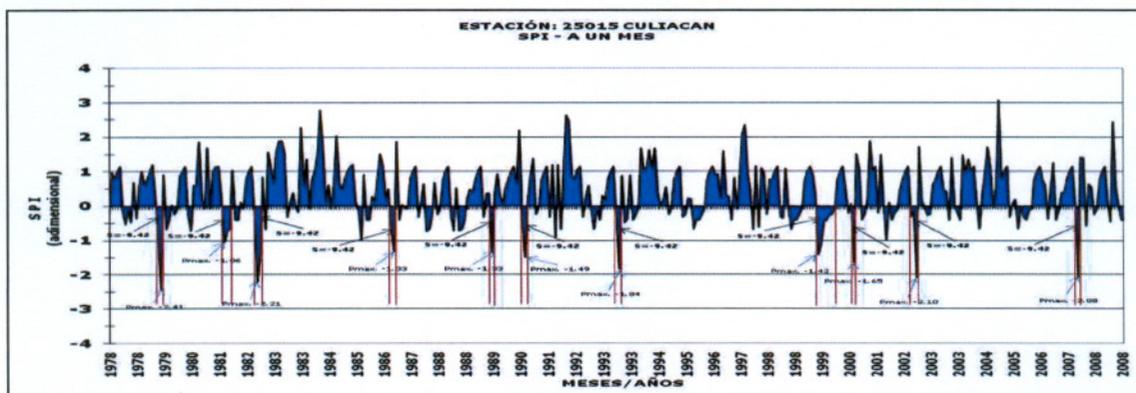
Los resultados de estos índices en diferentes escalas de tiempo, para las estaciones Culiacán, Sanalona y Varejonal; así como, el análisis de su variabilidad espacial en toda la cuenca para un mes de sequía en especial se muestran enseguida, destacando en particular los períodos y años más secos y más húmedos, dentro del período 1978-2008; el resto de los productos se muestran en el Anexo H.

El SPI para la estación Culiacán

En las Figuras 5.25, 5.26, 5.27 y 5.28, se muestran los índices SPI obtenidos para las escalas a 1, 3, 6 y 12 meses, de la estación Culiacán, en el período 1978-2008. En estas figuras se observa el suavizado que se produce en las curvas que envuelven a los índices (conforme la escala es mayor, el efecto de la sequía se atenúa).

La escala temporal a un mes (SPI1)

Figura 5.25: El SPI1 de la estación Culiacán, período 1978-2008



Hayes, 2000:pag. Clasificación de rangos de valores del índice de sequía SPI

Con base en esta figura, que ilustran la variabilidad de los SPI a un mes, se determinó su fase de sequía conforme a la clasificación de rango de valores descrita en la Figura 4.12 del punto 4.4.2.3.2; para ello, se elaboró la Tabla 5.2 en donde se indican las características temporales de sequía más importantes para la estación Culiacán, como son: inicio, duración, término, severidad, intensidad, pico máximo, desfaseamiento, frecuencia, velocidad de implantación y fase.

Tabla 5.2 Características de las sequías en la estación Culiacán (SPI1, 1978-2008)

Periodo	F. Inicio	F. Termino	D	S	I	Fase	F	Ni	P máx	V i	De
1979 - 1979	Jul 1979	Ago 1979	2	-3.52	-1.76	s. incipiente	Sequia Moderada 1	8.00	-2.41	2.00	18
1981 - 1981	Jul 1981	Sep 1981	3	-2.47	-0.82	normal			-1.06	1.00	22
1982 - 1982	Jun 1982	Ago 1982	3	-3.91	-1.30	s. incipiente			-2.21	2.00	8
1986 - 1986	Ago 1986	Sep 1986	2	-2.05	-1.03	s. incipiente			-1.33	2.00	47
1989 - 1989	Sep 1989	Sep 1989	1	-1.33	-1.33	s. incipiente	Sequia Incipiente 7	8.00	-1.33	1.00	35
1990 - 1990	Ago 1990	Sep 1990	2	-2.11	-1.06	s. incipiente			-1.49	2.00	10
1993 - 1993	Jun 1993	Jul 1993	2	-2.16	-1.08	s. incipiente			-1.84	2.00	32
1999 - 2000	Ago 1999	Feb 2000	7	-4	-0.57	normal	Normalidad Hídrica 3	8.00	-1.42	1.00	72
2000 - 2000	Sep 2000	Sep 2000	1	-1.65	-1.65	s. incipiente			-1.65	1.00	6
2002 - 2002	Jun 2002	Ago 2002	3	-2.56	-0.85	normal			-2.10	3.00	20
2007 - 2007	Jul 2007	Jul 2007	1	-2.08	-2.08	s. moderada			-2.08	1.00	58

Fuente: Creación propia

Nota: D= Duración, S= Severidad, I= Intensidad, F= Frecuencia, Nt= Número total de sequías, Pmax= Pico Máximo, Vi= Velocidad de implantación y De= Desfasamiento de la sequía.

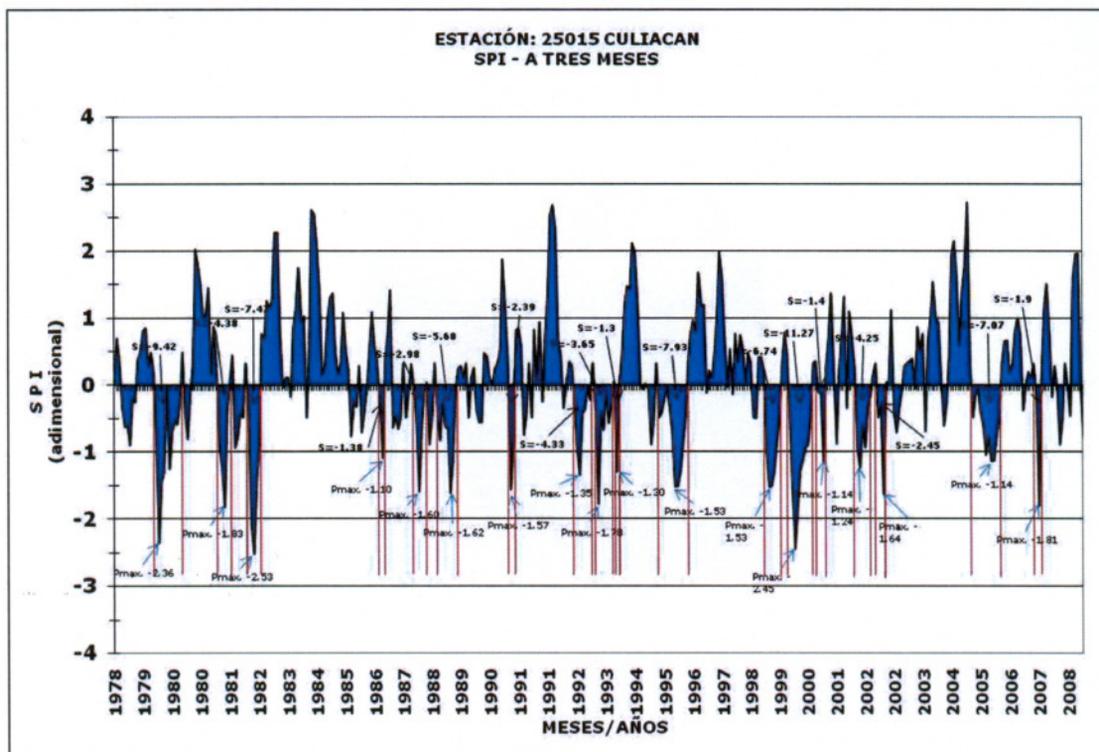
En la Figura 5.25 y Tabla 5.2, se aprecia que con el SPI existen ocho picos de sequía, de los cuales 7 corresponden a sequía incipiente y una a sequía moderada, la cual ocurrió en el mes de julio de 2007; las sequías incipientes correspondientes a esta escala fueron detectadas en los meses junio, julio, agosto y septiembre, según el año 1979, 1982, 1986, 1989, 1990, 1993, 2000 y 2007, con duraciones de uno a tres meses; con una severidad fluctuante de -1.65 a -4.0, una intensidad de sequía variando entre -1.03 y -2.08, con picos máximos de intensidad de sequía entre -1.06 y -2.41, velocidades de implantación entre uno y tres meses y desfases entre sequías desde 6 hasta 47 meses.

Adicionalmente, a partir de los resultados obtenidos de la figura, se seleccionaron meses de interés para su graficado espacial mediante el sistema SIG-Sinaloa, para determinar su característica espacial o extensión.

De manera similar se obtuvieron los resultados para el SPI3, SPI6 y SPI12 de la estación Culiacán, que se describen a continuación:

La escala temporal a tres meses (SPI3)

Figura 5.2. El SPI3 de la estación Culiacán, período 1978-2008.



Hayes, 2000:pag. Clasificación de rangos de valores del índice de sequía SPI

Tabla 5.3. Características de las sequías en la estación Culiacán (SPI3, 1978-2008)

Periodo	F. Inicio	F. Termino	D	S	I	FASE	F	Nt	P máx	Vi	De
1979 - 1980	Jul 1979	Abr 1980	10	-9.42	-0.94	normal	Sequia Incipiente 6	6	-2.36	2	16
1981 - 1981	Jul 1981	Oct 1981	4	-4.38	-1.10	s. incipiente			-1.83	3	14
1982 - 1982	Jun 1982	Oct 1982	5	-7.47	-1.49	s. incipiente			-2.53	3	7
1986 - 1986	Ago 1986	Sep 1986	2	-1.38	-0.69	normal			-1.10	2	45
1987 - 1988	Sep 1987	Ene 1988	5	-2.98	-0.60	normal			-1.60	3	11
1988 - 1989	Jun 1988	Ene 1989	8	-5.68	-0.71	normal			-1.62	6	4
1990 - 1990	Oct 1990	Nov 1990	2	-2.39	-1.20	s. incipiente			-1.57	1	20
1992 - 1993	Oct 1992	Abr 1993	7	-3.65	-0.52	normal			-1.35	3	22
1993 - 1993	Jun 1993	Dic. 1993	7	-4.33	-0.62	normal			-1.78	2	1
1994 - 1994	Feb 1994	Feb 1994	1	-1.3	-1.30	s. incipiente			-1.30	1	1
1995 - 1996	Jun 1995	Abr 1996	11	-7.93	-0.72	normal			-1.53	7	15
1998 - 1999	Nov 1998	Abr 1999	6	-6.74	-1.12	s. incipiente			-1.53	2	30
1999 - 2000	Ago 1999	Abr 2000	9	-11.27	-1.25	s. incipiente	-2.45	3.	3		
2000 - 2000	Jul 2000	Sep 2000	3	-1.4	-0.47	normal	-1.14	3	2		
2001 - 2002	Oct 2001	Mar 2002	6	-4.25	-0.71	normal	-1.24	2	12		
2002 - 2002	Jun 2002	Ago 2002	3	-2.45	-0.82	normal	-1.64	3	2		
2005 - 2006	Jun 2005	Abr 2006	11	-7.07	-0.64	normal	-1.14	8	33		
2007 - 2007	Jun 2007	Jul 2007	2	-1.9	-0.95	normal	-1.81	2	13		
							Normalidad Hídrica 12				

Fuente: Creación propia

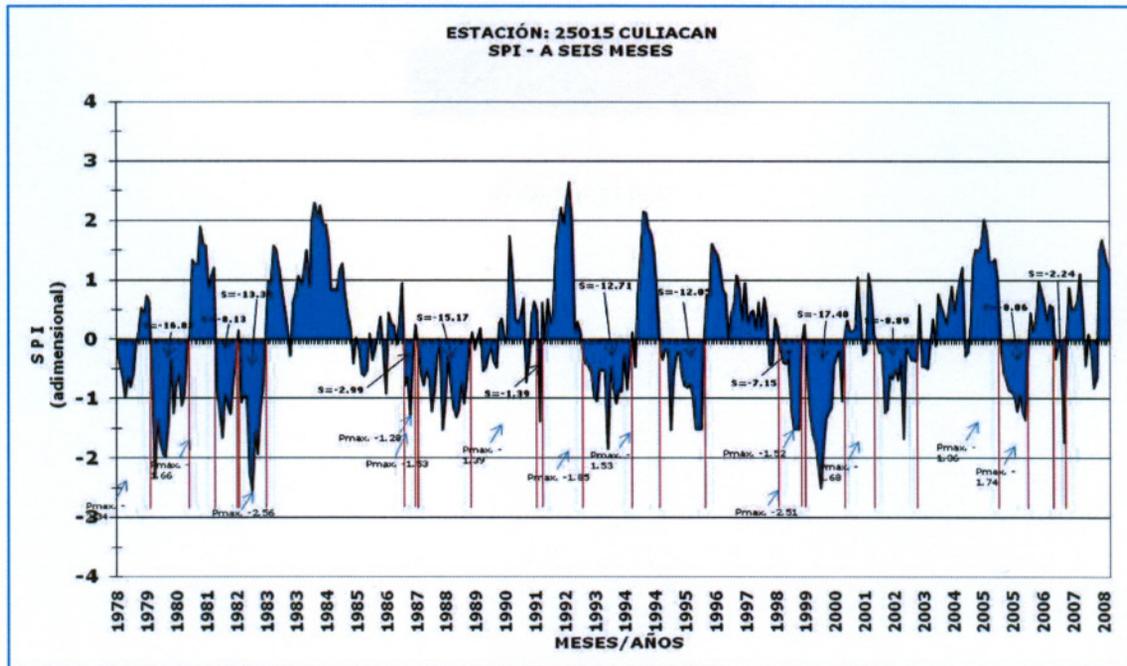
Nota: D= Duración, S= Severidad, I= Intensidad, F= Frecuencia, Nt= Número total de sequías, Pmax= Pico Máximo, Vi= Velocidad de implantación y De= Desfasamiento de la sequía.

En la Figura 5.26 y Tabla 5.3, se observa que para el SPI3, el número total de sequías decrece de 8 a 6, atenuándose la sequía: ya no aparece la sequía moderada, solamente la incipiente con seis, las cuales fueron detectadas en los diferentes meses del año, según el período con sequía correspondiente a los años 1981, 1982, 1990, 1994, 1999 y 2000; la duración de la sequía se incrementó a períodos que fluctúan entre 1 y 9 meses, la cual ocurrió de agosto de 1999 a abril de 2000. Además, se tiene que los años con sequía incipiente coincidentes entre las escalas a 1 y 3 meses son 1982, 1990 y 2000, pero incrementándose el período de sequías, en dos meses en 1982 y 2000.

Por otra parte, al incrementarse los períodos de sequía, se incrementó la severidad pero bajó la intensidad; la severidad fluctuó entre -1.3 y -11.27, y la intensidad varió entre -1.10 y 1.49. Los picos máximos de intensidad de sequía fluctuaron entre -1.30 y -2.53; la velocidad de implantación osciló entre uno y tres meses; y el desfasamiento entre sequías disminuyó en algunos casos, pero aumentó en otros, debido a que en un período de 3 meses, existió un valor menor a menos uno, pero en su conjunto el período resultó ser de normalidad hídrica, este concepto es muy variable.

La escala temporal a seis meses (SPI6)

Figura 5.27. El SPI6 de la estación Culiacán, período 1978-2008



Hayes, 2000:pag. Clasificación de rangos de valores del índice de sequía SPI

Tabla 5.4. Características de las sequías en la estación Culiacán, (SPI6, 1978-2008)

Período	F. Inicio	F. Termino	D	S	I	Fase	F	Nt	P máx	Vi	De
1979 - 1980	Jul 1979	Ago 1980	14	-16.82	-1.20	s. incipiente	Sequia incipiente	5	-2.34	2	13
1981 - 1982	Jul 1981	Feb 1982	8	-8.13	-1.02	s. incipiente			-1.66	3	10
1982 - 1982	Abr 1982	Dic 1982	9	-13.35	-1.48	s. incipiente			-2.56	5	1
1987 - 1987	Abr 1987	Jul 1987	4	-2.99	-0.75	normal			-1.28	3	51
1987 - 1989	Sep 1987	Abr 1989	20	-15.17	-0.76	normal			-1.53	10	1
1991 - 1991	Jun 1991	Jun 1991	1	-1.39	-1.39	s. incipiente	Normalidad Hidrica	8	-1.39	1	25
1992 - 1994	Oct 1992	Mar 1994	18	-12.71	-0.71	normal			-1.85	10	15
1995 - 1996	Feb 1995	Jun 1996	17	-12.05	-0.71	normal			-1.53	5	10
1998 - 1999	Oct 1998	Jun 1999	9	-7.15	-0.79	normal			-1.52	6.	27
1999 - 2000	Ago 1999	Sep 2000	14	-17.48	-1.25	s. incipiente			-2.51	6	1
2001 - 2003	Oct 2001	Ene 2003	16	-8.89	-0.56	normal	Normalidad Hidrica	8	-1.68	11	12
2005 - 2006	Ago 2005	Jun 2006	10	-8.86	-0.89	normal			-1.36	9	30
2007 - 2007	Abr 2007	Jul 2007	4	-2.24	-0.56	normal			-1.74	4	9

Fuente: Creación propia

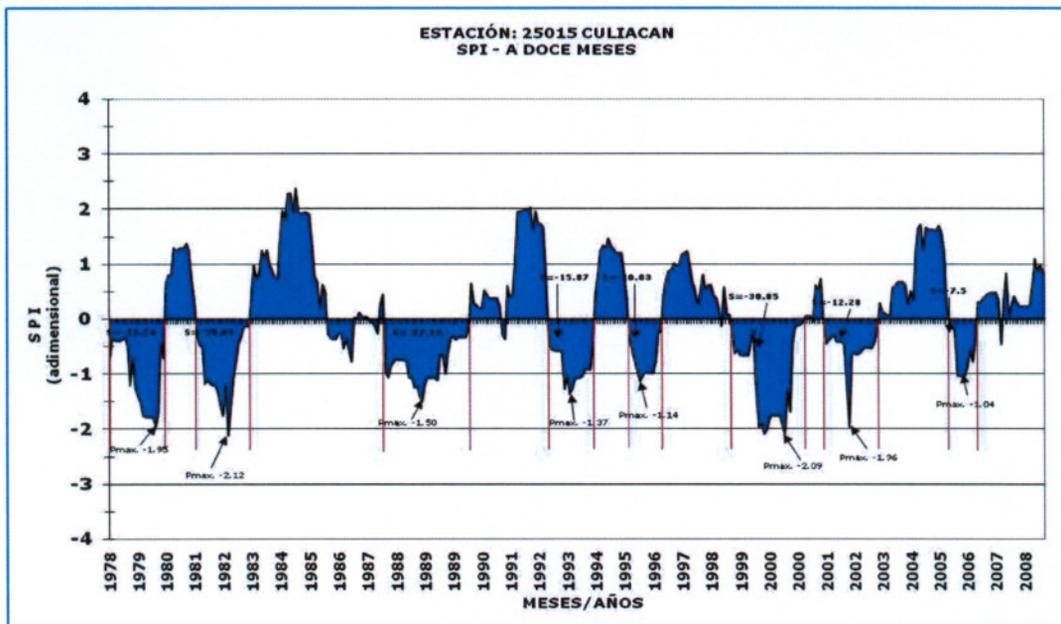
Nota: D= Duración, S= Severidad, I= Intensidad, F= Frecuencia, Nt= Número total de sequías, Pmax= Pico Máximo, Vi= Velocidad de implantación y De= Desfasamiento de la sequía.

De la Figura 5.27 y Tabla 5.4 correspondientes a el SPI6, se observa que el número de sequías baja a cinco, todas ellas incipientes, atenuándose todavía más la intensidad de la sequía; los años o períodos considerados con sequía son 1979-1980, con duración de 14 meses, 1981-1982 con 8, 1982 con 9, 1991 con uno y 1999-2000 con 14 meses.

Así mismo, la duración de la sequía se incrementó, en la mayoría de los casos; variando entre 1 y 14 meses. Además se incrementó la severidad, fluctuando entre -1.39 y -17.48; y decreció la intensidad, oscilando entre -1.02 y -1.48. También el pico máximo de la sequía fue menor, variando entre -1.39 y -2.56; la velocidad de implantación fluctuó entre 1 y 6 meses; de igual manera el desfaseamiento es muy variable, no existe periodicidad.

La escala temporal a doce meses (SPI12)

Figura 5.28: El SPI12 de la estación Culiacán, período 1978-2008



Hayes, 2000:pag. Clasificación de rangos de valores del índice de sequía SPI

Tabla 5.5. Características de las sequías en la estación Culiacán, (SPI12, 1978-2008).

Periodo	F. Inicio	F. Termino	D	S	I	Fase	F	Nt	P máx	Vi	De
1978 - 1980	Dic. 1978	Sep. 1980	22	-23.24	-1.06	s. Incipiente	Sequia Incipiente 2	2	-1.95	19	11
1981 - 1983	Oct. 1981	Jun. 1983	21	-19.81	-0.94	normal			-2.12	13	12
1987 - 1990	Oct. 1987	Jun. 1990	33	-27.11	-0.82	normal			-1.50	15	51
1993 - 1994	Ene. 1993	Jun. 1994	18	-15.87	-0.88	normal			-1.37	9	30
1995 - 1996	Ago. 1995	Ago. 1996	13	-10.03	-0.77	normal	Normalidad Hídrica 6		-1.14	5	13
1998 - 2001	Nov. 1998	Feb. 2001	28	-30.85	-1.10	s. incipiente			-2.09	13	26
2001 - 2003	Oct. 2001	Jul. 2003	22	-12.28	-0.56	normal			-1.96	11	7
2005 - 2006	Nov. 2005	Sep. 2006	11	-7.5	-0.68	normal			-1.04	5	27

Fuente: Creación propia

Nota: D= Duración, S= Severidad, I= Intensidad, F= Frecuencia, Nt= Número total de sequías, Pmax= Pico Máximo, Vi= Velocidad de implantación y De= Desfasamiento de la sequía.

Finalmente, de la Figura 5.28 y Tabla 5.5 correspondiente al SPI12 (útil para la sequía hidrológica), se observa que el número de sequías bajó a dos de fase incipiente, las cuales se presentaron durante los periodos 1978-1980 y 1998-2001; en el primer periodo la duración fue de 22 meses, con severidad de -23.24, intensidad de -1.06, pico máximo de -1.95, velocidad de implantación 19 meses con desfase desconocido; y en el segundo periodo 1998-2001, la duración fue de 28 meses, con severidad de -30.85, intensidad de -1.10, pico máximo de -2.09 y una velocidad de implantación de 13 meses. El desfase entre ambas sequías es de más de 18 años. Es importante resaltar como las curvas de las series de tiempo de los índices SPI1 a SPI12 se fueron suavizando conforme crecía la escala en meses.

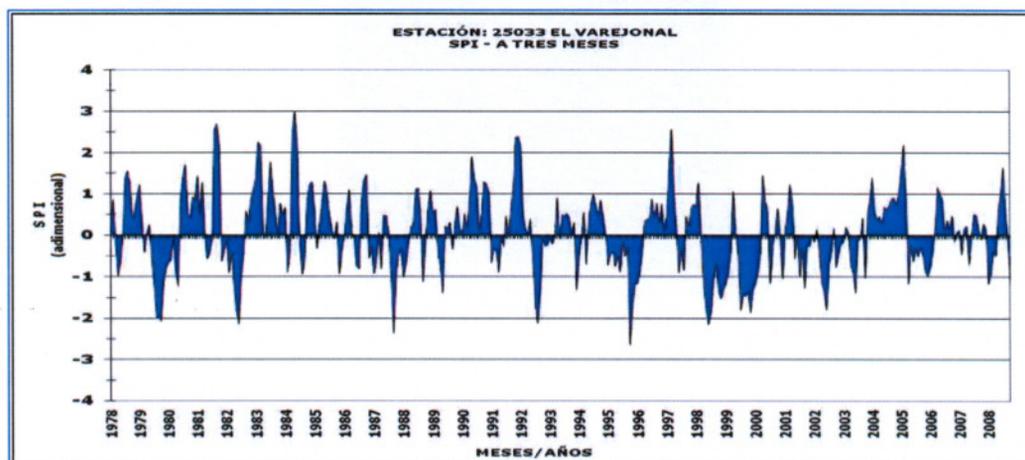
Los resultados de la estación Culiacán, la cual representa a la zona de explotación del acuífero, indican que en la zona acuífera se han presentado sequías de incipientes a moderadas, con los índices de sequía a un mes y solamente sequías incipientes con escalas a 3, 6 y 12 meses del SPI, siendo menores en frecuencia, severidad e intensidad conforme la escala es mayor y por tanto su riesgo a la sequías es bajo. Además, de que cuenta con un distrito de riego que aporta aguas superficiales y subterráneas como retorno de riego, por lo que su vulnerabilidad a las sequías también es baja.

El SPI para la estación Varejonal

Para esta estación y las que siguen se hace un análisis de las sequías mediante el SPI para diferentes escalas de tiempo; aun sin embargo por lo abundante de la información solo se presentan los resultados para el SPI3 y SPI12, con la idea de establecer una comparativa de la variabilidad espacial de la sequía, tomando como ejemplos algunas estaciones de la parte media y alta de la cuenca; el resto de los resultados se presenta en el Anexo H.

La escala temporal a tres meses (SPI3)

Figura 5.29: El SPI3 de la estación El Varejonal, periodo 1978-2008



Hayes, 2000:pag. Clasificación de rangos de valores del índice de sequía SPI

Tabla 5.6: Características de las sequías en la estación Varejonal, (SPI3, 1978-2008)

Periodo	F. Inicio	F. Termino	D	S	I	Fase	F	Nt	P máx	Vi	De
1979 - 1980	Agosto 1979	Julio 1980	12	-12.96	-1.08	s. incipiente	Sequia incipiente 4	4	-2.06	5	19
1982 - 1982	Enero 1982	Octubre 1982	10	-8.89	-0.89	normal			-2.13	8	17
1987 - 1988	Octubre 1987	Mayo 1988	8	-6.96	-0.87	normal			-2.35	2	59
1988 - 1988	Nov. 1988	Dic. 1988	2	-1.14	-0.57	normal			-1.11	1	5
1989 - 1989	Mayo 1989	Julio 1989	3	-2.47	-0.82	normal			-1.38	3	4
1992 - 1993	Agosto 1992	Enero 1993	10	-6.66	-0.67	normal			-2.11	3	36
1994 - 1994	Febrero 1994	Abril 1994	3	-1.87	-0.62	normal			-1.30	1	8
1995 - 1996	Marzo 1995	Mayo 1996	15	-12.48	-0.83	normal			-2.63	10	10
1998 - 1999	Abril 1998	Mayo 1999	13	-15.47	-1.19	s. incipiente			-2.14	4	23
1999 - 2000	Agosto 1999	Mayo 2000	10	-12.11	-1.21	s. incipiente			-1.85	6	2
2000 - 2000	Sept. 2000	Octubre 2000	2	-1.37	-0.69	normal			-1.14	1	3
2001 - 2001	Febrero 2001	Febrero 2001	1	-1.03	-1.03	s. incipiente			-1.03	1	3
2001 - 2002	Sept. 2001	Enero 2002	5	-3.05	-0.61	normal			-1.25	3	6
2002 - 2003	Mayo 2002	Marzo 2003	11	-7.21	-0.66	normal			-1.78	4	3
2003 - 2003	Junio 2003	Octubre 2003	5	-3.18	-0.64	normal	-1.37	3	2		
2005 - 2006	Junio 2005	Abril 2006	11	-6.38	-0.58	normal	Normalidad Hídrica 14	-1.15	1	19	
2008 - 2008	Marzo 2008	Junio 2008	4	-2.92	-0.73	normal		-1.15	1	22	
2008 - 2008	Nov. 2008	Dic. 2008	2	-1.34	-0.67	normal		-1.16	2	4	

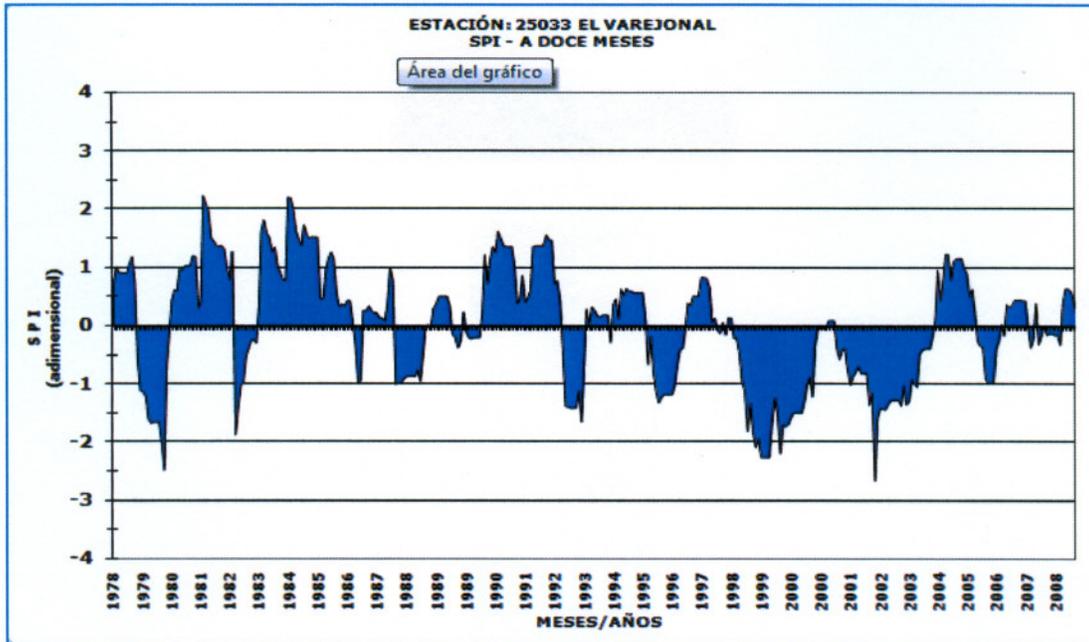
Fuente: Creación propia

Nota: D= Duración, S= Severidad, I= Intensidad, F= Frecuencia, Nt= Número total de sequías, Pmax= Pico Máximo, Vi= Velocidad de implantación y De= Desfasamiento de la sequía.

En la Figura 5.29 y Tabla 5.6 del SPI3 para la estación Varejonal, se observa que el número total de sequías es de 4, todas en fase incipiente; la primera fue detectada en el período agosto de 1979 a julio de 1980, con una duración de 12 meses, una severidad de -12.96, una intensidad de -1.08, un pico máximo de -2.6, una velocidad de implantación de 5 meses y un desfasamiento de 19 meses con respecto a la anterior; la segunda ocurrió de abril de 1998 a mayo de 1999, con una duración de 13 meses, una severidad de -15.47 y una intensidad de -1.19, un pico máximo de -2.14 y una velocidad de implantación de 4 meses; la tercera correspondió al período de agosto de 1999 a mayo de 2000, con una duración de 10 meses, una severidad de -12.11 meses, una intensidad de -1.21, un pico máximo de -1.85 y una velocidad de implantación de 6 meses; y finalmente la cuarta ocurrió en febrero de 2001, con una severidad igual a la intensidad de -1.03.

La escala temporal a doce meses (SPI12)

Figura 5.30: El SPI12 de la estación El Varejonal, período 1978-2008.



Hayes, 2000:pag. Clasificación de rangos de valores del índice de sequía SPI.

Tabla 5.7. Características de las sequías en la estación Varejonal, (SPI12, 1978-2008).

Periodo	F. Inicio	F. Termino	D	S	I	Fase	F	Nt	P máx	Vi	De
1979 - 1980	Sept. 1979	Sept. 1980	13	-17.36	-1.34	s. incipiente	Sequia Incipiente	3.00	-2.47	11	20
1982 - 1983	Oct. 1982	Junio 1983	9	-6.85	-0.76	normal			-1.86	1	24
1992 - 1993	Dic. 1992	Ago. 1993	9	-10.77	-1.20	s. incipiente	3		-1.64	8	113
1995 - 1996	Ago. 1995	Oct. 1996	15	-12.38	-0.83	normal	Normalidad Hídrica	-1.31	5	23	
1998 - 2001	Abril 1998	Feb. 2001	35	-44.63	-1.28	s. incipiente		-2.25	11	17	
2001 - 2004	Junio 2001	Junio 2004	37	-35.6	-0.96	normal	3	-2.65	15	3	

Fuente: Creación propia

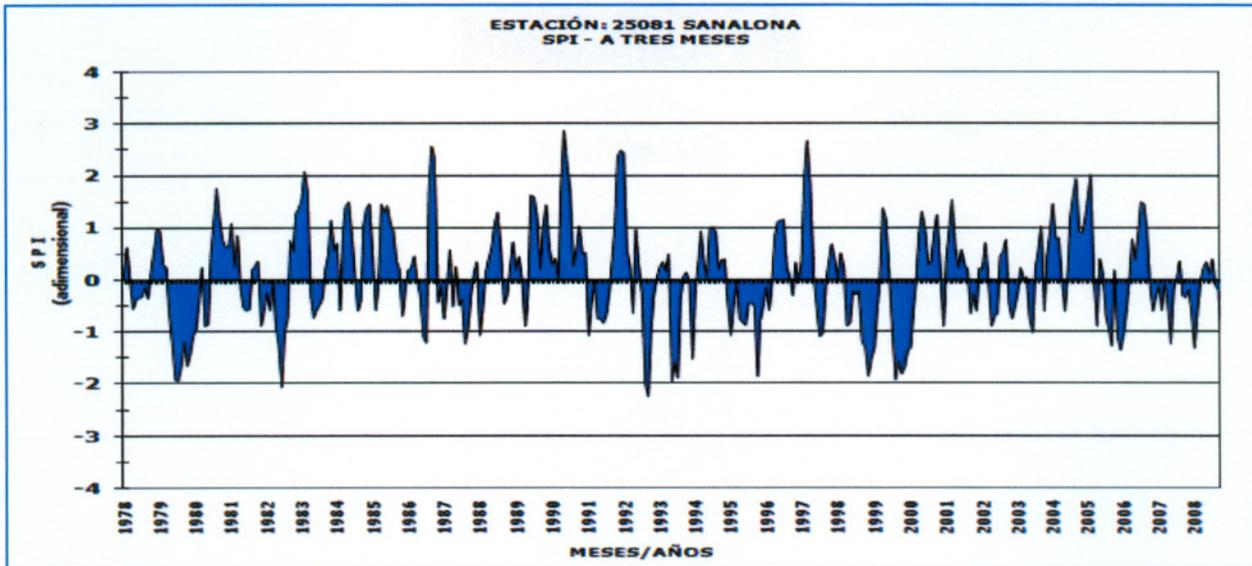
Nota: D= Duración, S= Severidad, I= Intensidad, F= Frecuencia, Nt= Número total de sequías, Pmax= Pico Máximo, Vi= Velocidad de implantación y De= Desfasamiento de la sequía.

En el caso del SPI a una escala de 12 meses (útil para las sequías hidrológicas), el número de sequías bajó a tres, todas de fase incipiente; la primera sequía se presentó durante el período de septiembre de 1979 a septiembre de 1980, con una duración de 13 meses, una severidad de -17.36, una intensidad de -1.34, el pico máximo fue de -2.47, la velocidad de implantación 11 meses con desfasamiento de 20 meses; la segunda correspondió al período diciembre de 1992 a agosto de 1993, con una duración de 9 meses, una severidad de -10.77, intensidad de -1.20, pico máximo de -1.64 y una velocidad de implantación de 8 meses. El desfasamiento entre ambas sequías es de más de 12 años.

El SPI para la estación Sanalona

La escala temporal a tres meses (SPI3)

Figura 5.31: El SPI3 de la estación Sanalona, período 1978-2008



Hayes, 2000:pag. Clasificación de rangos de valores del índice de sequía SPI

Tabla 5.8. Características de las sequías en la estación Sanalona, (SPI3, 1978-2008)

Periodo	F. Inicio	F. Termino	D	S	I	Fase	F	Nt	Pmáx	Vi	De
1979 - 1980	Junio 1979	Abril 1980	11	-14.01	-1.27	s. incipiente	Sequia Incipiente 6	6	-1.94	4	17
1982 - 1982	Junio 1982	Oct. 1982	5	-5.96	-1.19	s. incipiente			-2.06	3	25
1986 - 1986	Junio 1986	Sept. 1986	4	-2.59	-0.65	normal			-1.21	4	43
1987 - 1987	Ago. 1987	Dic. 1987	5	-3.28	-0.66	normal			-1.23	3	10
1988 - 1988	Mar. 1988	Abril 1988	2	-1.54	-0.77	normal			-1.07	1	2
1991 - 1991	Mar. 1991	Abril 1991	2	-1.54	-0.77	normal			-1.07	1	34
1992 - 1993	Sept. 1992	Enero 1993	5	-5.8	-1.16	s. incipiente			-2.24	3	16
1993 - 1993	Julio 1993	Oct. 1993	4	-5.79	-1.45	s. incipiente			-1.95	1	5
1994 - 1994	Enero 1994	Marzo 1994	3	-1.76	-0.59	normal			-1.52	2	2
1995 - 1995	Feb. 1995	Abril 1995	3	-1.97	-0.66	normal			-1.07	2	10
1995 - 1996	Junio 1995	Abril 1996	11	-7.69	-0.70	normal			-1.86	7	1
1997 - 1997	Ago. 1997	Nov. 1997	4	-2.73	-0.68	normal			-1.09	2	15
1998 - 1999	Junio 1998	Abril 1999	11	-10.17	-0.92	normal			-1.85	8	6
1999 - 2000	Sept. 1999	Abril 2000	8	-11.15	-1.39	s. incipiente			-1.92	2	4
2003 - 2003	Julio 2003	Ago. 2003	2	-1.78	-0.89	normal	-1.02	2	38		
2005 - 2005	Sept. 2005	Nov. 2005	3	-2.89	-0.96	normal	-1.27	3	24		
2006 - 2006	Enero 2006	Abril 2006	4	-4.1	-1.03	s. incipiente	-1.35	2	1		
2007 - 2007	Junio 2007	Ago. 2007	3	-1.82	-0.61	normal	-1.23	2	13		
2007 - 2008	Nov. 2007	Abril 2008	6	-3.34	-0.56	normal	-1.32	5	2		
2008 - 2008	Oct. 2008	Dic. 2008	3	-1.47	-0.49	normal	-1.20	3	5		
							Normalidad Hídrica	14			

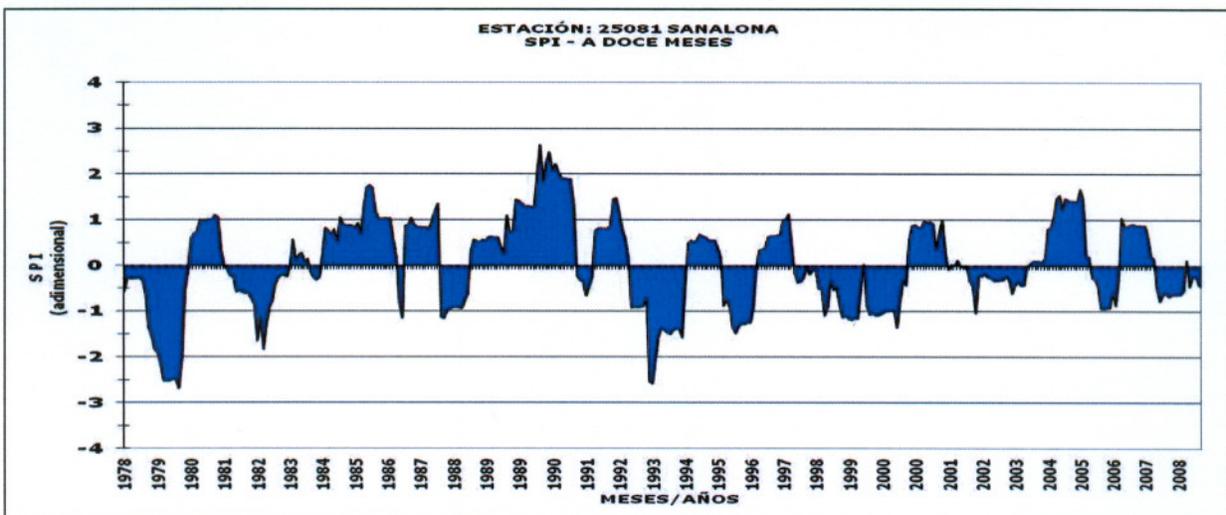
Fuente: Creación propia

Nota: D= Duración, S= Severidad, I= Intensidad, F= Frecuencia, Nt= Número total de sequías, Pmax= Pico Máximo, Vi= Velocidad de implantación y De= Desfasamiento de la sequía.

En las Figura 5.31 y Tabla 5.8 anteriores, correspondientes a la estación Sanalona, considerando el SPI3, se observa que en todo el período de análisis el número total de sequías es de 6, todas en fase incipiente, con diferente duración que va desde 4 hasta 11 meses, la más larga fue en el período junio de 1979 a abril de 1980; las demás sequías ocurrieron en los años 1982, 1992-1993, 1993, 1999-2000 y 2006. La intensidad de las sequías fluctuó entre -1.03 (2006) hasta -1.45 (1993). Los picos máximos variaron entre -1.35 y -2.24, la velocidad de implantación fluctuó entre 2 y 4 meses, y el desfase entre ellas osciló entre 17 meses y 10 años.

La escala temporal a doce meses (SPI12)

Figura 5.32: El SPI12 de la estación Sanalona, período 1978-2008



Hayes, 2000: pag. Clasificación de rangos de valores del índice de sequía SPI

Tabla 5.9. Características de las sequías en la estación Sanalona, (SPI12, 1978-2008)

Periodo	F. Inicio	F. Termino	D	S	I	Fase	F	Nt	Pmáx	Vi	De
1978 - 1980	Dic. 1978	Sept. 1980	22	-29.67	-1.35	s. incipiente	Sequia Incipiente 3	3	-2.68	19	11
1981 - 1983	Oct.e 1981	Junio 1983	21	-14.11	-0.67	normal			-1.83	13	12
1986 - 1986	Ago. 1986	Sept. 1986	2	-1.99	-1.00	normal			-1.15	2	37
1987 - 1988	Oct. 1987	Julio 1988	10	-9.31	-0.93	normal			-1.16	2	12
1993 - 1994	Enero 1993	Julio 1994	19	-25.97	-1.37	s. incipiente	Normalidad Hidrica 6	6	-2.58	8	53
1995 - 1996	Ago. 1995	Julio 1996	12	-12.77	-1.06	s. incipiente			-1.48	5	12
1997 - 1999	Ago. 1997	Junio 1999	23	-14.31	-0.62	normal			-1.19	20	12
1999 - 2000	Ago. 1999	Sept. 2000	14	-13.11	-0.94	normal			-1.35	11	1
2002 - 2003	Marzo 2002	Dic. 2003	22	-7.2	-0.33	normal			-1.04	6	17

Fuente: Creación propia

Nota: D= Duración, S= Severidad, I= Intensidad, F= Frecuencia, Nt= Número total de sequías, Pmax= Pico Máximo, Vi= Velocidad de implantación y De= Desfasamiento de la sequía.

Finalmente, en la Figura 5.32 y Tabla 5.9 correspondientes al SPI12 de la misma estación, se detectaron 3 sequías en fase incipiente; la primera de ellas ocurrió en el período diciembre de 1978 a septiembre de 1980, con una duración de 22 meses, severidad de -29.67, intensidad de -1.35, un pico máximo de -2.68 y una velocidad de implantación de 19 meses; la segunda se presentó en el período enero de 1993 a julio de 1994, con una duración de 19 meses, severidad de -25.97, intensidad de -1.37, pico máximo de -2.58, velocidad de implantación 8 meses y un desfase con respecto a la sequía anterior de un poco más de 12 años; y por último, la tercera fue en el período agosto de 1995 a julio de 1996, con una duración de 12 meses, severidad de -12.77, intensidad de -1.06, pico máximo de -1.48, velocidad de implantación de 5 meses y un desfase de 12 meses.

El SPI para las estaciones de la parte media y alta de la Cuenca

Las estaciones existentes dentro de la parte media y alta de la cuenca, son: Badiraguato, Guatenipa y La Huerta, en la subcuenca del río Humaya, y Vascogil en la subcuenca del río Tamazula; sus gráficas y tablas de resultados del SPI a diferentes escalas de tiempo, se muestran en el Anexo H.

Al igual que las estaciones de la parte media y baja de la cuenca, se observa un suavizado de los índices conforme se incrementa su escala en meses; en la mayoría de los casos se presentan sequías incipientes, solamente en los SPI a un mes se presentan sequías moderadas, como las correspondientes a las estaciones Guatenipa, La Huerta y Vascogil, durante los meses de julio de 1994, agosto de 1999 y julio de 2003, respectivamente.

Iniciando el análisis en particular por la estación Badiraguato, se observa que con el SPI1, se presentan 6 sequías incipientes, con el SPI3 baja a 4, con el SPI6 se conserva en 4 y con el SPI12 se reduce a 2, con duraciones que varían entre uno y 24 meses, como la ocurrida en el período de junio de 1995 a mayo de 1997, severidades oscilando entre -1.15 y -28.17, e intensidades fluctuando entre -1.01 y -1.68. Los picos máximos se encuentran en el rango de -1.15 a -2.56 y los desfases entre sequías desde pocos meses hasta 15 años, según el caso; años en las que ocurrieron: 1979-1980, 1982, 1984, 1988, 1995-1997, 1997, 1998-1999, 2000 y 2006.

Siguiendo con el análisis, ahora en la estación Guatenipa, se observa que con el SPI1, se presentan 11 sequías: 10 incipientes y una moderada, con el SPI3 baja a 9, todas incipientes; con el SPI6 baja a 4 y con el SPI12 se conserva en 4, todas ellas incipientes. Con duraciones que varían entre uno y 35 meses, como la ocurrida en el período de abril de 1998 a febrero de 2001, severidades oscilando entre -1.17 y -37.63, e intensidades fluctuando entre -1.03 para sequía incipiente y -2.27 para sequía moderada. Los picos máximos se encuentran en el rango de -1.09 a -2.59 y los desfases entre sequías desde unos cuantos meses hasta 18 años,

según el caso; años en las que ocurrieron: 1979-1980, 1983, 1984, 1985, 1988, 1989, 1990, 1994, 1995-1997, 1997, 1998-2001, 1999- 2000, 2001-2003, 2005-2006 y 2008.

En la parte alta de la cuenca del río Humaya, se tiene la estación La Huerta, en la cual considerando el SPI1 se manifiestan 11 sequías: 10 incipientes y una moderada, con el SPI3 se conservan en 11, todas incipientes; con el SPI6 baja a 2 y con el SPI12 no se detecta ninguna sequía. Con duraciones que varían entre uno y 20 meses, como la ocurrida en el período de octubre de 1997 a mayo de 1999, severidades oscilando entre -1.01 y -30.75, e intensidades fluctuando entre -1.01 para sequía incipiente y -2.03 para sequía moderada. Los picos máximos se encuentran en el rango de - 1.01 a -2.88 y los desfases entre sequías desde unos cuantos meses hasta 8 años, según el caso; años en las que ocurrieron: 1979, 1981, 1987, 1988-1989, 1989, 1991, 1992, 1994, 1995-1996, 1996, 1997-1999, 1999-2000, 2003, 2005-2006, 2006 y 2008.

Finalmente, en la estación Vascogil perteneciente a la parte alta de la cuenca del río Tamazula, se observa que con el SPI1 se presentan 19 sequías: 18 incipientes y una moderada, con el SPI3 baja a 11, todas incipientes; con el SPI6 baja a 5 y con el SPI12a 3, todas ellas incipientes. Con duraciones que varían entre uno y 39 meses, como la ocurrida en el período de abril de 1998 a junio de 2001, severidades oscilando entre -1.15 y -40.97, e intensidades fluctuando entre -1.02 para sequía incipiente y -2.12 para sequía moderada. Los picos máximos se encuentran en el rango de - 1.04 a -2.53 y los desfases entre sequías desde unos cuantos meses hasta más de 18 años, según el caso; años en las que ocurrieron: 1979, 1979-1980, 1982, 1983, 1985, 1987, 1988, 1989, 1991, 1993-1994, 1996, 1998, 1998-2001, 1999- 2000, 2000, 2002, 2003, 2001-2004, 2005, 2006, 2005-2006 y 2008.

En la Tabla 5.10, se muestra un resumen de los índices de sequía SPI1, SPI3 y SPI12, estimados para las estaciones seleccionadas localizadas dentro de la cuenca, en donde sobresale lo siguiente: en el período de 1978-2008, en todos los años existe sequía, dentro de la cuenca, ya sea en escala corta, a mediano plazo o larga, incluyendo el año 2004 que fue excepcionalmente húmedo; las sequías que se presentan en la cuenca en su mayoría son incipientes, solamente en la escala del SPI1 se tienen sequías moderadas, una en las estaciones Culiacán, El Varejonal, Guatenipa, La Huerta y Vascogil; el mayor número de sequías se presenta en la parte alta de la cuenca; el número de sequías a largo plazo o hidrológica es bajo, fluctúa entre cero (en La Huerta) y cuatro (Guatenipa); los años con sequías más extensas son: 1979 (7), 1980 (6), 1982 (6), 1994 (6), 1996 (6), 1998 (7), 1999 (7) y 2000 (7), por lo que el período con sequía más extenso en área es 1998-2000; los períodos de sequía de mayor duración son: 1979-1980 y 1998-2003.

Tabla Resumen del SPI en la cuenca

Tabla 5.10. Resumen de los SPI para las estaciones existentes dentro de la cuenca, (1978-2008)

TABLA RESUMEN DEL INDICE SPI A DIFERENTES ESCALAS DE TIEMPO Y TRES DE LAS CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LA SEQUÍA.

ESTACION	FASE DE SEQUÍA			CARACTERÍSTICAS			AÑOS	PERIODOS SELECCIONADOS
	SPI 1	SPI 3	SPI 12	DURACION (D)	SEVERIDAD(S)	INTENSIDAD (I)		
CULIACAN	SI (7) SM (1)	SI (6)	SI (2)	1 a 28	-1.3 a -30.85	-1.02 a -2.08	1978, 1979, 1980, 1981, 1982, 1986, 1989, 1990, 1991, 1993, 1994, 1998, 1999, 2000, 2001, 2007	1979-1980; 1981-1982; 1992-2001
EL VAR DONAL	SI (9) SM (1)	SI (4)	SI (3)	1 a 35	-1.03 a -44.63	-1.01 a -2.12	1979, 1980, 1982, 1983, 1987, 1992, 1993, 1994, 1995, 1996, 1997, 1998, 1999, 2000, 2001, 2006	1979-1980; 1982-1982; 1992-2001
SANALONA	SI (3)	SI (6)	SI (3)	2 a 22	-2.93 a -29.67	-1.02 a -1.78	1978, 1979, 1980, 1982, 1992, 1993, 1994, 1995, 1996, 1998, 1999, 2000, 2005, 2006	1979-1980; 1982-1982; 1992-1994, 1999-2000
BADIRAGUATO	SI (6)	SI (4)	SI (2)	1 a 24	-1.15 a -38.17	-1.01 a -1.68	1979, 1980, 1982, 1984, 1988, 1995, 1996, 1997, 1998, 1999, 2000, 2006	1979-1980; 1995-1997; 2000-2000
GUATEMILA	SI (10) SM (1)	SI (9)	SI (4)	1 a 35	-1.17 a -37.63	-1.08 a -2.27	1979, 1980, 1982, 1983, 1984, 1985, 1988, 1989, 1990, 1994, 1995, 1996, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2005, 2006, 2008	1979-1980; 1994-1994; 1998-2001; 2008-2008
L A HUERTA	SI (10) SM (1)	SI (11)	-----	1 a 20	-1.01 a -30.75	-1.01 a -2.88	1979, 1981, 1987, 1988, 1989, 1991, 1992, 1994, 1995, 1996, 1997, 1998, 1999, 2000, 2008, 2006, 2006, 2008	1989-1989; 1997-1999; 2000-2000; 2008-2008
VASCOGIL	SI (18) SM (1)	SI (11)	SI (3)	1 a 39	-1.15 a -40.97	-1.04 a -2.53	1979, 1980, 1982, 1983, 1985, 1987, 1988, 1989, 1991, 1993, 1994, 1996, 1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2005, 2006, 2008	1979-1980; 1983-1988; 1991-1991; 1999-2000; 2002-2002; 2008-2008

Notas: SI = Sequía incipiente; SM = Sequía Moderada
 Frecuencias en años: 1978 (2); 1979 (7); 1980 (5); 1981 (2); 1982 (6); 1983 (3); 1984 (2); 1985 (2); 1988 (1); 1987 (3); 1988 (4); 1989 (4); 1990 (2); 1991 (3); 1992 (3); 1993 (4); 1994 (6); 1995 (5); 1996 (6); 1997 (3); 1998 (7); 1999 (7); 2000 (7); 2001 (4); 2002 (2); 2003 (3); 2005 (4); 2005 (5); 2007 (1); 2008 (8)

Fuente: Creación propia

De la misma tabla resumen, se observa que la duración de la sequía en la cuenca del río Culiacán, puede ser desde uno hasta 39 meses, su severidad fluctúa entre -1.01 hasta 44.63 y su intensidad oscila entre -1.01 y 2.88, valores del SPI.

Como se puede observar en las tablas del Anexo H, las sequías no tienen un mes definido para iniciar, ni otro para terminar, esto es no tienen ni principio ni fin definido, puede ocurrir en cualquier mes del año o en cualquier año, su intensidad es variable, aunque en este caso, la mayoría de las sequías son de fase incipiente; así mismo, puede ocurrir en cualquier parte de la cuenca, puede afectar una zona dentro de ella en un mes, año o período y en otro tiempo otro sitio de la misma; por otro lado, lo que ocurra en un lugar de la cuenca afecta a otra parte de la misma o al acuífero; por estas razones, es conveniente evaluar y analizar la variabilidad espacial de la sequía en la zona en estudio.

La variabilidad espacial de la sequía en la cuenca, mediante el SPI

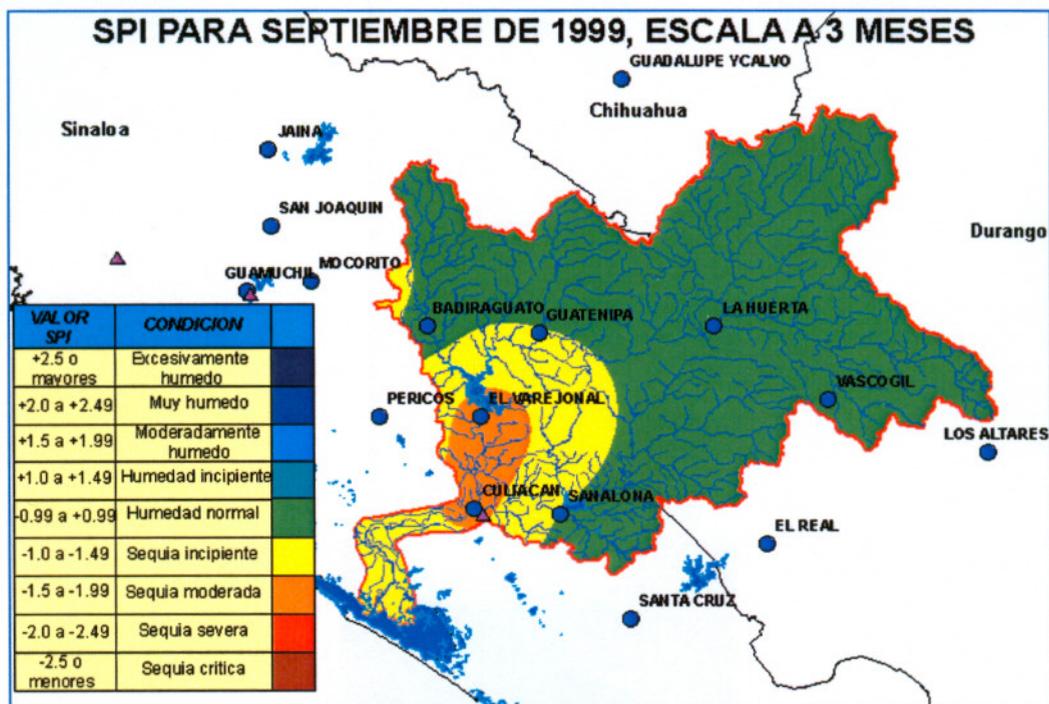
En congruencia y como consecuencia de lo anteriormente mencionado, se seleccionaron los meses dentro de los períodos con sequía, para el análisis de su variabilidad espacial, en las diferentes escalas de tiempo; como ejemplo se ilustra la variabilidad del SPI3 para el mes de septiembre,

ya que este mes es el último de los tres meses más lluviosos del año y se correlaciona con las isoyetas de la lluvia acumulada de los meses más lluviosos del año.

Las Figuras 5.33, 5.34, 5.35 y 5.36 muestran la variabilidad de las condiciones de humedad en la cuenca, dentro del período de sequía 1998-2003, para el mes de septiembre; y resto de los resultados obtenidos aplicando esta misma metodología a los meses con sequía de la escala de tiempo seleccionada, se muestran en el Anexo H.

En la Figura 5.33 se observa sequía incipiente para la cuenca media y baja de la cuenca del río Culiacán, incluyendo la zona de explotación del acuífero, y sequía moderada entre Culiacán y Sanalona de esa misma región; en el resto de la cuenca se muestran condiciones de normalidad hídrica.

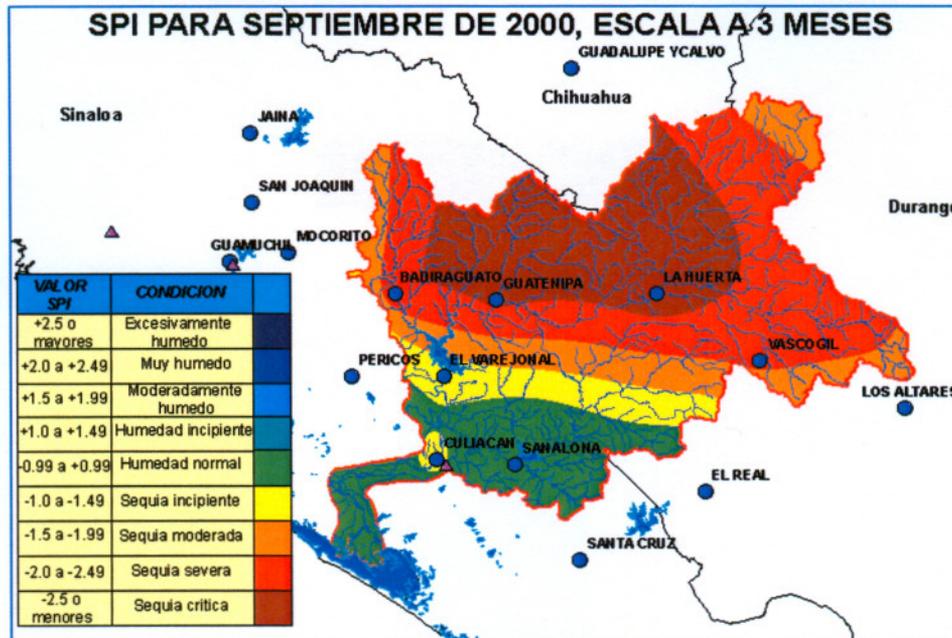
Figura 5.33: Variabilidad de la sequía en la cuenca del río Culiacán, septiembre de 1999, SPI3



Fuente: Creación propia. Clasificación del SPI (Hayes, 2000) con la paleta de colores de la Figura 4.12.

Para este mismo mes, pero correspondiente al año 2000, se observa cómo en la zona con sequía de la figura anterior existen condiciones de normalidad hídrica, a excepción de la localidad El Varejonal; y donde existió normalidad hídrica ahora existe condiciones de sequía en sus fases incipiente, moderada, severa y crítica, siendo la zona más afectada la existente de las localidades Guatenipa y La Huerta, hacia aguas arriba, según la Figura 5.34.

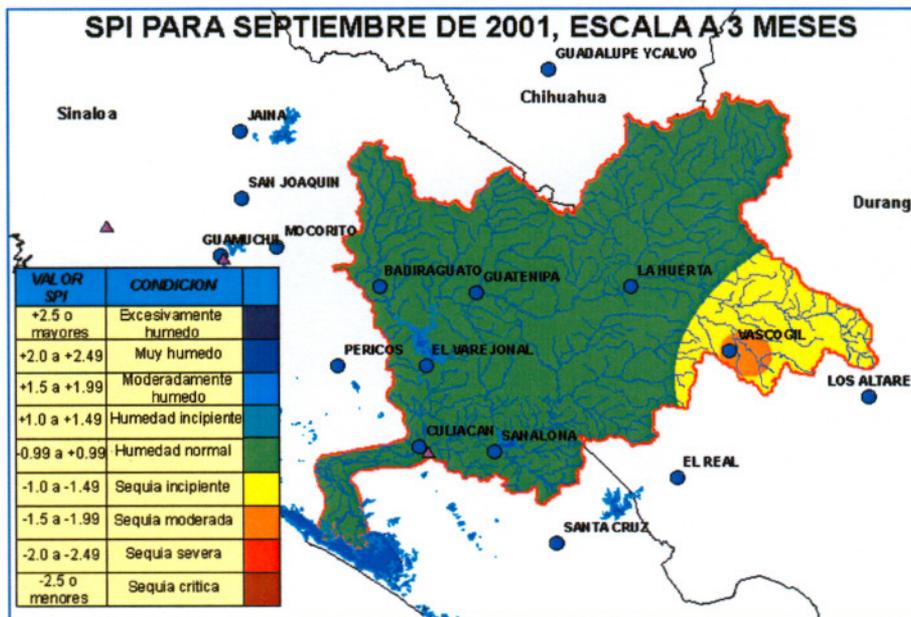
Figura 5.34: Variabilidad de la sequía en la cuenca del río Culiacán, septiembre del 2000, SPI3.



Fuente: Creación propia. Clasificación del SPI (Hayes, 2000) con la paleta de colores de la Figura 4.12.

Para el año de 2001, en ese mismo mes de análisis se observa que las condiciones hídricas en la cuenca han cambiado de fases de sequía a corto plazo han cambiado a condiciones de normalidad hídrica en la mayor parte de la cuenca y disminuido en fase de sequía en el resto de la cuenca; Figura 5.35.

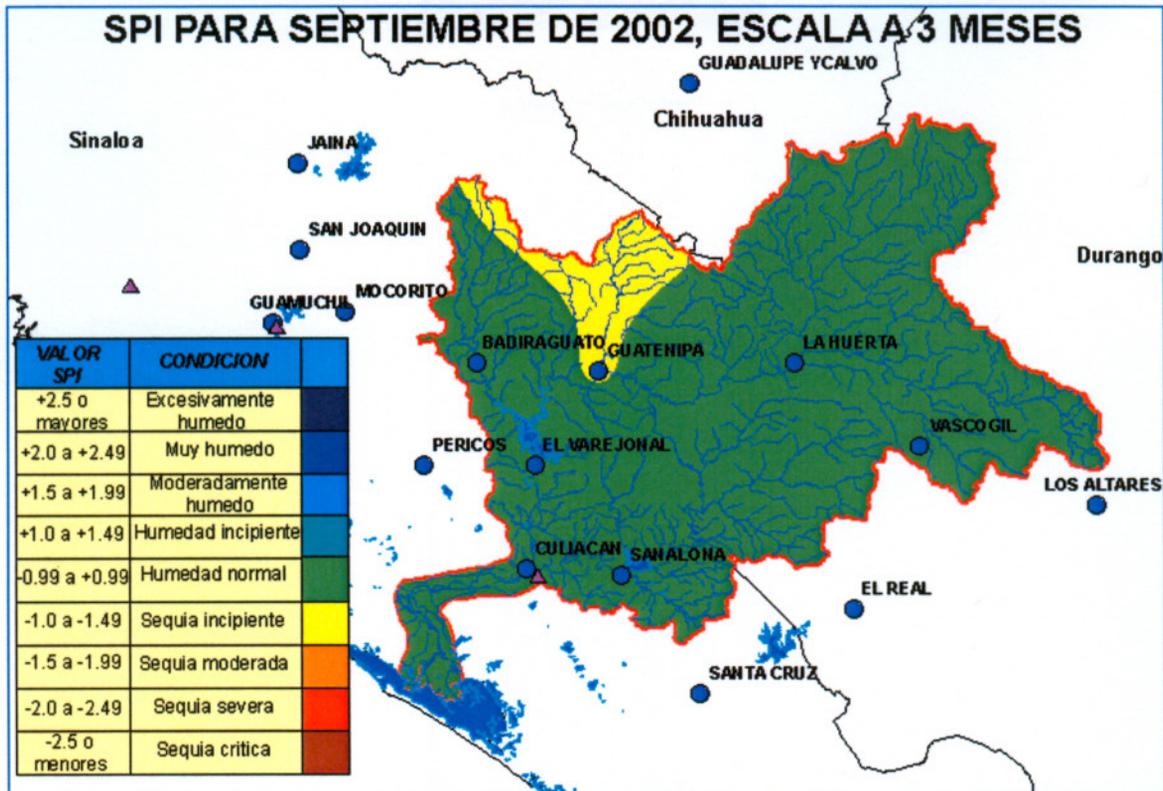
Figura 5.35: Variabilidad de la sequía en la cuenca del río Culiacán, septiembre del 2001, SPI3.



Fuente: Creación propia. Clasificación del SPI (Hayes, 2000) con la paleta de colores de la Figura 4.12.

Finalmente, para el mes de septiembre de 2002, se presentaron condiciones de normalidad hídrica en la mayor parte de la cuenca a excepción de una franja de la localidad de Guatenipa hacia aguas arriba, en donde se presentó sequía incipiente, Figura 5.36.

Figura 5.36: Variabilidad de la sequía en la cuenca del río Culiacán, septiembre del 2002, SPI3.



Fuente: Creación propia. Clasificación del SPI (Hayes, 2000) con la paleta de colores de la Figura 4.12.

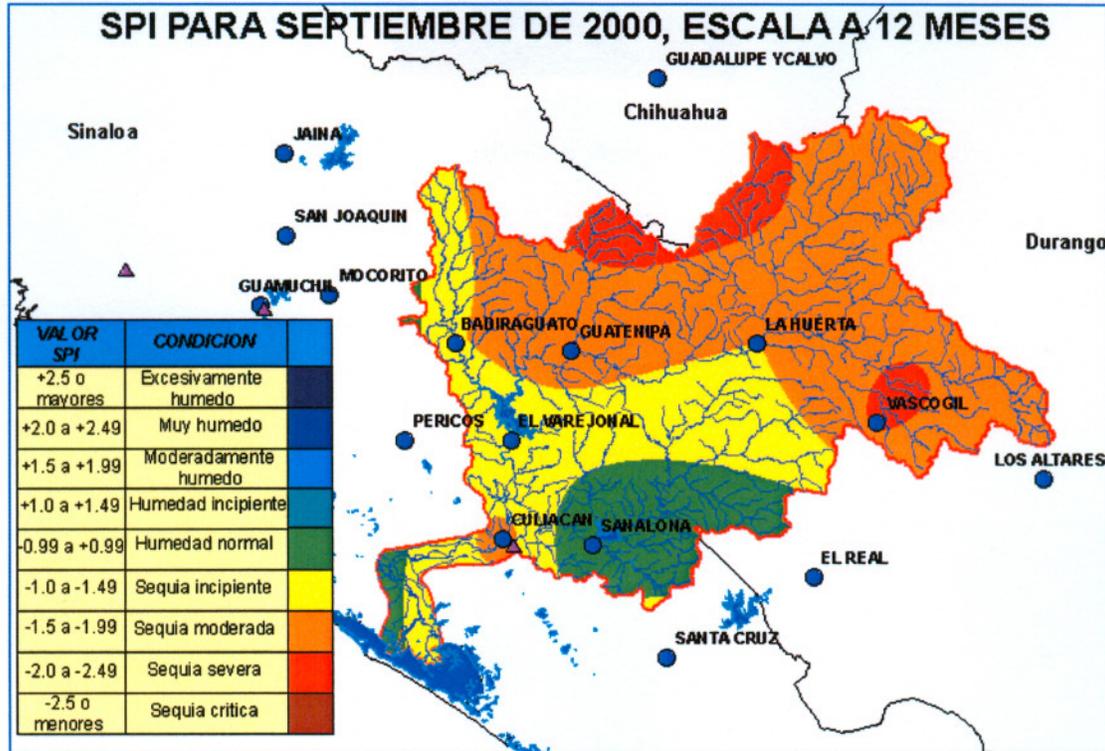
Se observa en las cuatro figuras anteriores que la variabilidad espacial de las sequías, no tiene un patrón definido en cuanto a su duración, severidad e intensidad; y así como fue afectada una región en un mes y un año determinado, para el siguiente año es otra zona y con intensidades diferentes.

Por otra parte, de estos años con sequía el que muestra más variabilidad espacial, severidad e intensidad del fenómeno es el año 2000, el cual se graficó para su análisis en una escala a 12 meses para evaluar la sequía hidrológica en la cuenca, Figura 5.37.

En la figura mencionada, se observan fases de sequía incipiente en la parte media y baja, moderada en la parte media y alta, y severa en algunas zonas de la parte alta de la subcuenca del río Humaya, con un comportamiento más atenuado en sus fases que con el SPI3, lo que se relaciona con lo observado en las Figuras 5.14 y 5.16 en donde se nota una fuerte disminución,

muy por abajo del valor medio histórico, de los volúmenes mensuales de ingreso a las presas El Varejonal y Sanalona, respectivamente.

Figura 5.37: Variabilidad de la sequía en la cuenca del río Culiacán, septiembre del 2002, SPI12



Fuente: Creación propia. Clasificación del SPI (Hayes, 2000) con la paleta de colores de la Figura 4.12.

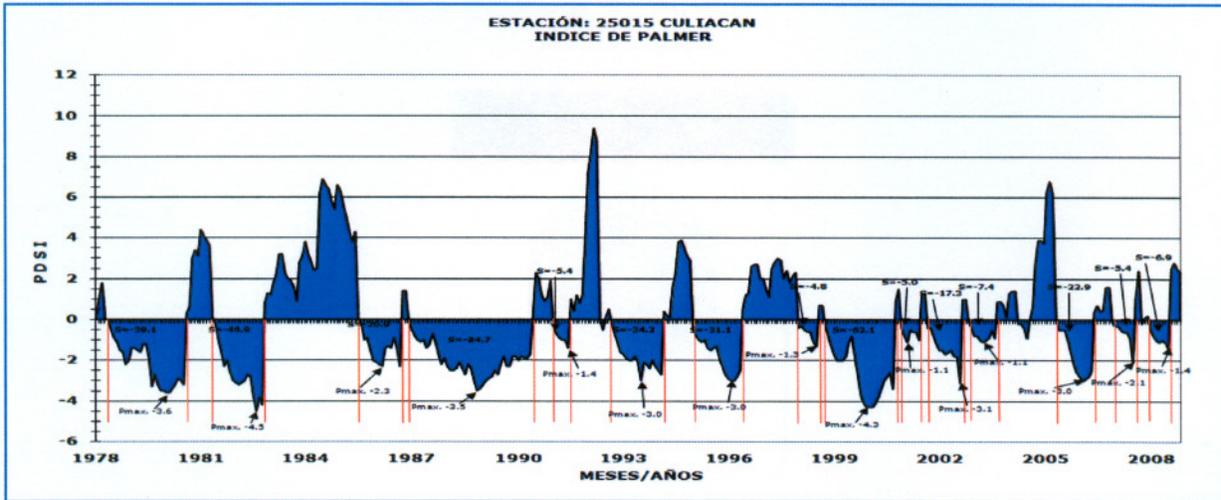
5.1.3 Índice de Severidad de Sequías de Palmer (PDSI).

Este índice fue diseñado para evaluar las sequías agrícolas, considerando en su concepción una escala temporal larga. A continuación se ilustra el comportamiento temporal de las sequías para las estaciones Culiacán, Sanalona y Varejonal; el resto de las estaciones se ilustran en el Anexo H.

Como podrá observarse, en la Figuras 5.38, 5.39 y 5.40, correspondientes a la variabilidad temporal de la sequía mediante el índice PDSI de las estaciones Culiacán, El Varejonal y Sanalona, respectivamente, el comportamiento de la variabilidad temporal en el período 1978-2008, es parecido al SPI a doce meses, en cuanto a la duración de las sequía, pero similar al SPI a tres meses en cuanto a la cantidad o frecuencia de sequías, pero no así en su intensidad.

El PDSI para la estación Culiacán

Figura 5.38: El PDSI de la estación Culiacán, período 1978-2008



Palmer, 1965:pag. Clasificación de rangos de valores del índice de sequía PDSI.

En la Tabla 5.11, se muestran las características físicas más importantes de las sequías registradas en la estación Culiacán, estimadas mediante este índice, como son: duración, severidad, intensidad, frecuencia, velocidad de implantación, pico máximo y desfase.

Tabla 5.11. Características de las sequías en la estación Culiacán, (PDSI, 1978-2008)

Periodo	F. Inicio	F. Termino	D	S	I	Fase	F	Ni	Pmáx	Vi	De
1978 - 1980	Junio 1978	Julio 1980	26	-59.1	-2.27	s. moderada	Sequia Moderada	4	-3.60	25	5
1981 - 1982	Junio 1981	Oct. 1982	17	-46.9	-2.76	s. moderada			-4.50	15	10
1985 - 1986	Agosto 1985	Sept. 1986	14	-20.9	-1.49	s. incipiente			-2.30	8	33
1986 - 1990	Dic. 1986	Mayo 1990	42	-84.7	-2.02	s. moderada			-3.50	24	2
1991 - 1991	Enero 1991	Junio 1991	6	-5.4	-0.90	normal	Sequia Incipiente	9	-1.40	6	7
1992 - 1994	Sept. 1992	Feb. 1994	18	-34.2	-1.90	s. incipiente			-3.00	11	14
1995 - 1996	Enero 1995	Mayo 1996	17	-31.1	-1.83	s. incipiente			-3.00	14	10
1998 - 1998	Enero 1998	Julio 1998	7	-4.8	-0.69	normal			-1.30	7	19
1998 - 2000	Oct. 1998	Sept. 2000	24	-62.1	-2.59	s. moderada	5	9	-4.30	15	2
2000 - 2001	Dic. 2000	Junio 2001	7	-5	-0.71	normal			-1.10	3	2
2001 - 2002	Sept. 2001	Ago. 2002	12	-17.3	-1.44	s. incipiente	Normalidad Hídrica	6	-3.10	12	2
2002 - 2003	Dic. 2002	Ago. 2003	9	-7.4	-0.82	normal			-1.10	5	3
2005 - 2006	Junio 2005	Mayo 2006	12	-22.9	-1.91	s. incipiente			-3.00	9	21
2006 - 2007	Dic. 2006	Julio 2007	8	-5.4	-0.68	normal			-2.10	8	6
2008 - 2008	Enero 2008	Julio 2008	7	-6.9	-0.99	normal			-1.40	7	5

Fuente: Creación propia

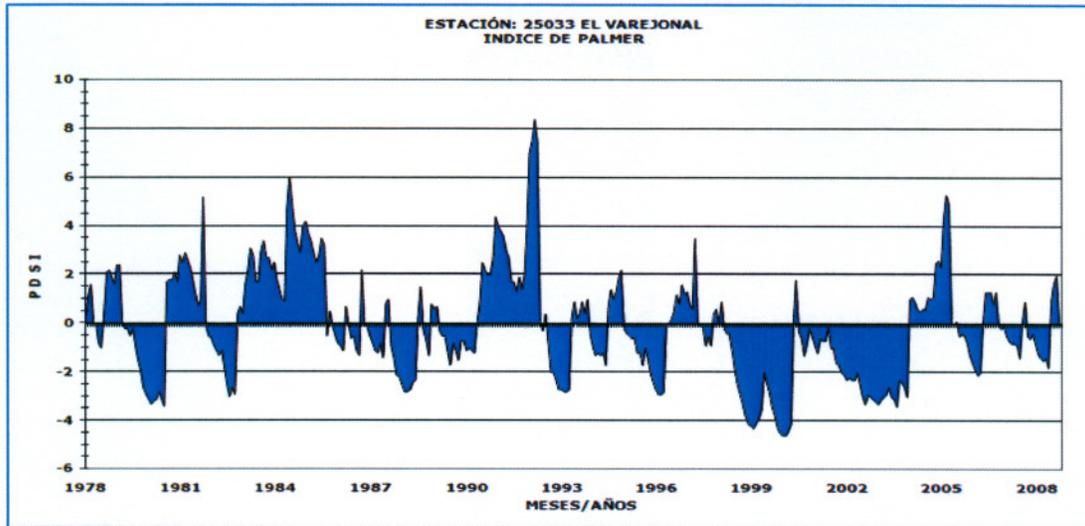
Nota: D= Duración, S= Severidad, I= Intensidad, F= Frecuencia, Ni= Número total de sequías, Pmax= Pico Máximo, Vi= Velocidad de implantación y De= Desfase de la sequía.

De la Tablas 5.11, se observa que el número total de sequías registradas mediante el PDSI en la estación Culiacán son 9, de fase incipiente 5 y de moderadas 4. La duración de las sequías

varía desde los 12 hasta los 42 meses, la intensidad varía desde el valor mínimo de -1.44 hasta el valor máximo de -2.76 y la severidad desde -17.3 hasta -84.7 unidades de PDSI.

El PDSI para la estación El Varejónal

Figura 5.39: El PDSI de la estación El Varejónal, período 1978-2008



Palmer, 1965:pag. Clasificación de rangos de valores del índice de sequía PDSI.

De igual forma, en la tabla 5.12, se muestran las características físicas más importantes de las sequías registradas en la estación El Varejónal, estimadas mediante este índice.

Tabla 5.12. Características de las sequías en la estación El Varejónal, (PDSI, 1978-2008)

Periodo	F. Inicio	F. Termino	D	S	I	Fase	F	Nt	Pmáx	Vi	De		
1979 - 1980	Abril 1979	Julio 1980	16	-32.9	-2.06	s. moderada	10	10	-3.40	16	15		
1981 - 1982	Nov. 1981	Oct. 1982	12	-18.4	-1.53	s. incipiente			Sequia Severa	-3.00	10	15	
1985 - 1986	Nov. 1985	Marzo 1986	5	-3.4	-0.68	normal			1	-1.10	5	36	
1986 - 1986	Junio 1986	Sept. 1986	4	-3.5	-0.88	normal			1	-1.30	4	2	
1986 - 1987	Nov. 1986	Junio 1987	8	-6	-0.75	normal			Moderada	-1.40	8	1	
1987 - 1988	Sept. 1987	Junio 1988	10	-22.1	-2.21	s. moderada				3	-2.80	6	2
1988 - 1988	Sept. 1988	Nov. 1988	3	-2.2	-0.73	normal				3	-1.30	3	2
1989 - 1990	Mar. 1989	Abril 1990	14	-13.3	-0.95	normal			Incipiente	-1.70	5	3	
1992 - 1993	Junio 1992	Abril 1993	11	-20.7	-1.88	s. incipiente				6	-2.80	9	25
1993 - 1994	Dic. 1993	Junio 1994	7	-8	-1.14	s. incipiente				6	-1.70	7	7
1995 - 1996	Enero 1995	Abril 1996	16	-24.5	-1.53	s. incipiente			Hídrica	-2.90	14	6	
1998 - 2000	Marzo 1998	Abril 2000	26	-81.5	-3.13	s. severa				6	-4.60	23	22
2000 - 2003	Julio 2000	Dic. 2003	42	-84.1	-2.00	s. moderada	Normalidad	-3.40	38	2			
2005 - 2006	Ago. 2005	Abril 2006	9	-11.1	-1.23	s. incipiente		6	-2.10	8	19		
2006 - 2007	Nov. 2006	Julio 2007	9	-5.5	-0.61	normal		6	-1.40	9	6		
2007 - 2008	Oct. 2007	Junio 2008	9	-9.6	-1.07	s. incipiente	6	-1.80	9	2			

Fuente: Creación propia

De acuerdo a los valores del PDSI observado en la Tabla 5.12, el número total de sequías registradas en la estación El Varejonal son 10; de las cuales, 6 son incipientes, 3 moderadas y una severa, registrada en período de mayo de 1998 a abril de 2000. La duración de las sequías fluctúa entre 7 y 42 meses, su intensidad entre -1.07 y 3.13; y la severidad de -8.0 y -84.1 unidades del PDSI.

El PDSI para la estación El Varejonal

Figura 5.40: El PDSI de la estación El Sanalona, período 1978-2008

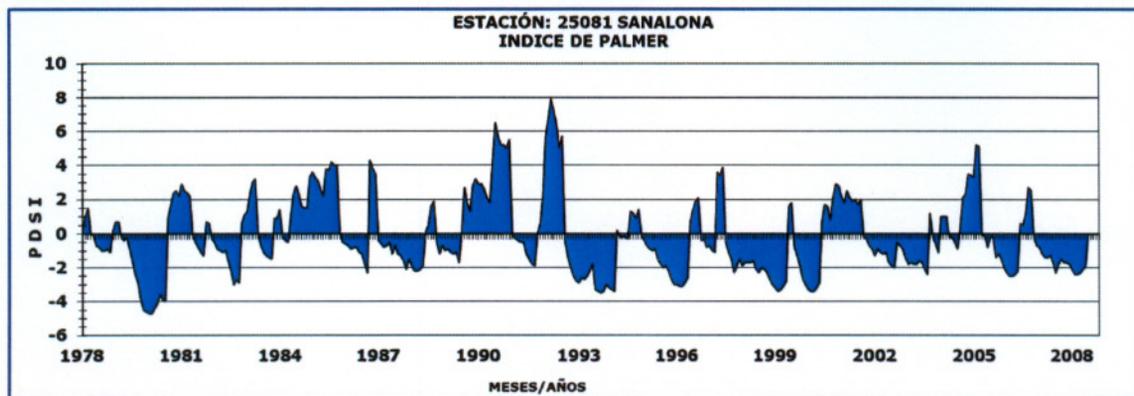


Tabla 5.13: Características de las sequías, considerando el PDSI, estación Sanalona, período 1978-2008

Período	F. Inicio	F. Termino	D	S	I	Fase	F	Nt	Pmáx	VI	De
1978 - 1978	Mayo 1978	Nov. 1978	7	-5.6	-0.80	normal	Sequia Moderada 4	13.00	-1.10	7.00	4.00
1979 - 1980	Marzo 1979	Julio 1980	17	-50.9	-2.99	s. moderada			-4.70	11.00	3.00
1981 - 1981	Mayo 1981	Sept. 1981	5	-3.8	-0.76	normal			-1.30	5.00	9.00
1981 - 1982	Dic. 1981	Octubre 1982	11	-17.2	-1.56	s. incipiente			-3.00	9.00	2.00
1983 - 1983	Junio 1983	Octubre 1983	5	-6	-1.20	s. incipiente	-1.50		5.00	7.00	
1985 - 1986	Dic. 1985	Sept. 1986	10	-10.7	-1.07	s. incipiente	-2.30		10.00	25.00	
1987 - 1988	Enero 1987	Mayo 1988	17	-22.9	-1.35	s. incipiente	-2.20		14.00	3.00	
1988 - 1989	Octubre 1988	Junio 1989	9	-9.4	-1.04	s. incipiente	-1.70		9.00	4.00	
1991 - 1991	Enero 1991	Sept. 1991	9	-8.2	-0.91	normal	-1.90		9.00	18.00	
1992 - 1994	Agosto 1992	Febrero 1994	19	-50.4	-2.65	s. moderada	-3.50		14.00	10.00	
1995 - 1996	Enero 1995	Mayo 1996	17	-33.7	-1.98	s. incipiente	-3.10		14.00	10.00	
1996 - 1997	Octubre 1996	Marzo 1997	6	-4.3	-0.72	normal	-1.10		6.00	4.00	
1997 - 1999	Julio 1997	Mayo 1999	23	-49.7	-2.16	s. moderada	-3.40		20.00	3.00	
1999 - 2000	Agosto 1999	mayo 2000	10	-25.9	-2.59	s. moderada	-3.40	7.00	2.00		
2001 - 2003	Sept. 2001	Agosto 2003	24	-31.7	-1.32	s. incipiente	-2.40	24.00	15.00		
2003 - 2003	Octubre 2003	Dic. 2003	3	-1.9	-0.63	normal	-1.10	3.00	1.00		
2005 - 2006	Abril 2005	Mayo 2006	14	-19.4	-1.39	s. incipiente	-2.50	11.00	15.00		
2006 - 2008	Nov. 2006	Junio 2008	20	-32.7	-1.64	s. incipiente	-2.40	16.00	5.00		

En la Figura 5.40 y la Tabla 5.13, se muestran las características físicas más importantes de las sequías registradas en la estación Sanalona, estimadas mediante el PDSI. Se observa que el número total de sequías son 13, de las cuales 9 son de fase incipiente y 4 moderadas. Su duración vario entre 5 y 24 meses, la intensidad entre -1.04 y -2.99, y la severidad entre -6.0 y -50.9 unidades de PDSI.

De igual manera, para las estaciones de la parte alta de la cuenca se detectaron 10 sequías en Vascogil (7 en fase incipiente y 3 moderadas), 8 en La Huerta (6 incipientes y 2 moderadas); para la parte media: 9 en Guatenipa (5 incipientes y 4 moderadas) y 9 en Badiraguato (6 incipientes, 2 moderadas y 1 severa).

En síntesis, se presentaron en el período de análisis, dos sequías severas: una en la estación El Varejonal, en el período 1998-2000 con una duración de 26 meses, severidad en -81.5, una intensidad -3.13, un pico máximo de -4.60, y una velocidad de implantación de 23 meses; la otra en la estación Badiraguato, en el período 1979-1980, con una duración de 14 meses, severidad de -42.2, intensidad de -3.01, pico máximo -4.20 y velocidad de implantación de 8 meses.

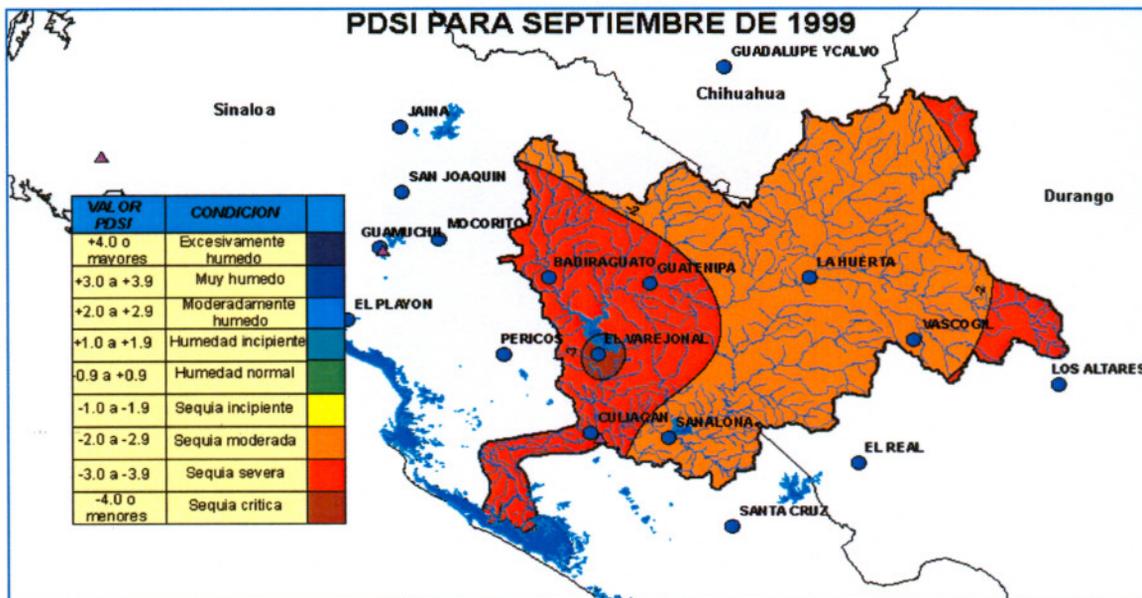
El resto de las características de sequía estimadas mediante el PDSI, en sus diferentes fases, para cada una de las estaciones seleccionadas se muestran en el Anexo H.

La variabilidad espacial de la sequía en la cuenca, mediante el PDSI

De manera similar a lo realizado con el SPI, y con la misma metodología, se obtuvieron las imágenes de la variabilidad espacial de la sequía para un mes de interés, mediante el PDSI.

En la Figura 5.41, se muestra la variabilidad espacial de la sequía para el mes de septiembre de 1999, estimada mediante el PDSI, observando las fases de sequía severa en la localidad de El Varejonal, moderada en la zona Guatenipa, Badiraguato, y parte del acuífero, e incipiente en el resto de la cuenca. En el anexo 8 se muestran los resultados obtenidos para otros meses con sequía.

Figura 5.41: Variabilidad de la sequía en la cuenca del río Culiacán, septiembre de 1999, PDSI.



Fuente: Creación propia. Clasificación del PDSI (Palmer, 1965) con la paleta de colores de la Figura 4.13.

Es conveniente mencionar que debido a la falta de datos de evapotranspiración potencial en todas las estaciones seleccionadas se interpolaron el resto de los valores, mediante el método de interpolación lineal y considerando la altura sobre el nivel del mar. Por otra parte, no en todos los sitios se contó con los valores de humedad del suelo, por lo que se tuvieron que suponer con base en las características del suelo de cada lugar y el clima predominante. Estas consideraciones le inducen un error a las estimaciones del PDSI, el cual podrá ser minimizado conforme se avance en las mediciones de humedad del suelo en las estaciones restantes.

Actualmente, es posible medir las variables meteorológicas que afectan a una localidad, para determinar sus condiciones de clima a tiempo real; así como las características del suelo, entre ellas su humedad, utilizando imágenes de satélite (DEVCOCAST, 2010).

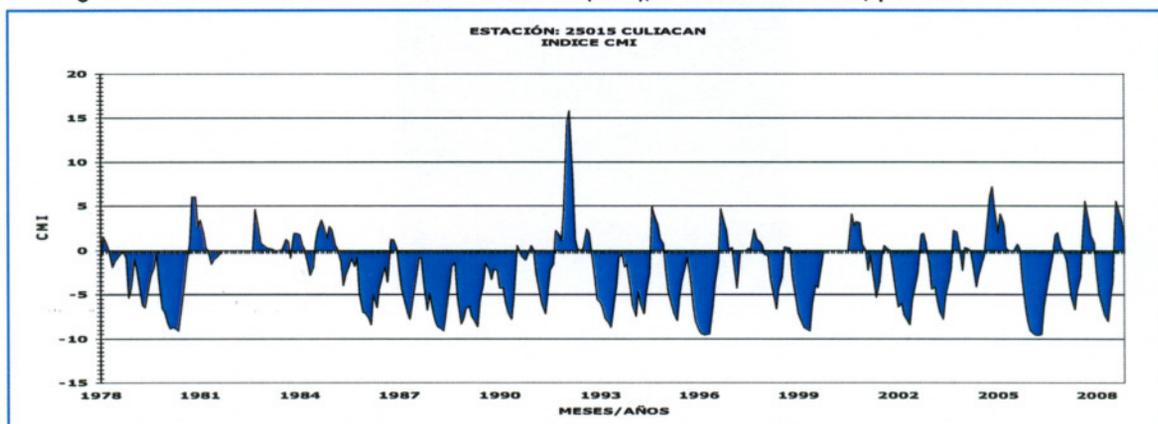
5.1.4 Índice de Humedad del Cultivo (CMI).

La determinación y utilización del CMI para la cuenca, principalmente en el distrito de riego 010, actualmente se encuentra en etapa experimental. Su estimación se realiza mediante el programa CMI.EXE, y su graficado temporal y espacial utilizando el SIG-Sinaloa.

Para la aplicación del CMI en la evaluación de sequías en sus diferentes fases y sus impactos en los diferentes ámbitos, es necesario establecerle una escala de valores y de clasificación para las diferentes etapas, exclusiva para la zona en estudio.

Como ilustración de los avances logrados en su aplicación, hasta el momento, se muestra en la Figura 5.42 la variabilidad temporal del CMI en la estación Culiacán; y en la Figura 5.43 la variabilidad espacial en la cuenca para el mes de septiembre de 1999.

Figura 5.42: El Índice de Humedad de Cultivo (CMI), estación Culiacán, período 1978-2008



Fuente: Creación propia.

Los resultados mostrados en este gráfico, indican una descompensación de valores positivos y negativos del índice CMI, para el período 1978-2008, debido a que en este ejemplo se manejaron datos de precipitación y de evaporación mensuales, cuando deben de ser semanales o decenales; como lo indica el diseño de este método; actualmente se está trabajando en la generación de la base de datos decenales para la estimación de este índice.

Figura 5.43: Variabilidad de la sequía en la cuenca del río Culiacán, septiembre de 1999, CMI.



Fuente: Creación propia. Clasificación del CMI, 1965) con la paleta de colores de la Figura 4.13

5.1.5 Índice Normalizado de la Diferencia de Vegetación (NDVI).

Debido a que el NDVI es un índice obtenido de información satelital y está relacionado con la cantidad de vegetación verde en la superficie terrestre, entre sus aplicaciones está determinar la sequía agrícola a corto plazo, y puede ser de mucha utilidad para el monitoreo y evaluación de escenarios por sequía en la cuenca del río Culiacán.

Este índice se puede utilizar para evaluar escenarios probables a 10, 20 o 30 días o en su defecto a 1, 2 y 3 meses, basado en la correlación existente entre la precipitación y el NDVI; ésta representación espacial puede ser mejor que la generada por el SIG-Sinaloa, ya que para poder hacer la representación espacial mediante los índices puntuales por sequía (SPI, PDSI, CMI) se utiliza la interpolación por el método de Kriging, entre estaciones que se encuentran dentro y fuera de la cuenca, en cambio para la determinación espacial del NDVI se utilizan imágenes con resolución espacial de 1 km por 1 km. Así mismo, con esta metodología se puede mejorar la prospección de escenarios probables por sequía en su variabilidad espacial, determinada mediante redes neuronales.

Este indicador no es el valor de una sola imagen, sino el valor que represente las características seleccionadas de una serie de imágenes en el tiempo. Para el análisis de las imágenes del NDVI se realizó mediante el programa WinDisp 5.0.exe, para el período 1998-2008.

En la Figura 5.44, se presenta como ejemplo la imagen de NDVI obtenida para el mes de octubre de 1999, consiste en la diferencia entre la imagen promedio y la imagen para octubre de 1999. Las áreas con valores del NDVI para octubre de 1999 que son inferiores al promedio indica la presencia de sequías.

Figura 5.44: Imagen obtenida por diferencia entre la imagen promedio y la de octubre de 1999.



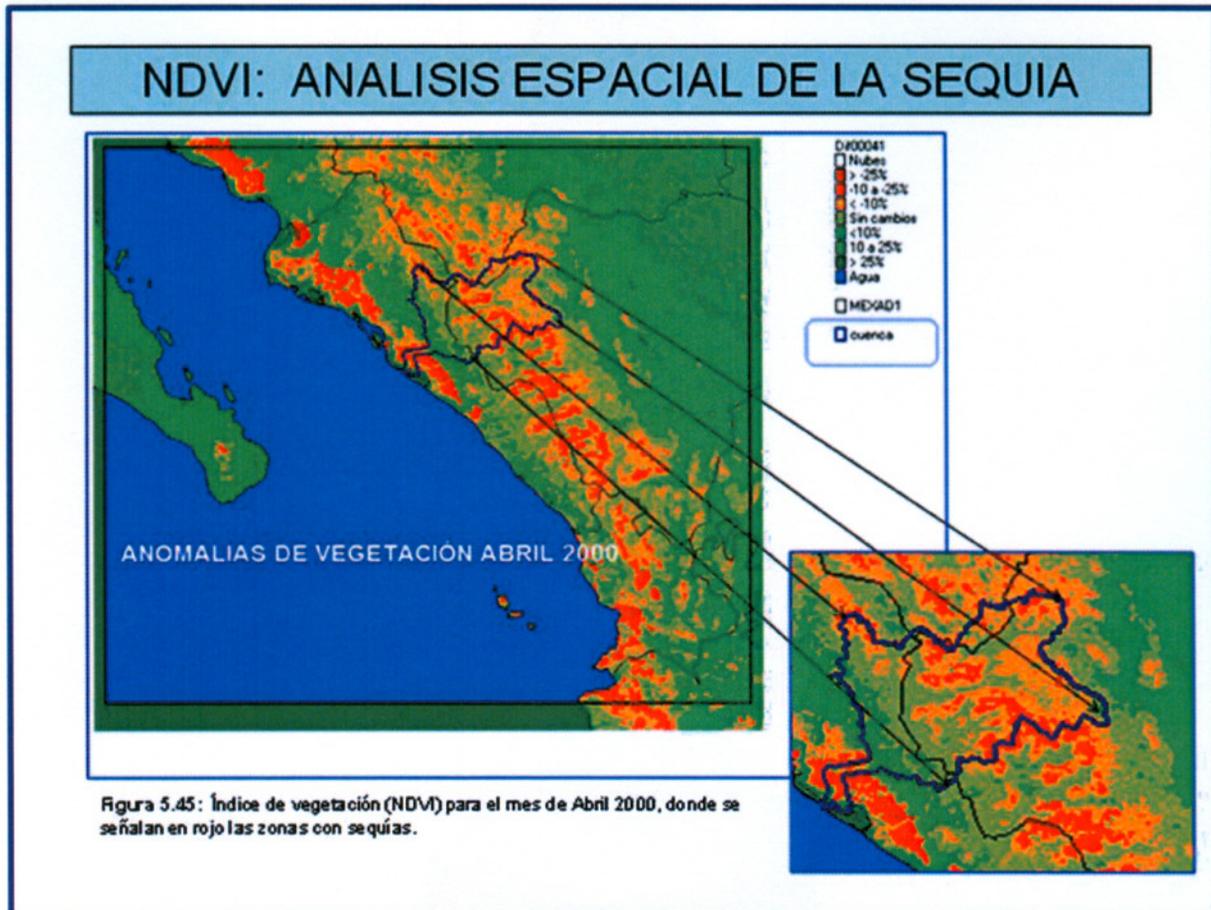
Fuente: Creación propia

En la figura, conforme a esta metodología se observan condiciones de sequía ligera, moderada y severa en la parte centro y sur de la República Mexicana; en cambio, en la zona correspondiente a la cuenca y acuífero del río Culiacán, se presentan condiciones de normalidad hídrica y buenas condiciones de humedad, estos resultados se deberán constatar mediante una evaluación in situ, y contrastar contra los resultados obtenidos mediante algún índice de sequía, como por ejemplo el SPI, tanto puntual como espacialmente, de preferencia a escala de cuenca.

Estas imágenes, en combinación con otros índices (SPI, PDSI y CMI) permite establecer no sólo el área de distribución geográfica sino también los niveles de intensidad de las sequías y su grado de afectación a la productividad agrícola y ganadera (cultivos y pasturas).

En lo particular, para la zona en estudio se analiza el mes de abril de 2000, que fue un mes con sequía incipiente, conforme a los resultados obtenidos mediante los índices de sequía SPI y PDSI. En la Figura 5.45, se observa condiciones de sequía en la parte alta de la cuenca y en el acuífero, condiciones de normalidad hídrica y buenas condiciones de humedad en la parte media de la cuenca.

Figura 5.45: El NDVI para el mes de abril de 2000, el color rojo indica las zonas con probable sequía



Fuente: Creación propia, Dirección Técnica del Organismo de Cuenca Pacífico Norte

Para este mes en particular, en la estación Culiacán el SPI1 indica normalidad hídrica, en cambio los índices SPI3, SPI6 y SPI12 muestran sequía incipiente; y el índice PDSI estima sequía moderada. En la estación Sanalona, el SPI3 y el SPI6 indican sequía incipiente, en cambio el SPI12 muestra normalidad hídrica; y el PDSI señala sequía moderada; y en la parte alta de la cuenca, en la estación La Huerta el SPI1, SPI3 y el SPI12 indican normalidad hídrica, en cambio el SPI6 muestra sequía incipiente y el PDSI señala sequía moderada.

Por lo general el PDSI estima una fase de sequía más intensa y de mayor duración que el SPI a escalas similares como el SPI12.

5.2 Discusión de resultados de la sequía en la zona en estudio

En este apartado, se discuten los resultados obtenidos de los trabajos realizados para establecer relaciones entre índices de sequía y las variables hidrológicas de la cuenca y los niveles estáticos del acuífero río Culiacán.

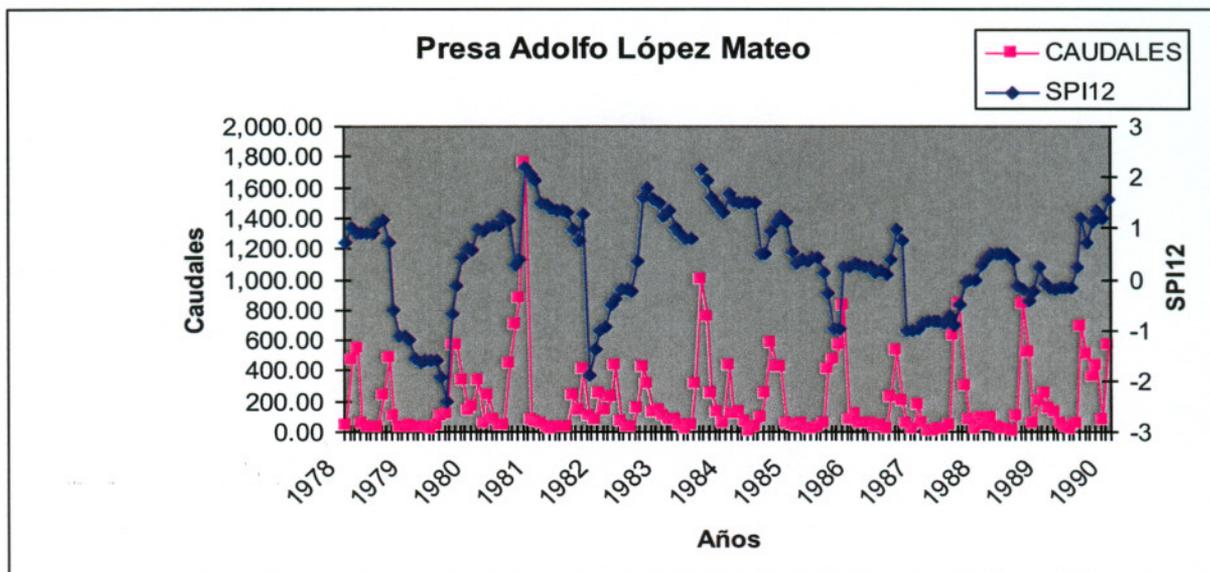
5.2.1 Relaciones entre los volúmenes mensuales de ingreso a las presas y el índice SPI

Como resultado del apartado anterior (5.1), se trabajó en la búsqueda de relaciones entre el índice de sequía hidrológica SPI12 y los volúmenes mensuales (caudales) de ingreso a las presas Adolfo López Mateos (Varejonal) y Sanalona, con los siguientes resultados.

Se establecieron relaciones simples entre los caudales de ingreso a las presas Varejonal y Sanalona con el Índice de Sequía SPI12 para un número selecto de años, período 1978-1994. Los caudales presentan mayor variabilidad temporal que el SPI12 por lo cual se correlacionaron los promedios móviles (6 valores) de los caudales con el SPI12. Si bien existe una relación entre ambas variables esta es baja y debe continuarse con el análisis de dichas variables u otras.

En la Figura 5.46, se muestra la variabilidad temporal de los caudales a la presa Adolfo López y el SPI12, en el período 1978-1994, con base en los gastos de escurrimiento registrados en la estación Guatenipa.

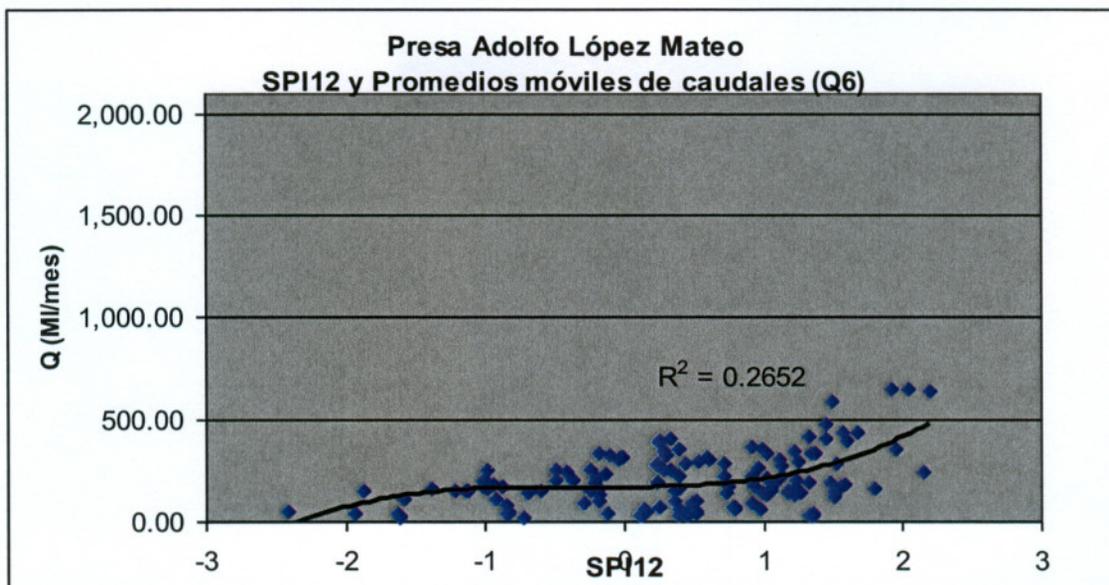
Figura 5.46: Relación entre el volumen de ingreso mensual a la presa Varejonal y el SPI12, (1978-1994)



Fuente: Creación propia, Dirección Técnica del Organismo de Cuenca Pacífico Norte

La Figura 5.47, muestra la relación entre los promedios móviles de caudales (Q) y el SPI12.

Figura 5.47: Relación entre los volúmenes de ingreso mensual a la presa Adolfo López Mateos y el SPI12.



Fuente: Creación propia, Dirección Técnica del Organismo de Cuenca Pacífico Norte

Los resultados mostrados en las figuras anteriores, muestran que prácticamente no existe correlación entre el SPI12 y los volúmenes de ingreso a la presas, Adolfo López Mateos; esto es, debido a que no todo el año hay escurrimientos grandes, sino que se presentan inmediatamente después de las lluvias, y disminuyen luego de que las lluvias cesan. Además, los resultados obtenidos de la búsqueda de correlacionar los SPI3 con los volúmenes de ingreso a las presas, muestran una mayor dispersión de datos y por tanto un menor valor de correlación, en este caso se obtuvo $R^2 = 0.097$ y un coeficiente de correlación de 0.312.

5.2.2 Relaciones entre los niveles estáticos del acuífero del río Culiacán y el índice SPI12.

Como se mencionó en el capítulo anterior (4), las variables hidrológicas y geohidrológicas son de larga escala, por lo que pueden ser representadas por el índice SPI12. En el acuífero, a diferencia de los escurrimientos por los ríos, se debe de considerar la variabilidad temporal y espacial de los niveles estáticos.

De acuerdo a la discusión sobre la variabilidad de sequías en la zona en estudio, realizada en el subcapítulo 5.1, el período más largo de sequía en el período de análisis (1978-2008) ocurrió de 1998 a 2004. Además, la mayor información sobre los niveles estáticos en el acuífero se tiene de 1984-2008.

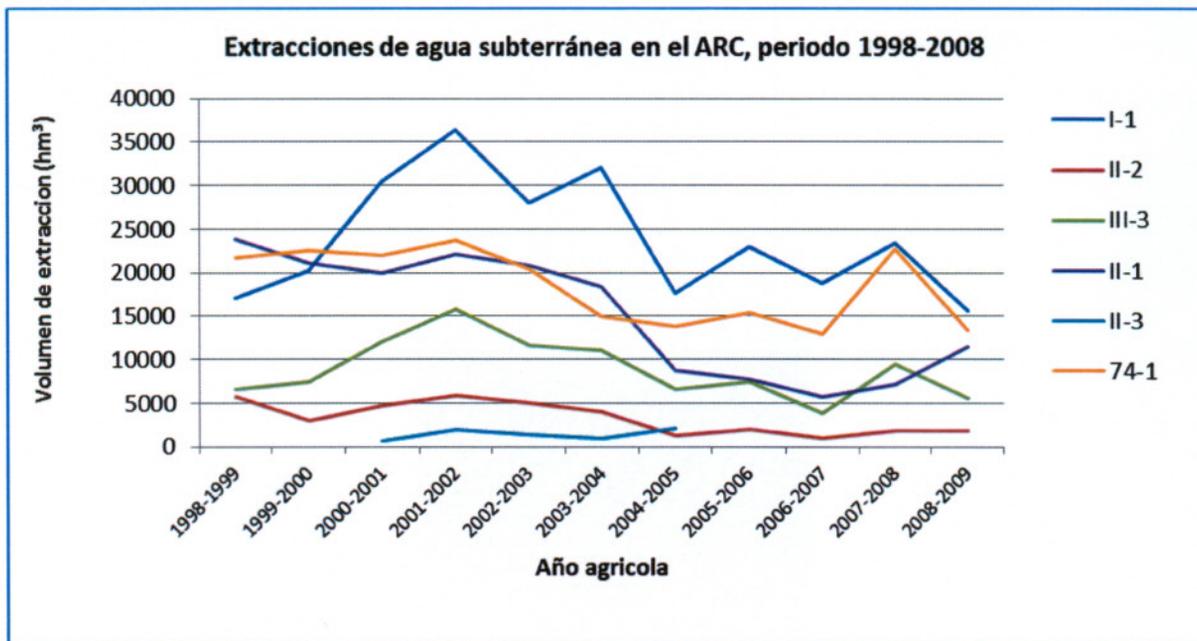
Con base en la información anterior, se realizó un análisis del efecto de la sequía en el acuífero, la cual se ilustra en la Figura 5.48 y se describe a continuación:

Considerando la localización de la zona de explotación del acuífero del río Culiacán, Figura 4.10, la cual se encuentra aguas abajo de la Ciudad de Culiacán, para el análisis temporal de la sequía se seleccionó a la estación meteorológica del mismo nombre.

En el análisis temporal de sequía que se realizó para la localidad de Culiacán, mediante el índice SPI12, en el período 1978-2008, se observa que la sequía de mayor duración ocurrió en el período noviembre de 1998 a febrero 2001, en fase incipiente, no obstante en la parte media y alta de la cuenca continuó la sequía en fase incipiente, con sus consecuentes efectos en los volúmenes de ingreso a las presas Varejonal y Sanalona, como puede apreciarse en las Figuras 5.11 y 5.12, en donde los caudales de ingreso a ambas presas durante los años 2002 y 2003 han sido los más bajos del período de análisis.

Lo anterior, trajo como consecuencia una intensiva explotación del acuífero (Figura 5.48), para compensar con agua subterránea el déficit de agua superficial.

Figura 5.48: Volúmenes de extracción de aguas subterráneas en el acuífero río Culiacán, (1998-2008)

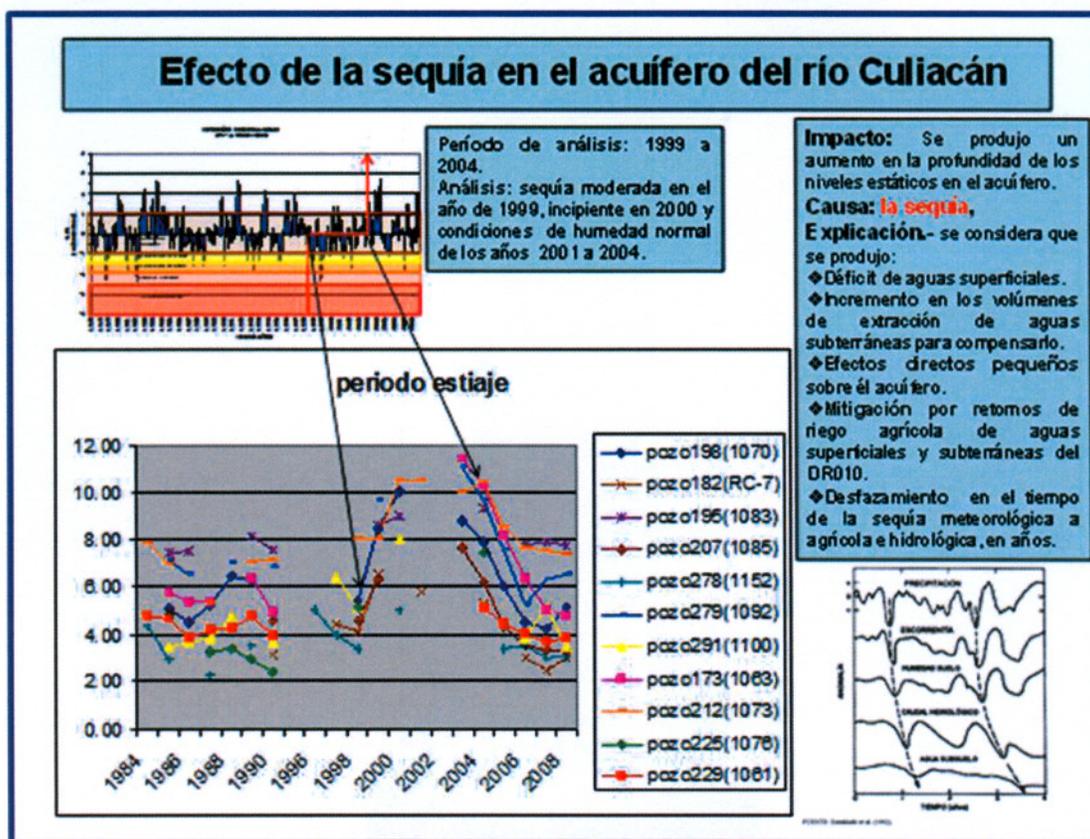


Fuente: Creación propia, Dirección Técnica del Organismo de Cuenca Pacífico Norte

En la figura anterior, se observa que en los pozos de los módulos de riego se produjo mayor extracción en el período 1999-2004, que fue cuando ocurrió la sequía.

Así mismo, en la Figura 5.49 la serie de pozos con información piezométrica muestra una tendencia de mayor profundidad de los niveles estáticos en el período 1999-2004; también se aprecia un desfaseamiento en meses desde que se presentó la sequía a los efectos de la disminución de los volúmenes de ingreso a las presas y posteriormente los abatimientos de los niveles estáticos en el acuífero. Además destaca el hecho de que hubo solo pequeños efectos directos en el acuífero debido en parte a la mitigación por retornos de riego agrícola de aguas superficiales y subterráneas del distrito de riego 010.

Figura 5.49: Efecto de la sequía en el acuífero del río Culiacán, período 1984-2008



Fuente: Creación propia, Dirección Técnica del Organismo de Cuenca Pacifico Norte.

Como un resultado de lo anterior, se puede considerar a la envolvente de la profundidad de los niveles estáticos como una primera política de operación del acuífero cuando se presenten sequías incipientes como la ocurrida durante este período; así mismo, es posible visualizar la aplicación de políticas de operación del acuífero para cuando se presente sequías más severas, inclusive llegar a la explotación temporal si es necesario en una sequía crítica o excepcional, debido a que el acuífero es de tipo libre con pronta respuesta en el sistema recarga-descarga; para ello será necesario desarrollar el modelo de simulación matemática del acuífero para prospectar su funcionamiento geohidrológico ante estas políticas de explotación de aguas subterráneas y evitar la sobreexplotación permanente y la presencia de intrusión salina.

5.2.3 Monitoreo, evaluación y escenarios probables por sequías en la zona de estudio

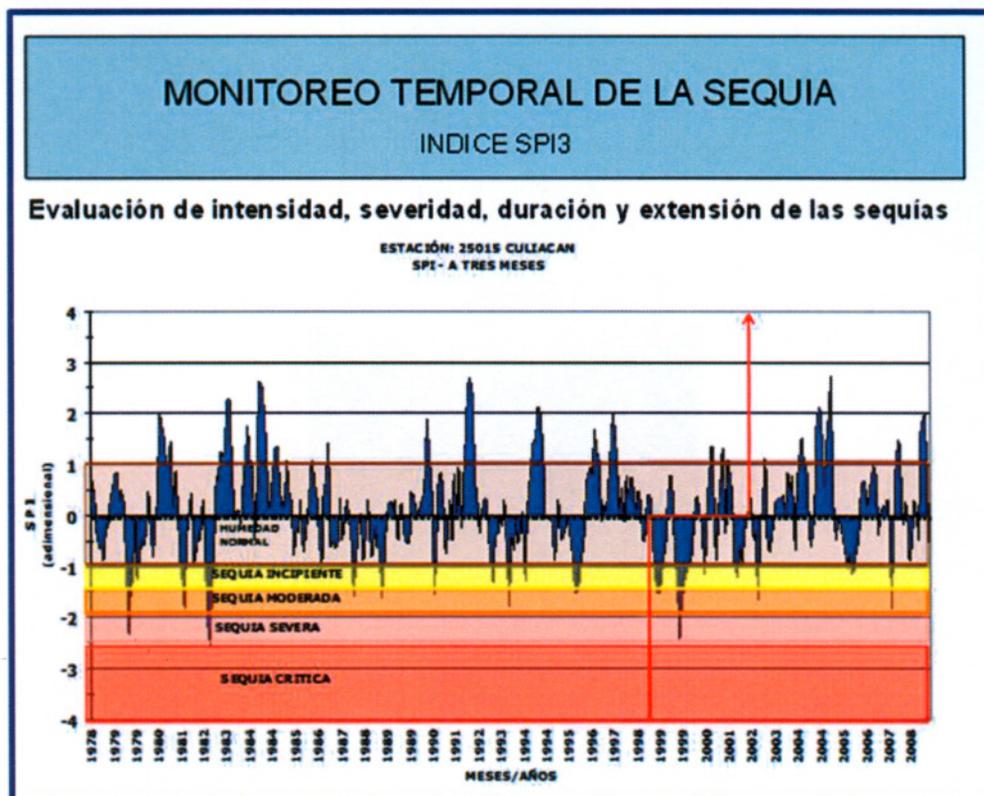
Ya una vez caracterizada la cuenca por sequía y evaluados sus efectos sobre los volúmenes de ingreso a las presas, así como en los niveles estáticos del acuífero, es necesario seguir monitoreando la presencia de sequías y sus impactos ambientales, económicos y sociales, a tiempo real, tanto temporal como espacialmente; así mismo evaluar los escenarios probables a 1, 2 y 3 meses, cuando la fase de sequía es de incipiente a moderada y a 10, 20 y 30 días, cuando se encuentra en las fases fuerte y crítica, para efectos de planeación y toma de decisiones ante situaciones de escasez aguda del agua.

5.2.3.1 Monitoreo y evaluación (temporal y espacial) por sequías en la zona

Con el apoyo del SIG-Sinaloa, se monitorean las características físicas temporales y espaciales de las sequías, para la zona en estudio mediante los índices PDSI y el SPI para diferentes escalas de tiempo.

En la Figura 5.50, se ilustran los resultados para la estación Culiacán, mediante el índice SPI3, utilizada para el monitoreo temporal de la sequía en el período 1978-2008.

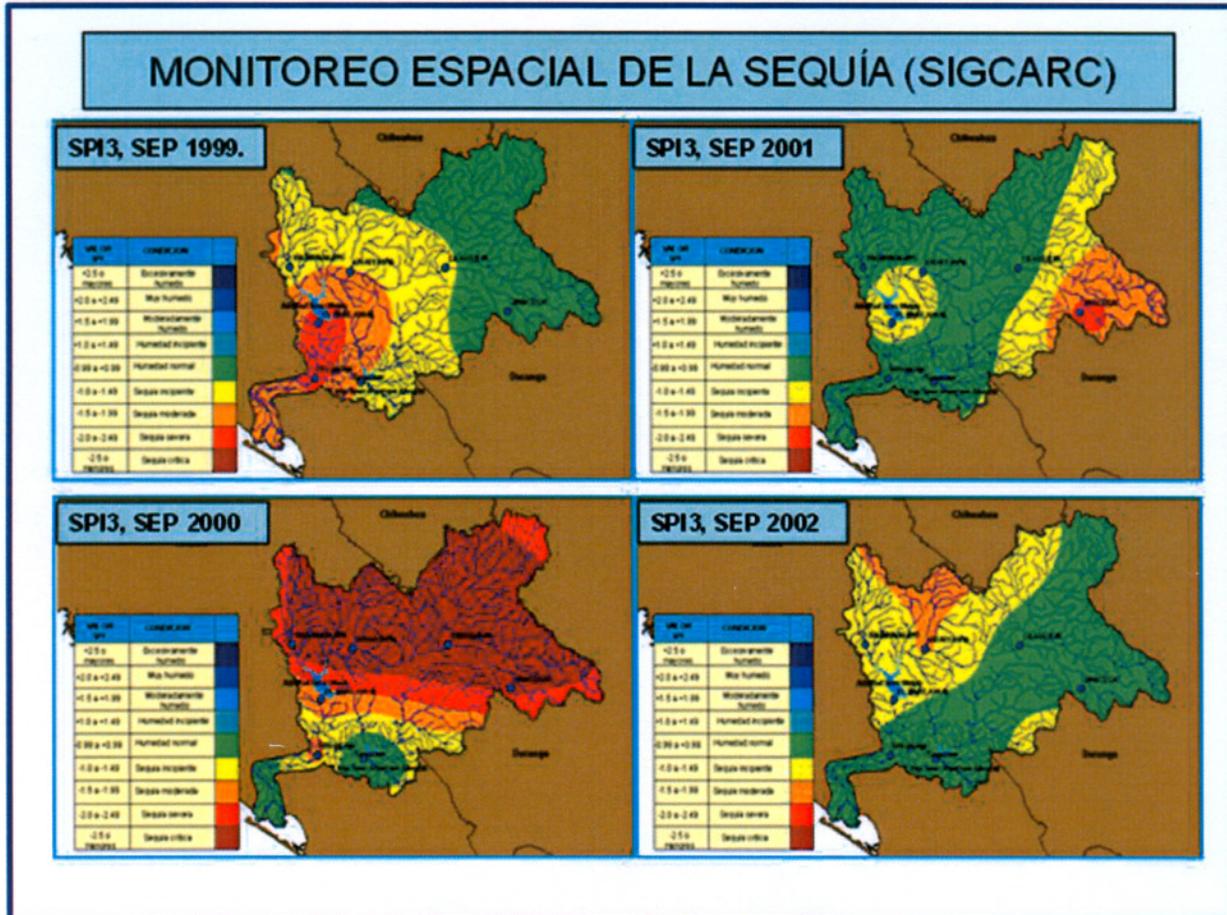
Figura 5.50: Monitoreo temporal de la sequías en la estación Culiacán, SPI3, período 1978-2008



Fuente: Creación propia, Dirección Técnica del Organismo de Cuenca Pacífico Norte

Como ejemplo del monitoreo espacial de la sequía, se describen los resultados obtenidos mediante el SPI3, para el mes de septiembre, debido a que es el más representativo para la suma de los tres meses más lluviosos del año (julio, agosto y septiembre) en la zona en estudio. El periodo de análisis es el correspondiente al de los años 1999-2002.

Figura 5.51: Monitoreo espacial de la sequías para la cuenca del río Culiacán, (SPI3, 1978-2008)



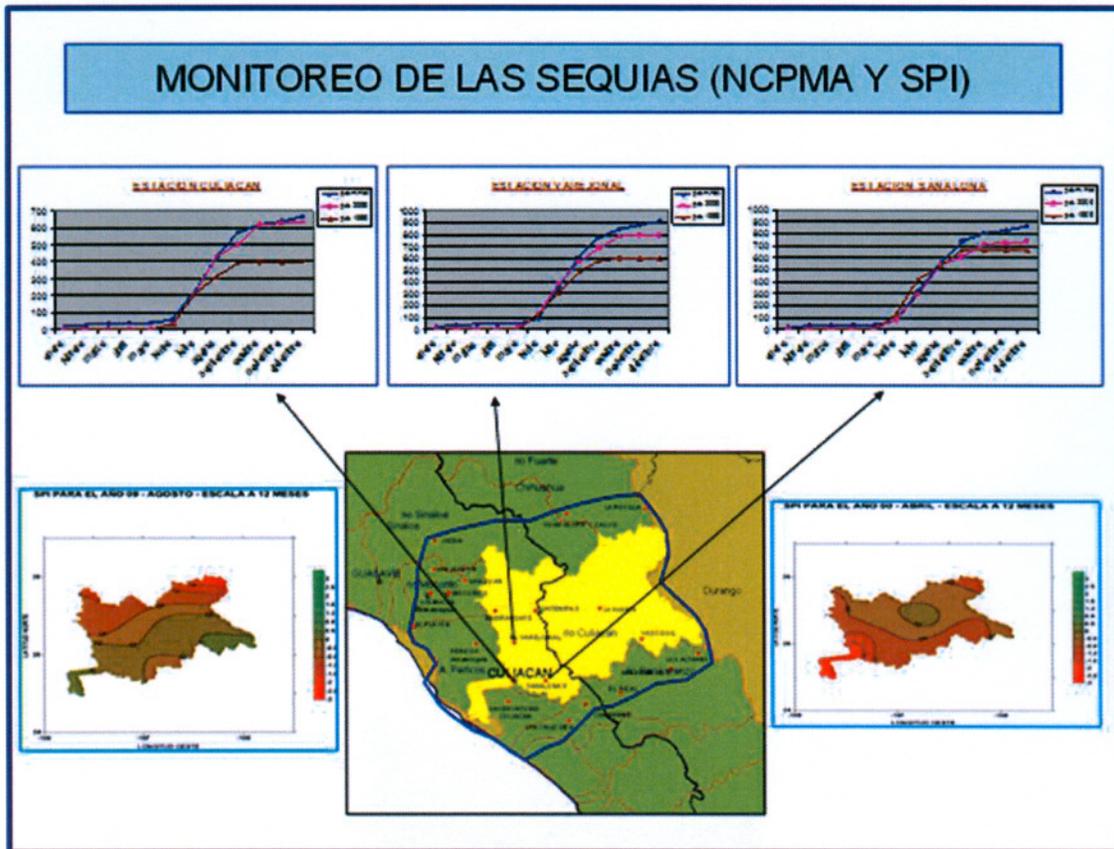
Fuente: Creación propia, Dirección Técnica del Organismo de Cuenca Pacífico Norte.

En la figura anterior, se aprecia que en el año de 1999 hubo sequía de incipiente a moderada en la parte baja y media de la cuenca, respectivamente, en la parte baja se encuentra la zona de explotación del acuífero; en la parte alta se muestran condiciones de normalidad hídrica. Durante el año 2000, no existió sequía en la parte baja del acuífero, pero se incrementó la sequía tanto espacialmente como de intensidad al pasar de incipiente y moderada a incipiente, moderada, fuerte y crítica en el resto de la cuenca. Finalmente, para los años 2001 y 2002, la sequía disminuye y la mayor parte de la cuenca presenta condiciones de normalidad hídrica, y solamente en algunas áreas de la parte alta de la cuenca se tiene condiciones de sequía incipiente y moderada.

También el monitoreo temporal y espacial se llevó a cabo durante el período 2009 y lo que va del 2010, mediante la normales climatológicas de precipitación acumulada anual y los índices SPI a diferentes escalas de tiempo y el PDSI.

En la Figura 5.52, se ilustra el seguimiento de las condiciones de humedad de las estaciones Culiacán, Varejonal y Sanalona, para el año de 2009. Por ser las estaciones representativas para el monitoreo temporal de la sequía para la parte media y baja de la cuenca, y el acuífero del río Culiacán.

Figura 5.52: Monitoreo temporal y espacial de la sequía, mediante la NCPMA y el SPI3, año 2009



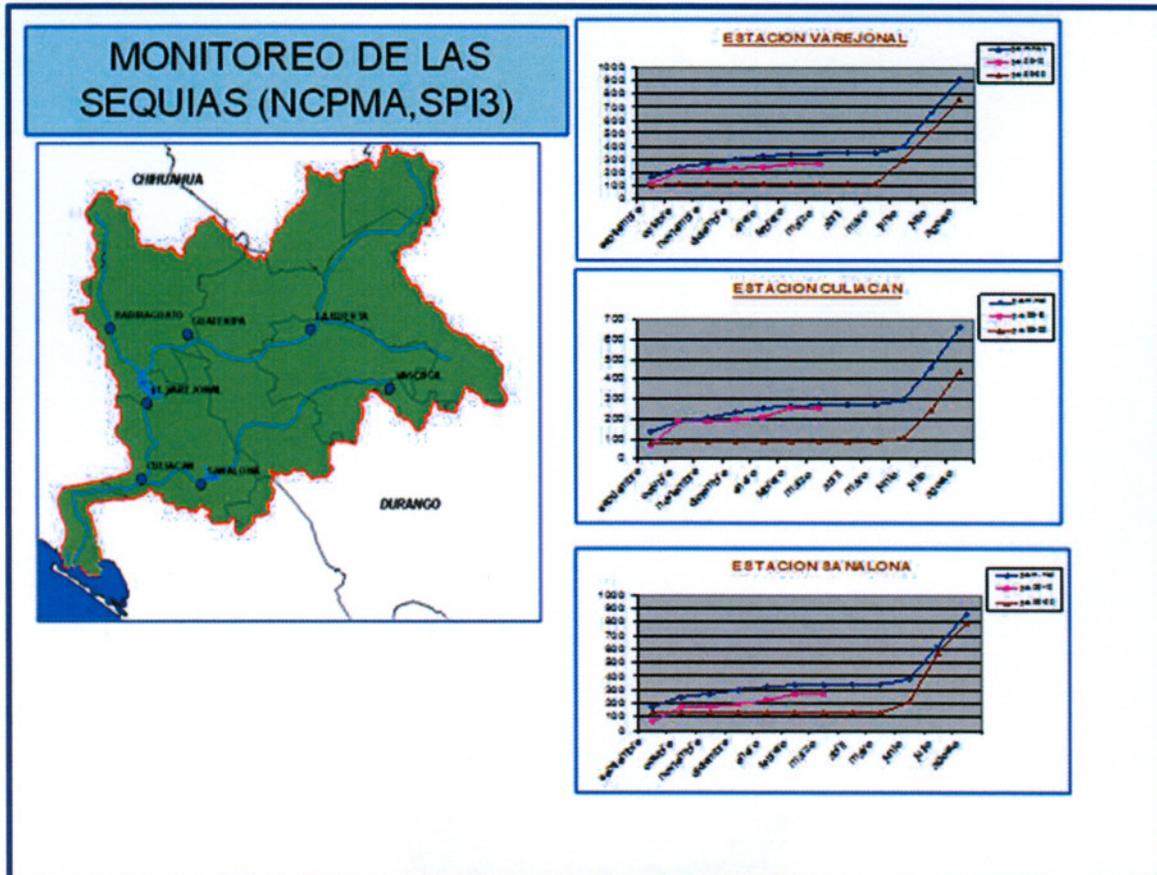
Fuente: Creación propia, Dirección Técnica del Organismo de Cuenca Pacífico Norte.

En la figura, se observa cómo la precipitación acumulada durante todo el año es menor a la normal climatológica, en todos los casos, pero mayor a la precipitación acumulada correspondiente al año 2009, que es un año con sequía. Se presentan condiciones de sequía en algunas áreas de la parte alta de la cuenca.

En la Figura 5.53, se muestra el monitoreo temporal y espacial de la sequía para el período enero-marzo de 2010, utilizando la NCPMA y el índice SPI3. El análisis muestra condiciones de

normalidad hídrica para la parte media y baja de la cuenca y el acuífero del río Culiacán y condiciones de sequía incipiente en algunas áreas de la parte alta de la cuenca. También, se observa cómo la precipitación acumulada a marzo de 2010, en las tres estaciones (Culiacán, Sanalona y Varejonal) se encuentra por debajo de la normal climatológica de precipitación acumulada para el período septiembre de un año a agosto del siguiente año, considerando como base los datos históricos de precipitación mensual correspondiente al período 1978-2009.

Figura 5.53: Monitoreo temporal y espacial de la sequía en la cuenca, (NCPMA, SPI3; ene-mar, 2010)



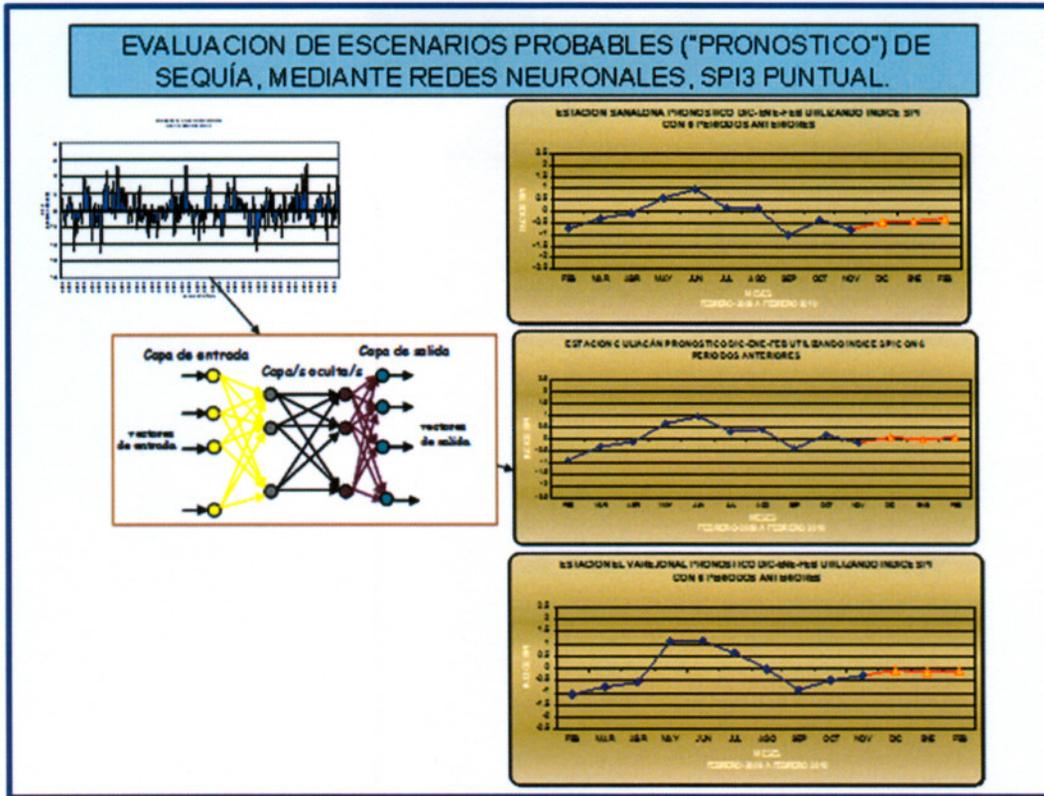
Fuente: Creación propia, Dirección Técnica del Organismo de Cuenca Pacífico Norte

5.2.3.2 Evaluación de escenarios probables por sequías a 1, 2 y 3 meses

En continuidad con el monitoreo de las fases de la sequía y para efectos de planeación, elaboración de planes de mitigación e implementación de programas de mitigación de sequías, se hace necesario elaborar escenarios probables de ocurrencia de sequías; para ello se aplican los programas de redes neuronales (Ravelo, 2009), los cuales son no paramétricos y trabajan a partir de una serie histórica de índices de sequía, con los cuales se entrena, aprende y se calibra, para posteriormente inferir los índices a 1, 2 o 3 meses siguientes.

En la Figura 5.54, se ilustra el funcionamiento de las redes neuronales y los resultados obtenidos para el SPI3, para los tres meses siguientes para las estaciones Culiacán, Varejonal y Sanalona.

Figura 5.54: Aplicación de la redes neuronales a los índices de sequía SPI3 del período 1978-2009



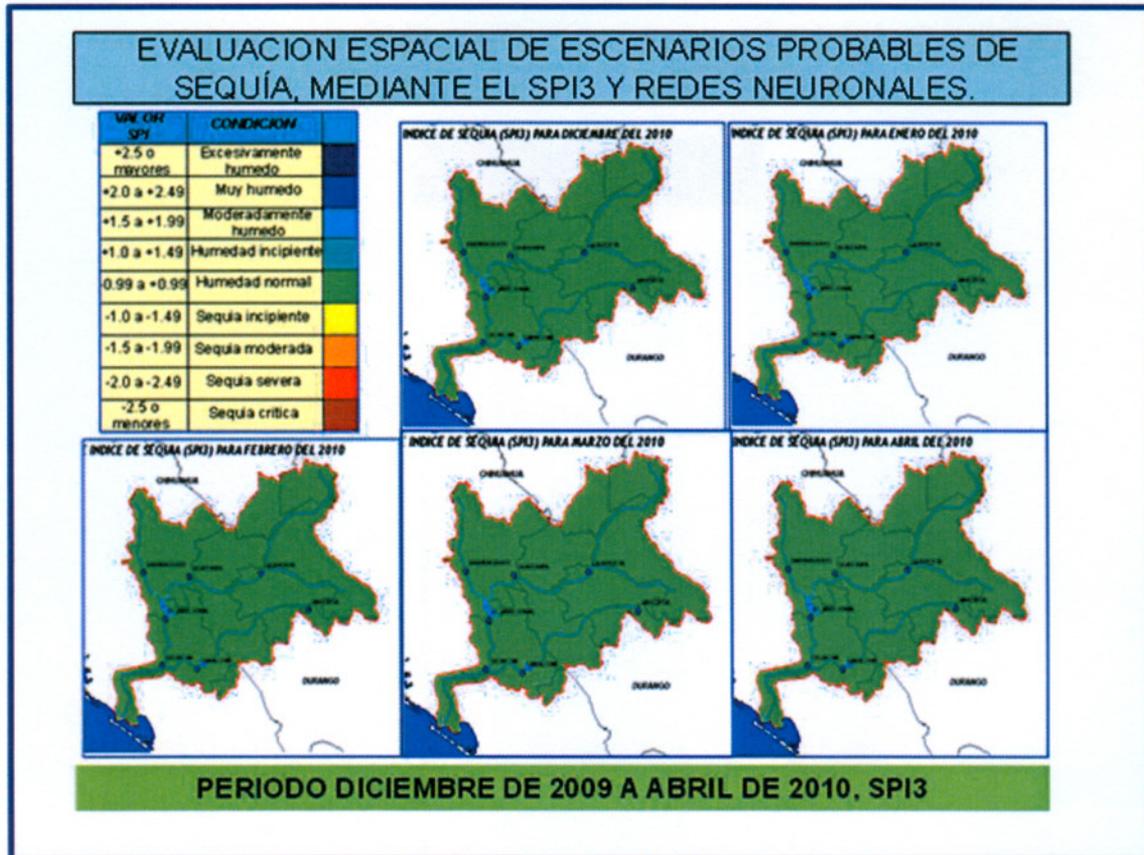
Fuente: Creación propia, Dirección Técnica del Organismo de Cuenca Pacifico Norte

Mediante la aplicación de las redes neuronales a los índices de sequía SPI3, período 1978-2009, se estimaron los escenarios probables a ocurrir en el período comprendido de diciembre de 2009 a febrero de 2010.

En cuanto a la variabilidad espacial de la sequía, se le ha dado seguimiento a los escenarios probables de sequía a 1, 2 y 3 meses con resultados satisfactorios; es conveniente mencionar que se está en etapa experimental, por lo que se seguirán observando los resultados estimados contra los esperados.

En la Figura 5.55, se observa que los resultados de los índices estimados, para los meses de diciembre de 2009 a abril de 2010, mediante redes neuronales y los calculados con base en las lluvias registradas han sido similares con poco margen de error y han coincidido en la fase de sequía, por lo que la estimación de la variabilidad espacial utilizando el SPI3 ha sido acertada hasta el momento; por lo que se seguirá observando y analizando los resultados estimados para los próximos meses.

Figura 5.55: Evaluación de escenarios por sequía en la cuenca, (RN, SPI3, 12/2009-04/2010).



Fuente: Creación propia, Dirección Técnica del Organismo de Cuenca Pacífico Norte.

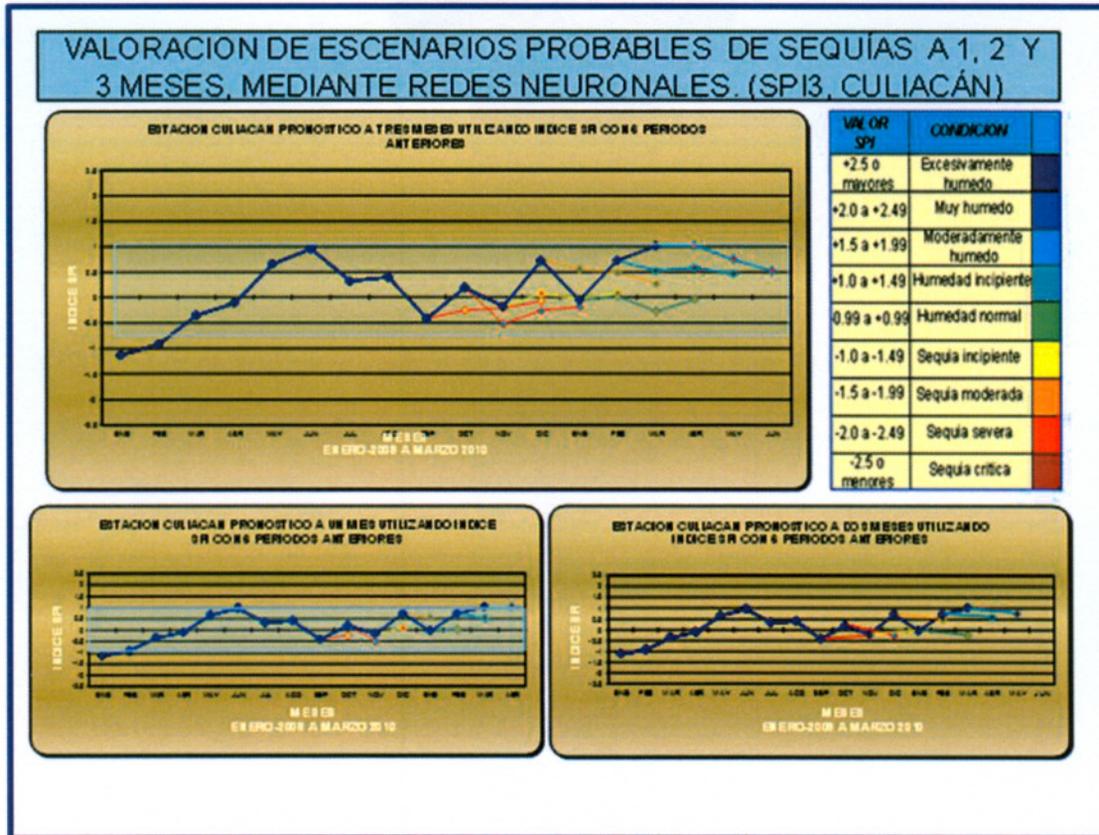
En la figura se observa la evaluación de escenarios probables por sequía en la cuenca del río Culiacán, aplicando redes neuronales a los SPI3, en el periodo comprendido de diciembre 2009 a abril de 2010; en todos los casos se tienen condiciones de normalidad hídrica en la cuenca.

En lo general, para observar cómo va la evaluación de escenarios probables, se valora qué tan diferente o aproximado es el valor estimado mediante redes neuronales a 1, 2 y 3 meses contra el valor calculado del índice, ya registrada la lluvia de ese mes en particular al cual se le estimó su escenario probable; el índice utilizado es el SPI3; los resultados obtenidos son satisfactorios hasta el momento. La evaluación espacial también fue satisfactoria.

En la Figura 5.56, se ilustra la valoración de la evaluación de escenarios probables en las tres estaciones analizadas. Se observa que lo estimado mediante redes neuronales y lo estimado considerando las lluvias registradas son cercanos entre sí para 1, 2 y 3 meses, siendo el de mayor aproximación a 2 meses, esto es, si en enero se hizo la evaluación de escenarios probables a febrero, marzo y abril, el valor que más se aproxima con el calculado, considerando las lluvias de ese mes, es el mes de marzo. La mayor aproximación se da en la estación El Varejonal.

Se continuará con la valorización de la evaluación de escenarios probables a 1, 2 y 3 meses, mediante redes neuronales, ya que se considera que ésta es la etapa inicial del experimento, y habrá que analizar lo que ocurre durante los meses lluviosos de junio a octubre siguientes.

Figura 5.56: Valoración de la evaluación de escenarios probables por sequía, a 1, 2 y 3 meses.



Fuente: Creación propia, Dirección Técnica del Organismo de Cuenca Pacifico Norte.

En esta figura se ilustra la valorización de la evaluación de escenarios probables por sequía a 1, 2 y 3 meses, de la estación Culiacán, aplicando redes neuronales a los valores puntuales de los índices de sequía SPI3, en el período septiembre de 2009 a marzo de 2010.

En caso de que se presenten sequías críticas en la zona en estudio, será necesario monitorearlas con mayor frecuencia; para ello, se está trabajando con los índices de humedad de cultivo CMI y con el índice de vegetación normalizado NDVI, también en etapa experimental; ambos métodos trabajan con datos decenales.

El CMI es un índice temporal de sequía agrícola de escala corta, fue desarrollado por Palmer posterior al PDSI que es un índice de sequía meteorológica de escala larga; para evaluar escenarios probables a 10, 20 y 30 días, se utilizara la misma metodología descrita anteriormente e ilustrada su aplicación mediante el índice SPI.

De manera similar, para el monitoreo espacial de la sequía crítica, se trabaja con el índice NDVI con imágenes de satélite SPOT las cuales se proporcionan cada diez días, esto es, se tienen 3 por mes; estas imágenes son procesadas para detectar la falta de humedad en las plantas o si están en estrés hídrico; son útiles para un seguimiento espacial y se complementan con los métodos SPI, PDSI y CMI, anteriormente descritos.

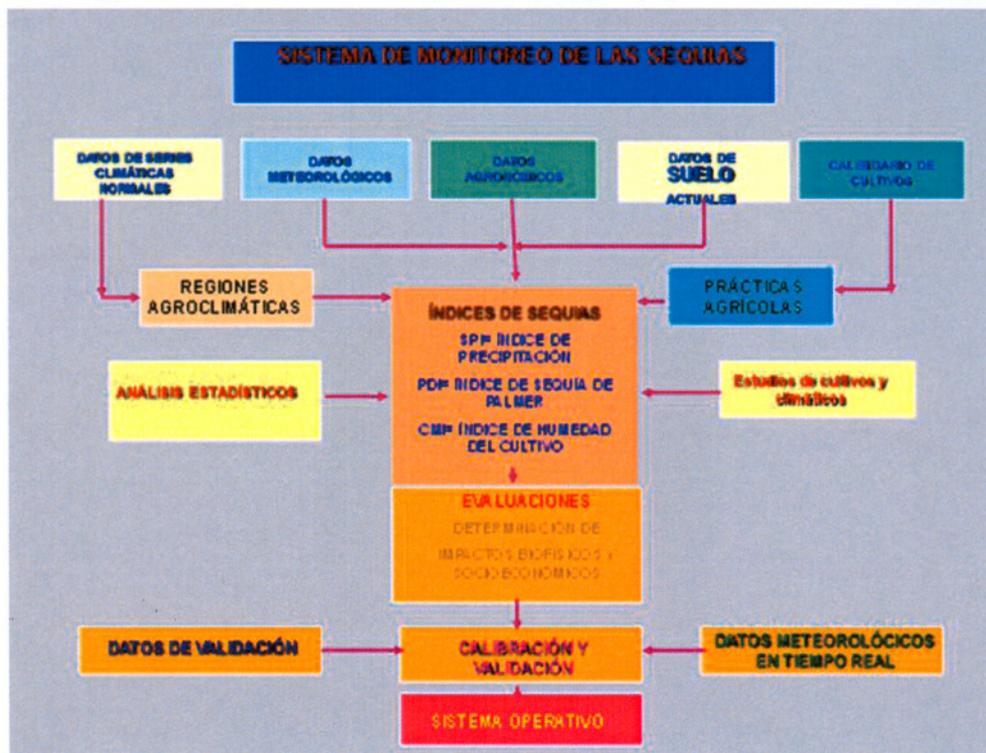
El índice NDVI, también se puede utilizar en la evaluación de escenarios probables por sequía a 10, 20 y 30 días, cuando ésta se encuentre en fase crítica; o 1, 2 y 3 meses cuando la fase sea incipiente, moderada o fuerte (DEVCOCAST, 2010).

5.2.4 Propuesta de un sistema de monitoreo, evaluación y difusión de sequías, en la zona

Como resultado de los puntos anteriores se plantea un sistema de monitoreo, evaluación y difusión de las sequías aplicable a la cuenca, en donde la sociedad juega un papel preponderante a través del Consejo de Cuenca de los ríos Mocerito al Quelite, para su mejora continua.

En la Figura 5.57, se muestra el sistema de monitoreo de las sequías aplicado a la cuenca del río Culiacán, y se propone como herramienta en el sistema operativo de sequías para el Organismo de Cuenca Pacífico Norte y que puede ser aplicado a cualquier cuenca del país.

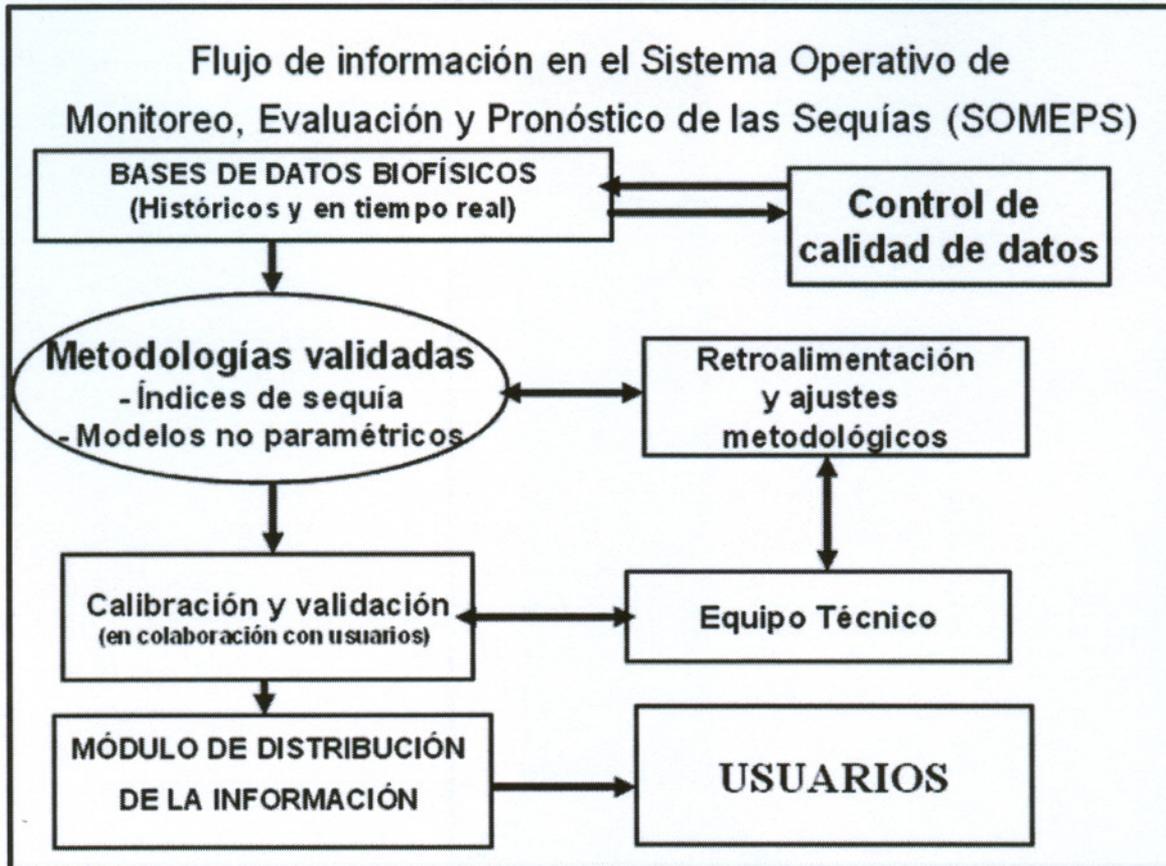
Figura 5.57: Propuesta de un Sistema de monitoreo de sequías, aplicado a la cuenca del río Culiacán.



Fuente: Ravelo, 2009

En la Figura 5.58, se muestra el organigrama del flujo de información utilizado en la aplicación del Sistema Operativo de Monitoreo, Evaluación y Pronóstico (escenarios probables) de Sequías (SOMEPS) a la cuenca del río Culiacán, el cual es replicable a otras cuencas del OCPN y del país.

Figura 5.58: Organigrama del flujo de información del SOMEPS.



Fuente: Ravelo, 2009

Finalmente, en la Figura 5.59 se muestra el esquema general del sistema operativo de sequías, utilizado en la caracterización, monitoreo, evaluación y determinación de escenarios probables por sequía, en la cuenca del río Culiacán, dentro del OCPN; y cómo se liga tanto con la capacitación de recursos humanos para la investigación de este fenómeno complejo, como la formación de un grupo multidisciplinario e interdisciplinario para su operación, y la difusión de los resultados obtenidos a la población, mediante boletines informativos de sequía mensuales y su publicación en la página Web de CONAGUA.

Figura 5.59: Esquema del SOMEPS aplicado a la cuenca del río Culiacán



Fuente: Creación propia, Dirección Técnica del Organismo de Cuenca Pacífico Norte

El objetivo final de este esquema es la creación e implantación de un programa de gestión del agua para mitigar los efectos de la sequía en la cuenca del río Culiacán, con la participación de la sociedad en un marco de sustentabilidad del recurso hídrico.

5.2.5 Discusión de una propuesta de alerta temprana y planes de mitigación de sequías

En este subcapítulo se presenta una breve discusión de una propuesta de alertamiento temprano y elaboración de planes de mitigación de sequías aplicable a la zona en estudio, con participación de la sociedad, la cual puede ser desarrollada en un futuro próximo.

En la Figura 5.60, se muestra los componentes de un Plan de Atención de Sequías (Ravelo, 2009), la cual incluye el monitoreo, alerta temprana y determinación de escenarios probables, que a su vez se conforma con el desarrollo de un plan de mitigación de sequías y el uso de índices/indicadores relacionados a impactos y disipadores; también se incluye en el plan de atención una evaluación del riesgo e impacto, esto es el quién y qué está en riesgo y porqué; y la mitigación y respuesta, mediante programas proactivos y acciones para reducir el riesgo, y redes y programas de seguridad social.

El riesgo total se define como el producto de la adversidad (riesgo natural) por la vulnerabilidad, en donde la adversidad la representa la sequía y sus características como la intensidad, severidad, duración, extensión espacial, velocidad de implantación y frecuencia, la cual se obtiene mediante los índices como el SPI, PDSI, CMI y NDVI; y la vulnerabilidad, la cual está en función de factores socioeconómicos, infraestructura, recursos hídricos, entre otros, y establecida mediante la estratificación de usuarios, inventarios de la infraestructura y de los recursos hídricos.

Figura 5.60: Componentes de un plan de atención de sequías, aplicable a la cuenca del río Culiacán



Fuente: Ravelo (2009)

Con respecto a los indicadores y componentes, se propone utilizar los índices de sequía: Normal climatológica acumulada mensual, SPI, PDSI, CMI y NDVI; y como detonantes de acción, determinar los niveles de los índices que establecen las distintas acciones a realizar según el plan de alerta y mitigación.

Por ejemplo, cuando el $SPI = -1.0$, $PDI = -2$ y $NDVI < 10\%$ marcan el comienzo de acciones de alerta y preparación de respuestas a la contingencia.

En la Figura 5.61, se muestran los niveles de detonantes y acciones de respuesta, aclarando que los niveles son tentativos y sujetos a validación local; el detonante está representado por el índice de sequía y sus niveles de alerta por sus fases de sequía; por ejemplo en el SPI si ésta es incipiente es de alerta temprana (verde), si es moderada es amarilla, si es fuerte es anaranjada y si es crítica es alerta roja.

Las acciones de respuesta también dependen de las fases de sequía: si la sequía es incipiente se implantará el Plan A, si es moderada el Plan B, si es fuerte el Plan C y si es crítica el Plan D.

Figura 5.61: Niveles de detonantes y acciones de respuesta de acuerdo a la fase de sequía y al plan.

NIVELES DE DETONANTES Y ACCIONES DE RESPUESTA (Niveles tentativos sujetos a validación local)				
Detonante y Acción	Nivel I ALERTA TEMPRANA	Nivel II ALERTA AMARILLA	Nivel III ALERTA ANARANJADA	Nivel IV ALERTA ROJA
SPI	-1.0 a -1.49	-1.5 a -1.99	-1.99 a -2.49	<-2.50
PDI	-1.0 a -1.9	-2.0 a -2.9	-3.0 a -3.9	<-4.0
NDVI	-5 a -9%	-10 a -14%	-15 a -24%	<-25%
Acción	Plan A	Plan B	Plan C	Plan D

Fuente: Ravelo (2009)

En la Figura 5.62, se muestra una síntesis de los planes de acción a desarrollar en cada fase para la mitigación de la sequía.

Figura 5.62: Síntesis de planes de acción a implementar de acuerdo a la fase de sequía

SÍNTESIS DE PLANES DE ACCIÓN	
PLAN A	Alerta temprana: Comunicación a los medios, reunión de consejos/entes gubernamentales y privados
PLAN B	Alerta amarilla: Medidas de acción directa en el uso de los recursos hídricos
PLAN C	Alerta anaranjada: Desarrollo de medidas de mitigación en fase I según regiones
PLAN D	Alerta roja: Desarrollo de medidas de mitigación en fase II según regiones

Fuente: Ravelo (2009)

Finalmente en este capítulo, se presentan algunos aspectos básicos del Programa de Gestión del Agua para Mitigar los efectos de la sequía en la Cuenca del Río Culiacán. En la Figura 5.63, se muestra la presentación del programa que se pretende desarrollar.

Este programa tiene como objetivo principal reducir la vulnerabilidad a los efectos de la sequía mediante la integración de una estructura de coordinación, concertación, supervisión y ejecución de acciones. Entre sus principales beneficios está el minimizar la vulnerabilidad de los sectores

sociales afectados recurrentemente por la sequía; planear y dar seguimiento a las acciones regionales y locales que se ejecutan para mitigar los efectos de una sequía; reducir los impactos que produce la sequía en los distintos sectores productivos y mitigar los efectos ambientales.

Figura 5.63: Programa de Gestión del Agua para Mitigar los Efectos de la sequía en la cuenca del río Culiacán.



Fuente: Sanz (2009)

Los productos que generaría el programa son: catálogo de acciones diferenciadas en distintos escenarios de escasez; sistema operativo de sequías que incluya la determinación de escenarios probables por sequía meteorológica, agrícola e hidrológica; el atlas de vulnerabilidad hídrica y talleres de simulacros en condiciones de sequía, entre otros.

En la Figura 5.64, se muestra el diagrama de la conformación de los grupos activos de acción para la gestión del agua en condiciones de sequía.

Figura 5.64: Diagrama de la conformación de los grupos activos de acción para la gestión del agua.



Fuente: Sanz (2009)

En este esquema, se observa como el Grupo de Monitoreo de la Sequía es el que estudia, monitorea y evalúa la sequía, y avisa al Grupo Gubernamental para el Manejo de la Sequía

quién escucha, evalúa y decide, dando instrucciones al Grupo Técnico de Coordinación del Recurso Hídrico, quién es el que ejecuta y opera.

En la Figura 5.65, se ilustra dentro del modelo conceptual de acción los escenarios: normal, alerta y crisis, el cual puede adecuarse a las condiciones establecidas en las componentes de Plan de Atención de Sequías (Figuras 5.59, 5.60 y 5.61), los cuales serán atendidos con base en los escenarios probables por sequía obtenidos a 1, 2 y 3 meses, de acuerdo a la metodología propuesta y explicada en subcapítulos anteriores.

Figura 5.65: Esquema que muestra los escenarios por sequía, conforme a su intensidad



Fuente: Sanz (2009)

En la Figura 5.66, se muestra el papel del Consejo de Cuenca de los ríos Mocerito al Quelite, en su participación social e institucional, como órgano de coordinación y concertación con los usuarios del agua, la sociedad organizada y las ONG's.

Figura 5.66: Esquema del papel del Consejo de Cuenca en la participación social e institucional.



Fuente: Sanz (2009)

Finalmente, en la Figura 5.67, se muestra a los responsables de realizar las acciones que se determinen en el programa, tanto en el gobierno federal, como en el estado de Sinaloa, los usuarios del agua y otros como las instituciones de educación y ONG's.

Figura 5.67: Lista de responsables de realizar las acciones consensuadas del programa de sequías.



Fuente: Sanz (2009)

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

La base de datos generada (meteorológicos, hidrológicos, geomorfológicos y geohidrológicos, entre otros), permitió la caracterización, monitoreo y evaluación de escenarios por sequía física en la cuenca y acuífero del río Culiacán, mediante los índices SPI a diferentes escalas de tiempo y PDSI.

La aplicación de los índices de sequía SPI y PDSI, estimados mediante el sistema SIG-Sinaloa para cada una de las 18 estaciones meteorológicas seleccionadas, para el período 1978-2008; permitió la determinación de las características de las sequías, principalmente en cuanto a duración, severidad, intensidad, extensión y frecuencia.

La metodología aplicada para la caracterización, monitoreo y evaluación de escenarios por sequía en la cuenca del río Culiacán, basada en los índices PDSI y el SPI, Redes Neuronales (RN) en su etapa experimental y el sistema SIG-Sinaloa, resultó ser apropiada; además, puede ser mejorada con la incorporación de los índices agrometeorológicos de escala corta, como el CMI para la variabilidad temporal y el NDVI para el análisis espacial.

Los resultados del análisis temporal y espacial de la sequía en la cuenca del río Culiacán, para el período 1978-2008, indican la presencia de sequías meteorológicas en todos los años, pero con diferentes duraciones, severidades e intensidades, algunas veces locales, en otras generalizadas, la mayoría fueron incipientes, con menor frecuencia las moderadas, menos las severas y mínima la crítica, ocurrida en el septiembre del año de 2000 y detectada con el SPI3.

Conforme a los índices SPI a diferentes escalas de tiempo y PDSI, también se presentaron sequías agrícolas e hidrológicas, pero con menor frecuencia que las meteorológicas. La sequía de mayor duración fue la que ocurrió en el período 1998-2004, provocando efectos en la agricultura y ganadería, disminuyendo los volúmenes de escurrimiento en los ríos y de ingreso a las presas, y abatimiento de los niveles estáticos del acuífero, debido al incremento en la extracción de volúmenes de agua subterránea para compensar el déficit de aguas superficiales. Se observó un desfase de los efectos de la sequía en meses; en relación a las precipitaciones, disminución de los volúmenes escurridos y de ingreso a los vasos de las presas, y abatimiento de niveles estáticos.

Las sequías más intensas se presentaron en la parte media y alta de la cuenca; en cambio, en la zona de explotación del acuífero en su mayoría fueron incipientes y menos frecuentes. El número de sequías hidrológicas es relativamente bajo; los años con sequías más extensas son: 1979 y el

período 1998-2000, que involucran todas las estaciones dentro de la cuenca, aunque con diferente fase, escala, extensión, tiempos, duración e intensidad; y el período de sequía de mayor duración fue de 1998-2003.

Los resultados del análisis sobre la variabilidad temporal de la Normal de Precipitación Mensual (NPM) se observa que los tres meses más lluviosos del año julio, agosto y septiembre, son el período de meses de mayor impacto a la sequía, ya que en ellos ocurre más del 75% de la lluvia anual.

Sobre la base del análisis de los resultados y considerando que la estación Culiacán representa a la zona de explotación del acuífero, se concluye que dicha zona ha estado expuesta a sequías de incipientes a moderadas, por tanto su riesgo a la sequías es bajo; además, cuenta con un distrito de riego que aporta aguas superficiales y subterráneas como retorno de riego, que mitigan los efectos del fenómeno, por lo que su vulnerabilidad a las sequías también es baja.

Como resultado del análisis general de la caracterización y evaluación de las sequías, puntual y espacialmente, mediante la metodología propuesta, se concluye que en la cuenca del río Culiacán las sequías, no tienen ni principio ni fin definido, puede ocurrir en cualquier mes del año o en cualquier año, su intensidad es variable; así mismo, su variabilidad espacial no tiene un patrón definido, puede ocurrir en cualquier parte de la cuenca; por otro lado, lo que ocurra en un lugar de la cuenca afecta a otra parte de la misma o al acuífero.

Además, se concluye que el índice SPI en sus diferentes escalas de tiempo, es el más aplicable a los diferentes tipos y fases de sequía que ocurren en la zona en estudio cuando no se disponen de datos sobre la capacidad de retención hídrica de los suelos, ya que ésta información es necesaria para el cálculo del PDSI.

Como caso particular, considerando al SPI de 12 meses como el mejor indicador de las sequías hidrológicas, se destaca que en los años 1979, 1980, 1982-83, 1988, 1989, 1993, 1996, 1998-2003 se presentaron sequías relevantes con posibles impactos en los cursos superficiales de agua y en los niveles estáticos de los acuíferos.

En los trabajos realizados para establecer relaciones entre el índice SPI12, y las variables hidrológicas de la cuenca y los niveles estáticos del acuífero río Culiacán, no se logró ningún resultado relevante, sino más bien, se resalta la necesidad de continuar estudiando estas relaciones a mayor profundidad con el apoyo de modelos hidrológicos, geohidrológicos, de manejo de vasos y de manejo integrales de las aguas superficiales y subterráneas para efectos de gestión y toma de decisiones en tiempos de escasez.

En el análisis de la variación temporal y espacial de 11 pozos en el acuífero del río Culiacán para el período 1984-2008, se destaca el paralelismo de las curvas de variación temporal, lo cual indica un comportamiento similar de los niveles estáticos a pesar de la distancia entre los diferentes pozos. La curva envolvente de las profundidades de los niveles estáticos puede ser considerada como una política inicial de explotación del acuífero.

La sequía hidrológica del período 1998-2003, ocasionó un aumento en la profundidad de los niveles estáticos en el acuífero del río Culiacán; el cual se debe probablemente al aumento en los volúmenes de extracción de aguas subterráneas para compensar el déficit de aguas superficiales producido por la sequía, que al efecto directo de la sequía sobre el acuífero, ya que estos efectos se encuentran mitigados y enmascarados por los retornos de riego agrícola y por los volúmenes de aguas superficiales que se utilizan en el riego agrícola del distrito de riego.

El cálculo de índices históricos permitió analizar la frecuencia y variabilidad de los eventos extremos de deficiencia y excesos hídricos.

La representación cartográfica de las sequías es útil para establecer planes de mitigación acordes con la severidad geográfica del evento.

La gestión integrada de los recursos hídricos puede verse beneficiada con información confiable y oportuna de los sistemas de monitoreo, evaluación y determinación de escenarios probables de sequías.

Para mitigar los efectos de la sequía, la mejor manera es la disponibilidad de planes de acción institucionales y para ello es necesario previamente caracterizar, monitorear, evaluar y determinar los escenarios probables por sequía a 1, 2 y 3 meses (Figura 6.1).

La metodología aplicada en el desarrollo de este trabajo, el sistema SIG-Sinaloa y sus resultados pueden ser de utilidad y apoyo en la toma de decisiones ante situaciones extremas, reconociendo que la gestión integral en el manejo del recurso agua es el mejor método para que las fluctuaciones naturales de su disponibilidad tengan menos efectos en las actividades humanas y en el bienestar social.

6.2 Recomendaciones

1. Continuar con la caracterización, monitoreo, evaluación y determinación de escenarios probables por sequía en la cuenca y acuífero del río Culiacán, mediante la aplicación del sistema operativo de sequías (SOS), y con base en los índices de sequía SPI a diferentes escalas de tiempo, PDSI, y Redes Neuronales, e incluir el índice NDVI, conforme se avance en su aplicación.

2. Seguir con el análisis de las relaciones entre los índices de sequías y los volúmenes de escurrimiento de los ríos, los volúmenes de ingreso a las presas y los niveles estáticos en el acuífero.
3. Establecer los niveles de riesgo hidrológico según la intensidad y duración de las sequías.
4. Crear un modelo de simulación dinámica para elaborar y analizar propuestas de planes de manejo integrado del agua superficial y subterráneas, sin que provoque efectos nocivos en la cuenca y en el acuífero, con base en la estimación de escenarios por sequía, aplicación de políticas de operación con niveles de confianza aceptables para la extracción del agua en las presas y la aplicación de un modelo matemático del acuífero.
5. Elaborar un Plan de Atención de Sequías, que incluya un programa de gestión del agua para mitigar sus efectos, facilitar la adaptación a condiciones de sequía y administrar correctamente el agua en tiempo de escasez, mediante acciones consensuadas ante el Consejo de Cuenca y el COTAS, dentro del contexto de la gestión integral del agua en la cuenca y acuífero del río Culiacán, (Figura 6.1).

Figura 6.1: Conclusiones principales de la caracterización y evaluación de escenarios por sequía.



Fuente: Creación propia

7 BIBLIOGRAFIA

- Acosta, A. 1988.El Niño: sus Efectos sobre el Norte de México. *Ingeniería Hidráulica en México*, 30(100):13-23.
- Alley, W.M. 1984.The Palmer Drought Severity Index: limitations and assumptions.*Journal of Climate and Applied Meteorology*, 23:1100-1109.
- Anis, A. A. 1979. The linear Reservoir With Markovian Inflows. *Water Resources Research* 15(6):1623-1627.
- Bonacci,O. 1993. The Vrana Lake Hydrology (Island of Cres-Croatia). *WaterResourcesBulletin AWRA*, 29(3): 407-414.
- Campos, D. F. 1988. Función de distribución de probabilidades Gamma Mixta: soluciones y aplicación. X Congreso Nacional de Hidráulica. Morelia. Michocán. 2: 141-151.
- Campos, D. F. 1996. Crecientes y sequías. Eventos hidrológicos extremos. *Ciencia y Desarrollo* 127: 34-41.
- Centro de Relevamiento y Evaluación de Recursos Agrícolas y Naturales,FCA/UNC.2007. Monitoreo de Sequias.
- Collado, J. 1998. Uso eficiente del agua en cuencas. *Ingeniería Hidráulica en México*, 13(1):27-49.
- Comisión Nacional del Agua.1994. *Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento*. Edición especial de la CNA. Imprenta de oficina de gobierno.
- Comisión Nacional del Agua. 2008. Programa Nacional Hídrico 2007-2012.Obtenido de <http://www.conagua.gob.mx>.
- Crespo P. 2005. Comparación de dos metodologías para el Cálculo del índice de Severidad de Sequía para doce Reservas de la biosfera Mexicana. Obtenido de <http://www.unesco.org>
- DEVCOCAST, 2010. Regional Land Training Workshop in Brazil, Junio.
- Dracup, J. A., Kil S. L. y Edwin G. P. Jr. 1980. On the Definitions of Drought.*Water Resources Research* 16(2):297-302.
- Edwards, D.C. y McKee T. B. 1997. Characteristics of 20th Century Drought in the United States at Multiple Time Scales. *Climatology Report No. 97-2, Paper No. 634*. Colorado State University. Department of Atmospheric Science.
- Estrada, F. Garantía en los sistemas de explotación de los recursos hidráulicos. Centro de Estudios y Experimentación en Obras Hidráulicas. Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente. Madrid, España.
- Food and Agriculture Organization.1998.Crop evapotranspiration-guidelines for computingcrop water requirements. Roma, Italy. Author.

- FAO - UNESCO – WMO.1985.*Hydrological Aspects od Droughts.A Contribution to the International Hydrological Programme.*France. Author. Gibbs, W. J. 1975. Drought - *Its Definition, Delineation and Effects.* In WMO: *Drought. Special Environmental No. 5. Lectures presented at the Twenty-six session of the WMO Executive Committe.* WMO No. 403: 1-40.
- Gleick, P.H. 1996. Basic Water Requirements for Human Activities: Meeting Basic Needs. IWRA, Water International, 21: 83-92.
- Golden Software. 1994. Surfer for Windows. V5.01. Golden Software, Inc. Golden, CO, USA.
- Goldman, D. 1985. Stochastic Analysis of Drought Phenomena. The Hydrologic Engineering Center. Corps of Engineers. Training document No. 25. Davis, California., USA.
- Grigg, N.S. y Vlachos, E.C. 1993. Drought and water supply management: roles and responsibilities. *Journal of Water Resources Planning and Management.* 119(5)
- Hayes, M. J.; Svoboda, M.D.; Wilhite, D.A. y Vanyarkho,O.V. 1999. Monitoring the 1996 drought using the standardized precipitation index. *American Meteorology Society,* 80:420-438.
- Howe, C. W.; Schurmeier;D. R. y Shaw, W. D.Jr. 1986. Innovative Approaches to Water Allocation: The Potential for Water Markets.*Water Resources Research* 22(4): 439-445.
- Klemeš, C. W. 1973. *Applications of Hydrology to Water Resources Management.* WMO - No. 356. Operational Hydrology Report No. 4. Geneve, Switzerland.
- Kottegoda, N. T. 1980. *Stochastic Water Resources Technology..* New York, USA: John Wiley & Sons.
- Maass, A. y Anderson, R. 1986. ... and the Desert Shall Rejoice. Conflict, Growth, and Justice in Arid Environments.Malabar, Florida, USA.: Rober E. Krieger Publishing Company, Inc.
- Managing Risk. 1997. Guide to Crop Insurance. Being Prepared. National Crop Insurance Services. USA.
- Marcos O. 2001. Sequía: definiciones, tipología y métodos de cuantificación. *Investigaciones Geográficas,* 26: 59-80. Obtenido en <http://redalyc.uaemex.mx>
- McKee, T. B., Doesken, N.J. y Kleist,J. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Proceedings of the Eighth Conference on Applied Climatology.* American Meteorological Society. Boston, Massachusetts.pp. 179-184.
- McKee, T.B., Doesken N.J. y Kleist, J. 1995. Drought monitoring with multiple time scales - Preprints of the 9th Conference on Applied Climatology. Anaheim, California.
- National Drought Mitigation Center. (2005). Obtenido en: www.drought.unl.edu/ndmc

- National Drought Mitigation Center. (1998). Obtenido en: www.unl.edu/ndmc
- NMDP. 1998. *New Mexico Drought Plan*. State of New Mexico, Office of the State Engineer. Santa Fe, NM, USA.
- Organismo de Cuenca Pacífico Norte. 2002. Programa Hidráulico Regional 2002-2006. OCPN-CONAGUA. Imprenta de oficina de gobierno
- Organismo de Cuenca Pacífico Norte. 2006. Programa Hidráulico Regional 2007-2012. OCPN-CONAGUA. Imprenta de oficina de gobierno
- Palmer, W.C., 1965. Meteorological drought. Documento de Investigación N° 45, Oficina Meteorológica del Departamento de Comercio, Washington, D.C.
- Palmer, W.C. 1968. Keeping track of crop moisture conditions, nationwide: the new Crop Moisture Index - Weatherwise, 21:156-161.
- Patrick, E. 2003. Sequías: Vulnerabilidad y crisis en las tierras áridas. Centro para el Desarrollo de las tierras Áridas, PNUD. www.undp.org/seed/unso/aboutus/ddc.htm
- Philander, S. G. 1990. El Niño, La Niña and the Southern Oscillation. Volumen 46. Academic Press, Inc. International Geophysics Series.
- Planchuelo, A.M. y Ravelo, A.C. 1985. Drought/Crop Condition Assessment Methods for Northeast Brazil, Mexico, Paraguay and Uruguay. Missouri, U.S.A.: University Missouri Press.
- Postel, S. 1991. Administración del agua en épocas de escasez.. Jiutepec, Mor. Mexico. Colección Universo del Agua.. Serie Agua y Ecología.
- Prati, N. 1996. La gestión ecosistémica del agua, necesidad de una visión integrada. *Tecnología del Agua*. 150: 63-70.
- Ravelo, A.C. 2007. Monitoreo, evaluación y pronóstico de sequías en el OCPN. Proyecto PREMIA CONAGUA. Informe Final OMM.
- Ravelo, A.C. 2008. Monitoreo, evaluación y pronóstico de sequías en el OCPN. Proyecto PREMIA CONAGUA. Informe Final OMM.
- Ravelo, A.C. 2009. Monitoreo, evaluación y pronóstico de sequías en el OCPN. Proyecto PREMIA CONAGUA. Informe Final OMM. 85 págs.
- Ruiz, Martha Guadalupe. "Evaluación física de la sequía en el Estado de Zacatecas, mediante el uso del Índice de Severidad de sequía de Palmer, 1980-2005. MPRH Tesis. Universidad Autónoma de Zacatecas. 2007. Impreso.
- Salas, J. D.; J. W. Delleur; Yevjevich; V. y Lane, W. L. 1980. *Applied Modeling of Hydrologic Time Series*. Littleton, Colorado, USA. Water Resources Publications.
- Velasco, I. y Collado, J. 1998. Elementos de planeación para afrontar sequías. XV congreso Nacional de Hidráulica. Oaxaca, Oaxaca. México.
- Velasco, I., y Collado, J. 1998a. Causas, efectos y maneras de afrontar las sequías. *Tlaloc-AMH* 12:17-22.

- Velasco Israel, Plan de Preparación para Afrontar sequías en un Distrito de Riego. Tesis Doctoral. División de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería. UNAM. Campus Cuernavaca Morelos. México.2002. Impreso.
- Wagner, A. I.; Rivera, J. y Villalobos, A. 1996. Políticas de Operación Óptimas de una Presa en Función del Escurrimiento. XVII Congreso Latinoamericano de Hidráulica. Guayaquil, Ecuador. Volumen 3, pp 37-48.
- Wilhite, D. A. 1993. Preparing for Drought: a Guidebook for Developing Countries. Lincoln, Nebraska., USA.. EarthWatch Climate Unit. UNEP.
- Wilhite, Donald. 1997. *Improving drought management in the West. The Role of Mitigation and Preparedness*. NDMC. Report to the Western Water Policy Review Advisory Commission. p. 46.
- WMO. 1975. Drought and Agriculture. Technical Note No. 138. WMO - No. 392. Geneva, Switzerland.



ANEXOS

ANEXO A. Relación de estaciones consideradas para el estudio

RELACION DE ESTACIONES CONSIDERADAS PARA EL ESTUDIO

ESTACIONES	NOMBRE	ESTACIONES	NOMBRE
1	TAMARINDO	33	ARNULFO R GOMES U.H.
2	LOS HORNOS	34	COMEDERO
3	TECUISIAPA	35	SANTA CRUZ DE ALAYA
4	GUACAS	36	SAN LORENZO
5	SAN JOAQUIN	37	QUILA
6	ROSA MORADA	38	EL DORADO
7	GUATENIPA	39	AGUACALIENTE (ELOTA)
8	LA HUERTA	40	BATAOTO(DISTRITO)
9	VAREJONAL	41	SATAYA
10	TAMAZULA	42	LATERAL 56(DISTRITO)
11	CULIACAN	43	ALTATA(S.M.N)
12	SANALONA	44	ESPINOZA(DISTRITO)
13	TEMEAPA	45	NAVOLATO
14	SIANORI	46	ALTO DE CULIACANCITO
15	TOPIA	47	PITAYAL
16	VASCOGIL	48	BACUBIRITO
17	CANELAS	49	EL TIGRE
18	COLUTA	50	CHICO RUIZ
19	OJITOS DE CAMELLONES	51	PERICOS (CLIMATOLOGICAS)
20	SAN MIGUEL DE LOS LOBOS	52	PERICOS (climatologica)
21	PALOS BLANCOS	53	SACA DE AGUA
22	BADIRAGUATO	54	MOCORITO
23	ANDREW WEISS	55	KM 3~300
24	CIENEGA DE NSTRA SEYOR	56	SAN JUAN
25	PIAXTLA	57	GUACAPAS
26	EL CANTIL	58	SURUTATO
27	SAN DIEGO .DET	59	GUADALUPE Y EL CALVO
28	LOS ALTARES	60	LA ROSILLA
29	CHACALA	61	PIELAGOS
30	El Real	62	Observatorio Culiacán
31	El Playon	63	Guamúchil Climatológica
32	Jaina	64	El Vergel

18	ESTACIONES CON INFOMACION SUFICIENTE INDICES ESTIMADOS: (SPI, PDI, CMI)
19	ESTACIONES CON INFORMACION Y PERIODO INSUFICIENTE, INDICES ESTIMADOS: (SPI, PDI)
27	ESTACIONES CON INFORMACION INSUFICIENTE O QUE DEJARON DE OPERAR
64	TOTAL DE ESTACIONES

RELACION DE ESTACIONES SELECCIONADAS PARA EL ESTUDIO

ESTACIONES	NOMBRE
1	San Joaquín
2	Guatenipa
3	La Huerta
4	Varejonal
5	Culiacán
6	Sanalona
7	Vascogil
8	Badiraguato
9	Los Altares
10	El Real
11	El Playon
12	Jaina
13	Santa Cruz de Alaya
14	Pericos (climatológica)
15	Mocorito
16	Guadalupe y Calvo
17	Guamúchil(Climatológica)
18	El Vergel

ANEXO B. Base de datos: meteorológicos, hidrométricos y de niveles estáticos.

Anexo B1 Registros mensuales de precipitación

PRECIPITACION MENSUAL													
ESTACION GUATENIPA													
latitud 25° 20' 35"													
altitud 297 msnm													
longitud 107° 13' 15"													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1978	0.0	66.0	0.5	7.1	0.0	58.1	302.7	216.8	289.2	93.3	2.3	21.6	1057.6
1979	135.8	59.7	0.2	0.0	11.5	7.1	203.9	231.6	80.4	0.0	0.0	15.6	745.8
1980	0.0	10.5	1.5	2.0	0.0	56.7	250.9	404.8	207.4	192.9	30.5	27.8	1185.0
1981	128	6.7	42.6	10.0	0.0	50.1	248.9	264.6	173.0	261.1	1.4	2.5	1188.9
1982	50.6	0.0	0.0	2.8	32.0	0.0	276.0	135.3	220.8	0.6	96.5	64.3	878.9
1983	38.5	70.4	67.4	27.9	62.4	10.3	282.5	215.2	164.5	34.6	58.4	22.6	1054.7
1984	56.2	0.0	0.0	3.4	141.0	328.8	503.2	317.1	76.1	39.5	37.6	169.4	1672.3
1985	95.2	0.2	9.6	6.4	0.0	137.8	306.2	289.2	93.8	125.9	5.0	0.0	1069.3
1986	12.4	0.0	0.0	23.0	0.0	122.2	318.7	202.9	238.0	265.2	0.0	15.1	1197.5
1987	6.8	4.6	0.0	3.4	5.2	10.9	238.9	279.4	121.3	1.5	6.2	64.0	742.2
1988	0.0	0.0	1.5	0.0	0.0	78.5	234.5	355.5	95.2	1.3	0.0	54.3	820.8
1989	30.5	50.0	10.5	0.0	0.0	2.0	180.1	301.6	168.2	5.2	85.1	30.1	863.3
1990	0.0	102.8	2.5	0.0	0.0	221.3	430.5	102.1	136.4	110.8	57.6	31.5	1195.5
1991	5.3	8.4	0.0	0.0	0.0	14.7	391.6	285.4	223.5	48.4	71.5	178.8	1227.6
1992	203.3	52.5	4.4	11.1	57.5	15.0	387.5	125.8	128.6	44.5	33.8	16.7	1080.7
1993	35.3	14.8	0.0	0.4	6.7	201.5	217.0	187.1	308.3	13.0	76.1	0.0	1060.2
1994	1.0	0.0	18.5	12.5	0.0	173.0	134.0	441.0	118.6	17.5	73.3	30.4	1019.8
1995	2.5	7.3	0.0	0.0	0.0	45.5	345.2	260.5	144.5	0.0	0.0	4.0	809.5
1996	4.5	0.0	0.0	7.0	0.0	143.5	284.3	268.1	167.2	13.2	52.5	0.0	940.3
1997	31.0	2.0	2.0	99.0	0.5	144.5	288.5	166.2	151.9	20.0	84.0	74.5	1064.1
1998	0.0	16.0	0.0	0.0	0.0	15.5	163.5	201.0	119.3	27.2	4.5	0.0	547.0
1999	0.0	0.0	1.5	0.0	0.0	248.0	282.1	128.4	139.1	23.0	1.9	0.0	824.0
2000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	292.1	188.2	99.3	93.2	181.7	110.6	0.0	965.1
2001	0.0	4.2	47.0	0.0	0.0	204.9	256.4	240.0	117.2	48.0	4.5	9.1	931.3
2002	19.3	23.0	0.0	0.0	0.0	8.5	251.0	163.6	129.5	44.0	20.0	18.0	676.9
2003	3.5	35.2	2.8	0.0	0.0	108.7	296.8	242.3	286.8	35.1	8.0	0.0	1019.2
2004	95.5	17.5	22.4	0.0	7.5	212.0	343.8	401.9	187.5	149.0	165.0	22.8	1624.9
2005	31.6	20.3	26.0	0.0	0.0	5.5	211.5	221.5	92.6	57.5	0.5	0.0	667.0
2006	8.5	0.0	0.0	0.0	5.0	165.5	382.9	389.4	220.0	94.0	0.0	58.0	1323.3
2007	66.3	0.0	3.5	0.0	0.0	200.5	383.0	183.5	179.7	10.5	60.5	62.0	1149.5
2008	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	143.5	428.0	209.2	209.7	12.7	0.0	0.0	1003.6
MEDIA	34.2	18.5	8.5	7.0	10.6	110.5	290.7	242.9	163.9	63.6	37.0	32.0	1019.5
DS	49.8	26.7	16.4	18.4	28.8	96.0	86.1	90.3	62.9	75.2	42.5	44.4	250.1
MAXIMO	203.3	104.8	195.1	99.0	141.0	328.8	503.2	441.0	308.3	265.2	165.0	178.8	1672.3
MINIMO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	131.4	99.3	76.1	0.0	0.0	0.0	547.0
C V.	1.5	1.4	1.9	2.6	2.7	0.9	0.3	0.4	0.4	1.2	1.1	1.4	0.2
SESGO	1.916	1.687	2.401	4.499	3.639	0.518	0.464	0.474	0.696	1.538	1.145	2.275	0.675

Nota: DS= Desviación Estándar; CV= Coeficiente de Variación.

PRECIPITACION MENSUAL													
ESTACION LA HUERTA													
latitud 25° 21' 48"													
altitud 670 msnm													
longitud 106° 42' 02"													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1978	0.0	57.0	1.5	10.1	10.6	80.1	224.5	145.1	160.4	50.2	12.8	78.6	830.9
1979	201.9	3.6	0.0	0.0	42.4	80.1	97.1	166.1	56.7	0.0	0.0	40.4	688.3
1980	6.0	29.0	27.5	8.0	10.6	42.1	170.3	162.5	106.2	105.2	67.0	56.2	790.6
1981	182.8	10.0	57.2	83.1	1.8	55.5	77.9	123.8	226.1	147.8	2.2	12.8	981.0
1982	45.2	0.0	0.0	4.4	5.4	41.7	168.3	95.4	110.9	27.0	127.0	130.8	756.1
1983	98.8	58.6	116.8	40.4	29.6	48.5	137.4	102.6	80.1	62.6	135.5	35.9	946.8
1984	112.3	0.0	0.0	4.8	27.8	117.8	159.3	160.6	56.2	70.5	55.2	184.0	948.5
1985	232.8	2.0	9.8	6.8	0.0	105.0	141.0	125.2	179.0	112.4	1.8	6.8	922.6
1986	58.5	32.4	0.0	19.4	0.0	100.0	176.6	145.1	112.1	193.0	4.0	153.8	994.9
1987	16.5	1.8	0.0	5.2	52.2	73.4	210.0	121.1	37.5	63.5	19.8	161.7	762.7
1988	0.0	0.0	8.9	0.0	0.0	135.0	237.7	125.9	96.5	5.0	0.0	11.3	620.3
1989	17.6	72.7	5.5	0.0	0.0	3.4	190.1	113.7	126.8	0.0	136.9	162.3	829.0
1990	18.9	57.5	15.5	0.0	0.0	47.6	231.5	163.5	136.5	77.1	20.3	197.6	966.0
1991	13.8	35.5	0.0	0.0	0.0	20.3	176.5	181.7	207.7	51.6	95.3	285.3	1067.7
1992	337.5	55.1	24.5	28.5	9.0	32.1	174.6	86.3	17.1	37.8	38.5	73.2	914.2
1993	57.5	13.7	0.0	0.0	10.6	182.2	119.1	91.3	164.0	35.7	61.0	4.8	739.9
1994	4.5	0.0	19.0	1.6	10.6	128.4	104.9	127.3	138.7	27.0	38.8	73.8	674.6
1995	8.0	22.6	0.0	0.0	10.6	77.7	124.7	108.6	85.1	0.0	3.4	23.9	464.6
1996	20.2	0.0	0.0	0.0	10.6	18.6	116.9	142.2	160.2	23.3	65.5	0.0	557.5
1997	54.1	6.1	23.4	91.6	10.7	107.1	170.7	93.5	61.0	0.0	115.6	0.0	733.8
1998	0.0	10.7	0.0	0.0	0.0	12.8	194.7	52.6	16.2	28.3	20.0	0.0	335.3
1999	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	232.5	165.0	50.0	113.0	61.5	52.9	2.0	676.9
2000	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	181.5	78.0	36.0	62.5	74.5	52.9	73.1	562.5
2001	16.0	17.0	50.5	0.0	0.0	82.5	150.8	151.0	78.5	0.0	52.9	73.1	672.3
2002	23.0	43.0	0.0	0.0	0.0	16.0	148.5	150.5	83.0	67.5	52.9	73.1	657.5
2003	10.5	99.5	0.0	0.0	0.0	119.0	102.5	109.5	150.0	39.5	17.5	0.0	648.0
2004	231.5	112.0	0.0	0.0	0.1	148.0	228.5	290.0	226.5	112.5	272.5	55.5	1677.1
2005	57.0	147.0	20.5	1.0	0.0	35.5	209.0	136.5	52.5	32.0	30.0	0.0	721.0
2006	6.0	0.0	0.0	0.0	10.5	93.5	136.5	81.0	180.6	116.0	0.0	94.5	718.6
2007	115.0	9.0	0.0	0.0	0.0	97.0	110.5	118.0	125.5	26.0	54.0	112.5	767.5
2008	0.0	0.0	6.0	0.0	11.0	41.0	190.0	173.5	235.5	24.0	0.0	0.0	681.0
MEDIA	62.8	28.9	12.5	9.8	8.6	82.4	158.8	126.8	117.5	53.9	51.8	70.2	784.1
DS	87.0	37.8	24.4	22.7	12.9	55.4	45.3	47.4	61.0	46.9	58.3	72.9	232.6
MAXIMO	337.5	164.7	116.8	91.6	52.2	232.5	237.7	290.0	235.5	249.5	272.5	285.3	1677.1
MINIMO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.4	77.9	30.9	16.2	0.0	0.0	0.0	335.3
CV	1.4	1.3	2.0	2.3	1.5	0.7	0.3	0.4	0.5	0.9	1.1	1.0	0.3
SESGO	1.744	1.612	3.084	2.931	2.115	0.801	-0.023	0.981	0.298	1.125	2.065	1.144	1.728

Nota: DS= Desviación Estándar; CV= Coeficiente de Variación.

PRECIPITACION MENSUAL													
ESTACION EL VAREJONAL													
latitud 25° 05' 40" altitud 119 msnm longitud 107° 23' 35"													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1978	0.0	44.0	0.0	1.0	0.0	0.0	235.6	316.0	327.0	130.5	2.0	21.0	1077.1
1979	93.0	23.0	0.0	0.0	0.4	32.0	301.0	141.5	81.5	0.0	0.0	4.0	676.4
1980	4.0	0.0	2.0	0.0	0.0	2.0	186.5	513.0	186.5	106.0	40.0	10.0	1050.0
1981	115.0	0.0	24.0	4.0	0.0	34.5	211.5	245.5	195.0	573.0	0.0	0.0	1402.5
1982	22.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	146.5	142.5	260.0	1.5	77.5	61.0	711.0
1983	16.0	86.0	28.0	35.0	0.0	0.0	298.5	401.5	244.1	28.0	59.5	15.5	1212.1
1984	65.5	0.0	0.0	0.0	0.0	397.5	369.1	173.5	99.0	67.5	30.0	132.0	1334.1
1985	53.5	0.0	6.0	0.0	0.0	92.5	382.5	251.0	104.0	143.5	0.0	0.0	1033.0
1986	12.0	12.0	0.0	23.0	0.0	9.5	283.1	154.0	130.5	338.9	0.0	25.0	988.0
1987	0.0	2.0	0.0	0.0	3.0	0.0	357.0	269.5	53.5	5.0	4.0	24.0	718.0
1988	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	41.5	293.5	404.0	141.0	1.0	0.0	98.5	980.5
1989	24.0	33.2	0.0	0.0	0.0	5.0	171.0	410.5	113.0	4.0	102.5	29.0	892.2
1990	0.0	25.0	4.0	0.0	0.0	108.5	460.5	217.0	167.8	106.0	73.0	142.0	1303.8
1991	0.0	5.5	0.0	0.0	0.0	2.0	297.5	211.5	226.5	33.5	91.0	179.0	1046.5
1992	218.0	22.5	4.5	0.0	0.0	30.0	321.0	105.0	34.7	72.0	19.0	6.5	833.2
1993	15.0	8.0	0.0	0.0	2.0	105.0	189.5	335.0	211.5	17.0	86.0	0.0	969.0
1994	0.0	0.0	10.0	0.0	0.0	5.0	345.5	333.5	136.5	128.5	61.0	38.0	1058.0
1995	1.0	4.0	0.0	0.0	0.0	4.5	250.0	175.5	223.0	0.0	0.0	1.0	659.0
1996	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	53.0	297.0	269.5	232.0	45.5	92.5	0.0	989.5
1997	48.0	1.0	3.0	82.5	0.0	42.0	271.5	113.0	238.0	3.0	80.0	45.0	927.0
1998	0.0	67.0	1.0	0.0	0.0	0.0	146.0	141.0	163.0	15.0	2.0	0.0	535.0
1999	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	126.6	187.0	167.0	99.0	16.0	0.0	0.0	595.6
2000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	185.5	218.0	240.0	68.0	132.0	60.0	0.0	903.5
2001	0.0	3.0	27.0	0.0	0.0	85.0	162.0	307.0	76.0	42.0	13.0	23.0	738.0
2002	4.0	16.0	0.0	0.0	0.0	0.0	175.0	148.5	253.5	11	15	14	637.0
2003	2.0	15.0	3.0	0.0	0.0	3.5	213.0	152.0	288.0	25.5	2.0	0.0	704.0
2004	104.0	24.0	7.0	0.0	0.0	62.0	276.0	326.0	160.0	115.5	109.5	15.0	1199.0
2005	12.5	122.5	20.0	0.0	0.0	0.0	278.5	185.0	165.0	50	9.0	0.0	842.5
2006	4.5	0.0	0.0	4.3	0.0	137.5	294.0	260.0	129.5	147	0.0	16.5	993.3
2007	32.5	0.0	0	4.3	0	39.5	195	311.5	235.5	9.5	32.0	51.0	910.8
2008	0.0	0.0	0.0	0.0	0	10.5	365.5	343.0	214.0	22.0	0.0	0.0	955.0
MEDIA	27.3	16.6	4.5	5.0	0.2	52.1	263.8	250.4	169.6	77.1	34.2	30.7	931.4
DS	48.1	28.5	8.4	16.2	0.6	81.0	78.6	101.9	74.0	116.6	38.1	46.2	220.8
MAXIMO	218.0	144.0	33.5	82.5	30.5	397.5	824.7	513.0	327.0	573.0	109.5	179.0	1463.5
MINIMO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	112.8	102.1	34.7	0.0	0.0	0.0	535.0
CV.	1.8	1.7	1.8	3.3	3.7	1.6	0.3	0.4	0.4	1.5	1.1	1.5	0.2
SESGO	2.588	2.466	2.062	4.176	3.909	2.894	0.397	0.609	0.066	3.060	0.666	2.045	0.229

Nota: DS= Desviación Estándar; CV= Coeficiente de Variación.

PRECIPITACION MENSUAL													
ESTACION CULIACAN													
latitud 24° 49' 00" altitud 40 msnm longitud 107° 25' 00"													
ANO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1978	0.0	25.4	0.0	0.0	0.0	2.2	126.3	182.0	107.8	77.9	1.2	28.2	551.0
1979	48.2	14.3	0.0	0.0	3.3	12.5	97.7	64.1	205.9	0.0	0.0	11.4	457.4
1980	0.0	0.0	2.7	0.0	0.0	0.9	115.9	236.8	180.6	219.0	15.8	8.3	780.0
1981	106.8	0.0	6.0	5.3	0.0	11.5	99.5	140.5	98.4	113.1	0.0	0.2	581.3
1982	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	57.1	106.5	200.8	0.0	85.4	54.5	510.6
1983	27.1	46.0	22.1	28.2	5.0	0.0	163.3	218.1	133.3	18.7	143.7	28.5	834.0
1984	75.4	0.0	0.0	0.0	5.0	155.5	285.2	197.3	180.6	24.3	31.5	114.5	1069.3
1985	27.8	11.3	0.0	0.5	0.0	49.1	163.9	181.7	81.6	98.8	0.0	0.0	614.7
1986	11.0	3.6	0.0	15.5	0.0	11.3	188.7	142.4	67.2	219.9	0.0	11.4	671.0
1987	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	165.3	239.1	94.5	0.0	2.5	33.1	537.0
1988	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	116.0	229.5	95.2	0.0	0.0	15.5	456.2
1989	18.8	10.5	0.0	0.0	0.0	0.0	179.6	217.3	66.7	50.0	46.0	20.3	609.2
1990	3.7	13.0	0.0	0.0	0.0	25.3	331.0	148.3	61.2	39.0	44.5	69.0	735.0
1991	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	242.2	130.7	232.0	0.0	50.5	165.7	822.1
1992	201.2	22.5	0.0	1.5	0.0	0.0	173.3	234.7	125.9	0.0	8.0	0.0	767.1
1993	12.0	4.1	0.0	0.0	0.0	0.0	68.8	260.2	107.2	11.0	43.7	0.0	507.0
1994	0.0	0.0	18.5	0.0	0.0	71.0	231.2	338.0	165.0	29.0	14.3	27.6	894.6
1995	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	142.0	205.8	150.8	0.0	0.0	0.0	498.6
1996	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	35.0	220.3	203.5	270.3	49.0	18.5	0.0	796.6
1997	37.2	0.0	0.0	36.0	7.5	36.0	187.2	144.0	228.5	1.5	56.5	45.5	779.9
1998	0.0	19.3	0.0	0.0	0.0	0.0	136.5	278.8	131.0	0.0	0.0	0.0	565.6
1999	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	35.0	174.5	103.6	76.5	7.0	0.0	3.2	399.8
2000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	19.0	144.5	193.5	55.0	169.0	55.0	0.0	636.0
2001	0.0	3.5	22.0	0.0	0.0	1.5	266.5	182.0	82.2	33.7	0.3	5.3	597.0
2002	0.6	10.7	0.0	0.0	0.0	0.0	147.8	75.1	283.4	35.8	7.7	2.6	563.7
2003	0.0	13.9	0.3	0.0	0.0	19.3	184.2	161.3	252.2	29.5	4.5	0.0	665.2
2004	85.5	23.8	11.5	0.00	0.0	9.5	119.1	212.8	214.2	197.7	55.7	9.2	939.0
2005	21.5	125.0	0.0	0.0	0.0	0.0	160.1	203.4	97.9	28.3	2.5	0.0	638.7
2006	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	30.4	196.9	163.2	175.3	137.7	0.0	6.8	711.3
2007	14.8	9.5	0.0	0.0	0.0	7.0	60.6	311.4	250.8	3.0	32.2	28.3	717.6
2008	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.2	129.5	424.0	176.0	28.6	0.0	0.0	767.3
MEDIA	22.6	11.5	2.7	2.8	0.7	17.5	163.7	197.7	149.9	52.3	23.2	22.2	666.9
DS	43.0	23.6	6.5	8.4	1.9	31.0	63.5	75.4	68.5	68.3	32.7	36.7	155.0
MAXIMO	201.2	125.0	57.8	36.0	32.4	155.5	418.5	424.0	283.4	219.9	143.7	265.7	1112.3
MINIMO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	43.5	64.1	36.3	0.0	0.0	0.0	384.1
CV	1.9	2.1	2.4	3.0	2.8	1.8	0.4	0.4	0.5	1.3	1.4	1.7	0.2
SESGO	2.909	4.004	2.431	3.270	2.741	3.289	0.622	0.828	0.378	1.484	2.000	2.688	0.532

Nota: DS= Desviación Estándar; CV= Coeficiente de Variación.

PRECIPITACION MENSUAL													
ESTACION SANALONA			latitud 24° 48' 00"				altitud 113 msnm				longitud 107° 09' 45"		
ANO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1978	0.0	25.7	0.0	0.0	0.0	5.6	221.2	226.5	166.7	63.0	0.0	41.5	750.2
1979	58.5	16.0	0.0	0.0	1.5	2.0	148.5	112.5	155.5	0.0	0.0	4.5	499.0
1980	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	183.0	406.5	240.5	151.0	26.0	6.5	1016.0
1981	76.5	1.0	8.0	5.4	0.0	12.5	199.5	208.5	172.0	128.1	0.0	0.0	811.5
1982	13.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	148.3	100.4	273.6	0.0	89.0	61.7	686.5
1983	38.2	62.0	28.0	12.2	1.0	0.0	192.4	230.0	168.3	28.8	96.1	18.3	875.3
1984	56.7	0.0	0.0	0.0	13.8	118.4	339.6	194.0	132.8	65.1	28.0	134.5	1082.9
1985	40.8	0.0	0.0	0.0	0.0	136.6	301.2	325.0	202.2	109.3	0.0	0.4	1115.5
1986	20.3	9.0	0.0	5.0	0.0	18.9	217.1	117.9	163.0	503.1	0.0	28.4	1082.7
1987	2.4	2.1	0.0	4.6	1.7	0.0	295.0	137.5	172.9	2.4	3.4	59.0	681.0
1988	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	46.1	297.0	350.3	217.2	2.1	0.0	61.1	974.4
1989	9.4	20.0	0.0	0.0	0.0	0.0	257.9	545.1	112.2	25.8	154.5	45.7	1170.6
1990	14.1	19.1	0.0	0.0	0.0	175.0	553.9	203.9	182.9	131.3	23.0	71.7	1374.9
1991	0.0	0.9	0.0	0.0	0.0	1.9	188.7	195.6	183.0	63.8	65.9	107.4	807.2
1992	221.2	22.0	1.0	0.6	0.0	2.6	386.7	157.2	74.7	0.0	13.5	8.8	888.3
1993	13.7	16.9	0.0	0.0	0.9	50.8	51.3	196.6	173.2	50.6	51.5	0.0	605.5
1994	0.0	0.0	15.4	0.0	0.0	40.3	230.8	406.9	177.8	45.3	67.2	18.5	1002.2
1995	0.5	0.9	0.0	0.0	0.0	1.5	183.0	197.3	215.0	0.0	0.0	0.0	598.2
1996	17.2	0.0	0.0	0.0	0.0	76.5	337.6	289.9	210.7	12.0	49.9	0.0	993.8
1997	30.1	5.3	2.0	84.7	2.8	92.8	183.3	151.5	178.4	7.8	69.6	43.8	852.1
1998	0.0	19.7	1.6	0.0	0.0	0.0	185.2	288.6	144.5	11.6	0.0	0.0	651.2
1999	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	127.9	291.5	112.1	129.2	0.0	0.0	1.2	661.9
2000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	79.7	360.7	226.5	113.7	195.1	71.5	0.0	1047.2
2001	2.8	3.5	32.7	0.0	0.7	57.5	233.8	309.0	158.3	42.0	1.3	21.1	862.7
2002	1.0	28.8	0	0	0.0	0.0	195.3	215.9	315.5	31.7	16.2	1.8	806.2
2003	0.2	14.0	0	0	0	26.6	162.8	172.0	357.0	37.8	3.8	0.0	774.2
2004	88.5	19.7	12.2	0	0	23.7	181.3	318.6	346.9	102.2	99.4	7.6	1200.1
2005	30.8	97.6	0	0	0	0	315.3	206.1	42.8	98.7	7.8	0	799.1
2006	1.4	0	0	0	0	72.7	238.5	340.7	318.9	73.3	0	5.2	1050.7
2007	18.1	0	0	0	0	8.8	141.5	329.7	189	16.2	30.2	13	746.5
2008	0	0	0	0	0	36.4	272.5	213.7	233.4	15	0.0	0.0	771.0
MEDIA	24.4	12.4	3.4	3.6	0.7	39.2	241.8	241.5	191.0	64.9	31.2	24.6	878.7
DS	43.8	20.8	8.1	15.3	2.5	48.7	94.4	101.9	72.9	96.2	40.0	34.2	203.3
MAXIMO	221.2	97.6	32.7	84.7	45.5	175.0	553.9	545.1	357.0	503.1	154.5	273.6	1374.9
MINIMO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	51.3	100.4	42.8	0.0	0.0	0.0	499.0
CV	1.8	1.7	2.4	4.2	3.5	1.2	0.4	0.4	0.4	1.5	1.3	1.4	0.2
SESGO	3.353	2.849	2.812	5.332	5.021	1.286	1.123	0.981	0.618	3.395	1.3634	1.742	0.361

Nota: DS= Desviación Estándar; CV= Coeficiente de Variación.

PRECIPITACION MENSUAL													
ESTACION VASCOGIL				latitud 25° 08' 45"				altitud 2377 msnm			longitud 106° 21' 45"		
ANO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1978	5.7	75.2	3.2	32.0	7.5	101.3	401.7	311.4	152.4	68.2	40.7	111.7	1311.0
1979	332.1	125.8	6.7	2.1	54.0	70.1	319.0	198.4	99.0	0.2	0.1	87.9	1295.4
1980	19.0	47.0	102.2	32.0	0.1	94.7	374.9	303.8	211.4	208.9	95.4	79.4	1568.8
1981	210.5	40.7	111.1	152.5	10.1	156.4	324.7	319.9	287.6	286.1	4.4	44.2	1948.2
1982	86.6	1.0	0.0	14.5	23.0	89.3	388.3	169.1	158.7	9.2	188.3	199.6	1327.6
1983	140.0	55.1	170.9	44.1	58.0	27.1	282.8	251.7	163.9	120.7	122.6	68.0	1504.9
1984	166.0	8.1	45.1	22.5	73.2	270.7	374.3	281.1	130.6	40.7	137.4	294.2	1843.9
1985	427.0	19.3	57.4	77.4	45.1	183.5	198.3	220.8	249.7	130.8	5.1	28.1	1642.5
1986	30.0	45.0	2.0	31.5	21.1	157.8	273.8	276.3	181.0	313.0	72.8	174.0	1578.3
1987	30.0	52.0	9.0	7.0	76.5	142.8	365.3	271.1	135.7	9.8	19.0	369.1	1487.3
1988	0.6	0.0	17.0	19.5	0.0	205.4	214.1	236.7	124.6	27.7	0.0	114.7	960.3
1989	33.0	120.0	16.0	1.5	8.0	65.6	236.2	279.6	351.4	41.6	227.4	240.5	1620.8
1990	132.0	60.1	20.4	7.0	0.7	187.6	286.8	299.7	228.4	129.7	13.0	190.0	1555.4
1991	1.6	70.0	0.0	0.0	0.0	43.1	439.7	250.9	265.3	45.7	125.2	488.4	1729.9
1992	335.8	75.0	69.0	33.5	49.4	73.0	284.9	259.7	209.9	90.5	31.2	112.6	1624.5
1993	86.2	21.7	0.0	14.0	12.6	167.3	291.5	171.2	320.7	24.7	107.6	4.0	1221.5
1994	11.5	51.9	28.0	24.2	23.3	144.1	292.9	249.8	129.9	57.8	103.2	150.0	1266.7
1995	19.3	39.0	1.0	0.0	1.1	184.8	275.6	227.0	219.4	8.2	7.4	60.3	1043.1
1996	14.0	5.0	2.0	9.2	0.0	321.8	272.5	234.5	252.5	7.7	131.0	9.2	1259.4
1997	131.2	8.3	81.3	327.0	86.7	140.7	307.3	192.5	131.5	29.0	125.0	153.0	1713.5
1998	0.0	58.6	3.5	0.0	0.0	144.1	292.9	249.8	171.4	56.9	7.0	2.5	986.7
1999	0.0	1.2	11.2	4.5	0.0	178.6	391.2	286.2	134.3	17.5	24.0	4.0	1052.7
2000	0.0	0.2	0.0	13.0	20.0	265.2	227.0	156.6	156.0	138.4	156.0	9.0	1141.4
2001	42.0	54.0	72.0	0.0	38.2	280.9	290.5	184.6	109.1	8.3	13.0	66.5	1159.1
2002	15.0	92.0	1.0	1.0	4.1	57.9	284.2	252.9	176.5	83.2	97.0	48.3	1113.1
2003	23.0	142.2	2.2	15.5	7.4	253.4	191.0	328.0	262.6	51.6	27.2	0.0	1304.1
2004	284.0	77.0	43.1	3.7	3.0	177.3	267.3	308.2	274.2	100.5	376.0	82.4	1996.7
2005	105.0	223.6	15.9	24.2	3.0	51.3	322.0	309.4	90.1	26.0	22.0	6.3	1198.8
2006	32.5	0.0	18.0	0.0	47.5	194.9	317.1	194.0	272.8	108.0	0.0	156.0	1340.8
2007	169.5	7.0	3.0	0.2	0.0	209.0	257.5	216.5	181.4	32.8	97.0	113.0	1286.9
2008	0.0	2.0	12.0	0.0	23.1	152.3	363.7	328.9	313.3	149.9	0.6	9.0	1354.8
MEDIA	93.0	50.9	29.8	29.5	22.5	154.6	303.5	252.3	198.2	78.2	76.7	112.1	1401.2
DS	116.4	50.8	41.2	62.8	26.1	75.8	61.1	50.1	71.2	78.5	84.4	114.9	277.0
MAXIMO	427.0	223.6	170.9	327.0	107.3	321.8	439.7	328.9	351.4	323.3	376.0	488.4	1996.7
MINIMO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	27.1	191.0	156.6	89.7	0.0	0.0	0.0	954.7
CV	1.3	1.0	1.4	2.1	1.2	0.5	0.2	0.2	0.4	1.0	1.1	1.0	0.2
SESGO	1.486	1.526	1.887	4.0197	1.0938	0.253	0.256	-0.242	0.428	1.616	1.684	1.615	0.425

Nota: DS= Desviación Estándar; CV= Coeficiente de Variación.

PRECIPITACION MENSUAL													
ESTACION BADIRAGUATO													
latitud 25° 20' 31" altitud 300 msnm longitud 107° 32' 35"													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1978	10.5	25.0	0.0	1.0	0.0	0.0	177.0	226.0	309.5	41.5	4.0	17.0	811.5
1979	124.0	38.5	0.0	1.0	59.0	21.5	234.0	170.5	70.5	0.0	0.0	2.0	721.0
1980	0.0	4.0	0.0	0.0	0.0	36.5	200.0	508.5	195.5	135.0	1.0	12.0	1092.5
1981	157.0	4.0	27.0	11.5	0.0	8.3	313.5	196.5	225.5	395.5	12.0	0.0	1350.8
1982	26.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	214.5	103.5	373.3	0.0	109.5	57.2	884.5
1983	40.2	38.0	56.0	13.5	4.8	37.2	304.2	200.6	313.0	43.8	63.5	17.0	1131.8
1984	61.7	0.0	0.0	0.0	6.5	337.5	689.2	228.7	52.5	111.7	34.0	99.9	1621.7
1985	70.0	0.4	7.5	7.5	0.0	43.1	313.0	257.7	190.6	193.5	1.0	0.0	1084.3
1986	4.5	12.1	0.0	20.0	0.0	82.0	259.5	264.2	137.5	368.3	0.0	12.5	1160.6
1987	1.5	8.5	0.0	0.0	4.7	3.0	369.3	269.0	242.5	1.0	6.5	32.0	938.0
1988	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	31.5	105.8	443.1	203.5	0.0	0.0	43.5	828.4
1989	33.0	37.0	8.2	0.0	22.5	3.0	236.5	302.4	125.3	8.0	87.0	28.0	890.9
1990	0.0	33.0	0.0	0.0	0.0	119.3	500.9	172.8	121.5	69.5	77.5	237.5	1332.0
1991	1.6	7.0	0.0	0.0	0.0	41.0	316.5	176.5	261.2	70.5	76.0	95.2	1045.5
1992	205.2	65.5	6.2	0.0	0.0	1.0	454.5	146.5	166.0	35.0	32.0	21.5	1133.4
1993	203.0	7.0	0.0	0.0	1.0	191.5	218.0	187.0	196.5	20.5	56.5	1.5	1082.5
1994	0.0	0.0	4.5	0.0	0.0	70.0	268.5	385.0	93.0	34.5	61.0	31.5	948.0
1995	0.0	13.5	0.0	0.0	0.0	0.0	213.5	238.5	120.5	0.0	0.0	2.5	588.5
1996	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	25.0	330.5	250.0	140.5	14.5	41.5	0.0	802.0
1997	47.0	0.0	5.5	59.0	11.5	98.9	251.7	104.0	153.0	26.5	84.0	66.5	907.6
1998	0.0	33.5	0.0	0.0	0.0	10.5	233.2	158.5	225.5	7.0	0.4	0.0	668.6
1999	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	137.0	278.5	194.5	132.0	29.5	0.0	0.0	771.5
2000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	215.5	193.5	119.5	130.0	178.5	68.0	3.5	908.5
2001	0.0	5.5	23.0	0.0	0.0	116.5	180.5	344.0	137.5	27.0	4.5	5.5	844.0
2002	3.5	14.0	0.0	0.0	0.0	0.0	268.0	180.5	196.5	31.0	10.5	8.0	712.0
2003	1.5	28.5	12.0	0.0	0.0	58.0	236.0	309.0	174.5	53.5	0.0	0.0	873.0
2004	109.0	13.0	8.1	0.0	0.0	59.0	265.0	254.5	176.9	66.9	29.9	27.1	1009.5
2005	29.2	14.6	18.0	0.0	0.0	0.5	238.0	299.5	172.5	35.0	9.0	0.0	816.3
2006	3.0	0.0	2.5	0.0	0.0	213.5	159.0	416.5	243.0	152.0	22.6	24.5	1236.6
2007	50.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.5	335.4	297.0	241.6	19.0	40.0	41.0	1035.5
2008	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	39.0	350.5	250.5	233.5	26.0	5.5	27.1	932.1
MEDIA	38.1	13.0	5.8	3.7	3.5	64.9	280.9	246.9	185.6	70.8	30.2	29.5	973.0
DS	60.0	16.5	11.7	11.3	11.3	81.1	111.5	97.5	71.7	98.2	33.2	46.9	220.9
MAXIMO	205.2	127.5	168.5	59.0	59.0	337.5	689.2	508.5	373.3	395.5	109.5	237.5	1621.7
MINIMO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	105.8	103.5	52.5	0.0	0.0	0.0	588.5
CV	1.6	1.3	2.0	3.1	3.2	1.2	0.4	0.4	0.4	1.4	1.1	1.6	0.2
SESGO	1.806	1.470	3.106	4.288	4.388	1.797	1.889	0.878	0.547	2.305	0.829	3.243	0.8698

Nota: DS= Desviación Estándar; CV= Coeficiente de Variación.

Anexo D2 Registros mensuales de temperatura de las estaciones meteorológicas

TEMPERATURA MENSUAL												
ESTACION EL VAREJONAL												
	latitud 25° 05' 40"						altitud 119 msnm			longitud 107° 23' 35"		
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1978	22.5	22.4	24.0	26.3	28.1	32.0	30.8	29.9	30.6	27.5	24.8	21.6
1979	20.7	21.1	23.0	24.6	20.8	31.0	31.1	30.4	29.5	29.3	23.4	23.2
1980	22.0	24.7	24.2	24.6	27.4	32.7	32.3	29.6	29.3	27.1	23.1	22.8
1981	21.1	22.5	22.2	24.6	28.1	28.7	29.1	29.9	28.8	26.5	24.7	21.9
1982	22.3	21.7	24.7	28.2	28.1	31.8	31.1	30.4	30.9	28.1	24.2	20.6
1983	20.3	20.4	21.3	23.6	27.9	32.0	30.8	29.1	29.2	28.4	23.4	22.3
1984	20.8	21.2	23.3	24.8	28.9	30.3	29.3	29.1	29.4	27.2	23.9	22.8
1985	19.8	21.8	24.6	25.8	28.6	30.7	29.6	29.4	28.8	27.6	24.8	23.0
1986	22.9	23.0	24.5	28.1	28.6	30.6	29.7	29.9	29.8	26.5	24.4	21.5
1987	19.7	20.8	22.0	25.3	27.2	31.8	32.6	29.6	30.6	29.3	25.2	27.3
1988	21.0	23.3	23.4	25.3	28.2	31.1	30.0	29.9	29.5	28.7	24.4	25.5
1989	20.3	23.2	23.6	26.6	28.4	30.4	31.0	29.2	29.6	29.1	24.6	21.2
1990	21.4	20.9	23.9	27.0	29.4	32.0	29.2	30.1	29.6	28.8	26.9	22.8
1991	21.4	22.6	23.0	26.2	27.4	31.0	29.6	30.0	28.9	28.1	24.6	22.1
1992	20.8	20.8	23.2	25.6	28.7	32.1	21.8	30.3	31.0	27.9	25.2	24.5
1993	22.3	23.0	24.4	26.3	27.0	34.0	31.1	31.1	31.0	30.4	25.8	24.3
1994	23.9	24.6	26.0	28.6	30.8	28.8	32.7	31.0	31.9	30.0	24.1	21.3
1995	19.8	22.1	22.9	23.8	28.0	30.5	30.4	28.7	28.9	27.6	25.6	20.7
1996	22.0	21.4	22.2	25.5	28.0	31.4	29.3	28.4	28.3	27.4	23.6	21.1
1997	18.3	20.0	23.5	22.6	24.8	27.2	28.9	29.3	29.3	27.5	23.7	18.8
1998	20.0	18.6	21.2	23.5	27.8	31.8	29.9	29.0	29.1	29.0	24.7	21.4
1999	20.2	22.0	22.0	24.8	27.0	30.2	28.9	28.7	29.3	28.1	25.2	19.8
2000	20.4	21.8	22.3	25.8	28.8	31.0	29.3	29.0	29.8	27.3	21.5	21.1
2001	20.2	22.1	21.7	26.1	29.8	31.3	30.0	29.5	29.4	27.5	25.1	21.3
2002	20.8	22.2	23.4	27.2	30.4	31.8	31.7	30.5	29.4	28.3	25.4	20.6
2003	22.9	22.0	22.7	26.1	29.2	31.0	29.9	28.3	28.2	27.1	25.2	20.3
2004	19.2	19.7	23.5	SD	28.5	30.7	29.7	28.5	27.6	26.7	21.7	20.8
2005	20.8	21.0	21.7	25.1	SD	SD	30.6	29.0	34.2	27.1	24.3	21.6
2006	21.4	23.2	23.4	25.6	29.6	31.5	29.5	28.9	28.4	27.1	24.3	20.5
2007	18.9	21.1	23.3	25.6	27.5	30.8	29.7	28.8	28.3	26.5	23.5	19.9
2008	20.2	21.1	22.1	25.5	28.0	30.6	29.5	28.5	28.0	28.0	24.4	21.5
MEDIA.	20.9	21.8	23.1	25.6	28.0	31.0	30.0	29.5	29.6	27.9	24.4	21.9

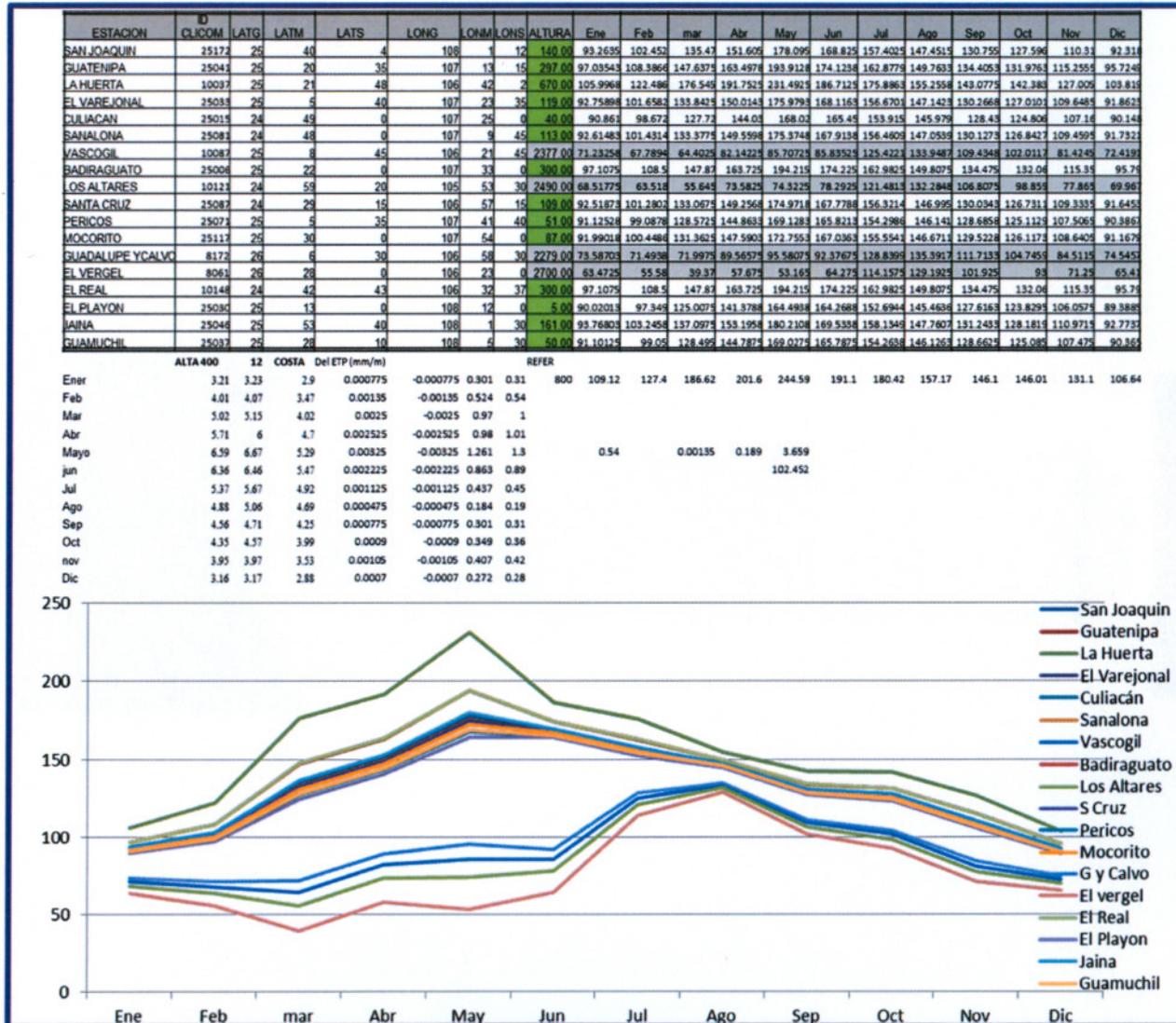
TEMPERATURA MENSUAL												
ESTACION LA HUERTA												
latitud 25° 21' 48"												
altitud 670 msnm												
longitud 106° 42' 02"												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1978	20.7	19.9	24.7	26.4	29.1	30.1	27.6	27.6	25.9	24.2	23.1	22.3
1979	17.8	18.9	22.1	25.7	27.8	30.1	28.9	27.1	28.7	29.2	22.9	21.0
1980	19.7	22.1	23.7	26.1	29.1	31.9	28.4	27.2	26.6	24.8	21.2	19.9
1981	17.0	19.7	20.1	24.7	27.4	28.9	27.2	28.1	26.0	23.8	22.6	20.1
1982	19.6	21.4	24.8	28.1	28.1	31.2	26.8	27.8	28.1	26.1	22.1	17.2
1983	16.9	17.1	19.3	22.5	28.1	30.0	27.9	26.8	27.7	26.9	20.1	18.2
1984	18.1	19.3	22.9	25.6	28.4	27.1	25.3	26.0	26.6	23.8	21.8	18.9
1985	15.9	18.5	22.4	24.2	29.2	29.0	26.4	27.1	25.4	24.7	21.0	19.7
1986	19.1	20.9	23.1	27.1	28.5	28.0	26.3	26.7	26.3	23.4	21.9	17.7
1987	16.8	18.2	20.7	25.0	27.0	29.9	28.5	26.5	27.8	28.0	22.9	19.3
1988	18.2	21.5	22.5	25.4	28.9	29.6	26.0	26.6	26.9	26.4	23.7	20.1
1989	18.6	21.0	23.4	27.7	28.1	30.6	29.0	26.3	26.8	26.9	21.9	17.9
1990	18.5	18.4	22.7	25.8	29.4	30.2	26.8	27.2	26.5	26.2	24.6	20.1
1991	18.6	21.5	22.5	26.3	28.3	31.4	26.8	29.5	25.8	24.4	20.8	17.5
1992	16.3	16.9	20.3	24.4	28.0	31.1	27.5	26.9	28.3	27.6	21.5	19.5
1993	19.4	19.6	23.2	26.1	29.1	30.4	27.1	27.2	26.1	25.4	22.2	20.6
1994	20.2	22.1	23.7	26.5	27.1	28.8	27.8	26.6	27.1	26.3	24.3	19.9
1995	18.7	22.6	24.5	26.6	29.1	30.5	27.8	28.6	27.1	28.3	25.7	20.9
1996	19.8	23.7	24.4	24.1	29.1	31.2	28.6	28.2	26.3	26.0	24.0	18.2
1997	17.7	24.1	24.8	22.1	27.4	29.4	27.8	27.9	27.8	27.4	23.1	16.6
1998	19.9	18.9	23.3	25.0	30.9	32.2	29.3	28.9	29.7	27.6	26.2	23.1
1999	22.2	24.9	25.1	27.4	29.6	29.3	26.0	26.2	27.2	26.3	23.1	21.4
2000	22.6	24.8	25.1	29.4	30.3	28.4	27.2	28.8	29.0	25.8	19.8	20.2
2001	19.7	22.1	21.6	28.2	31.4	29.1	27.6	28.5	28.2	26.3	23.1	19.7
2002	20.9	21.8	25.1	28.3	31.3	31.7	29.0	27.7	28.5	27.0	26.0	18.7
2003	21.3	20.0	23.0	27.7	31.1	30.5	28.0	28.0	27.5	26.6	24.6	21.0
2004	19.2	18.8	23.7	25.0	30.7	29.7	26.8	26.3	25.6	24.5	19.4	17.5
2005	19.0	18.2	19.8	27.0	30.1	30.7	29.3	26.8	28.7	28.2	25.0	21.2
2006	22.3	25.4	26.0	SD	30.4	30.3	28.6	28.0	27.1	26.6	25.0	19.5
2007	17.5	19.8	25.0	26.6	29.8	30.0	28.4	28.5	28.4	28.6	25.8	20.6
2008	19.4	23.3	25.0	29.2	30.4	31.6	27.5	27.5	26.7	26.8	25.7	22.7
MEDIA.	19.1	20.8	23.2	26.1	29.1	30.1	27.6	27.5	27.2	26.3	23.1	19.7

TEMPERATURA MENSUAL												
ESTACION GUATENIPA												
	latitud 25° 20' 35"						altitud 297 msnm			longitud 107° 13' 15"		
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1978	21.9	21.4	20.4	27.6	29.8	33.0	29.8	28.7	27.4	21.1	23.3	21.2
1979	18.9	20.8	24.0	26.6	28.2	29.1	31.3	29.6	29.1	29.1	23.9	23.0
1980	21.8	24.0	25.5	27.7	30.1	33.3	30.6	28.8	28.2	25.6	22.4	21.7
1981	19.1	22.5	22.4	27.2	29.6	29.1	29.1	29.3	28.7	25.8	24.4	22.1
1982	21.0	22.7	25.8	29.4	29.4	32.7	29.7	29.4	29.7	27.3	23.1	18.3
1983	19.2	19.3	21.4	24.3	30.0	32.0	30.2	28.6	29.1	28.0	22.1	20.8
1984	20.3	21.3	24.7	26.7	29.7	29.2	28.0	27.8	28.3	25.4	23.0	20.5
1985	17.8	20.5	24.6	26.7	30.2	30.8	28.5	28.7	27.5	26.1	22.9	21.3
1986	22.3	20.5	24.2	28.7	29.3	30.4	28.1	28.2	28.3	25.7	22.8	19.9
1987	18.9	20.5	22.8	26.1	28.7	33.3	31.9	28.4	29.1	27.8	24.2	21.3
1988	20.6	23.5	24.4	26.9	29.8	31.8	28.3	28.6	27.9	26.7	24.0	21.2
1989	19.9	22.7	24.4	29.3	30.1	31.4	30.0	27.8	27.5	26.9	21.8	18.9
1990	19.5	20.4	24.0	27.9	30.1	30.7	27.8	28.1	27.4	26.5	23.7	20.8
1991	19.8	22.0	23.5	27.2	29.1	31.6	28.2	28.2	27.3	26.0	23.0	20.0
1992	18.6	19.7	22.3	26.3	28.8	32.1	28.2	28.1	28.3	27.2	26.9	19.5
1993	18.9	21.9	23.8	26.7	28.4	31.5	28.3	27.9	27.0	25.9	22.9	21.4
1994	21.1	22.6	24.1	26.8	29.2	30.5	28.6	27.1	27.9	27.1	24.1	21.2
1995	20.6	23.5	24.0	25.6	28.7	31.6	29.2	27.8	27.6	26.8	24.2	20.4
1996	21.0	23.6	23.6	26.5	29.8	31.2	28.3	27.6	27.1	26.5	24.1	20.3
1997	18.1	20.8	24.9	23.0	29.4	30.9	28.2	28.1	28.4	26.5	22.9	17.9
1998	19.6	18.9	22.8	25.6	29.7	32.6	29.0	28.7	28.8	28.7	25.1	22.5
1999	22.0	24.4	24.5	26.8	29.5	30.8	28.0	28.3	28.6	27.3	25.2	20.6
2000	22.8	23.9	24.4	27.5	30.0	29.5	28.4	27.5	28.7	26.8	21.6	22.1
2001	20.9	23.4	23.0	27.8	30.8	30.5	28.3	28.5	28.6	27.2	25.0	22.2
2002	21.8	23.7	25.3	28.7	31.3	32.4	30.5	29.4	28.8	27.8	24.8	21.3
2003	24.2	22.1	24.4	28.3	31.3	32.3	28.7	28.3	28.0	27.5	25.7	22.3
2004	20.3	20.7	25.9	27.4	31.1	30.6	28.7	28.2	27.8	26.7	21.7	20.7
2005	21.1	22.1	21.7	27.3	29.0	31.0	29.9	28.6	29.7	27.9	25.8	22.7
2006	23.0	25.4	25.5	28.7	30.4	31.8	29.0	28.3	28.1	27.3	24.8	20.6
2007	18.5	21.9	25.5	26.9	29.7	30.8	28.7	28.3	27.9	27.3	24.6	21.1
2008	20.8	23.5	24.4	29.5	30.1	32.0	29.4	28.6	28.4	29.5	26.2	24.1
MEDIA.	20.5	22.1	23.9	27.2	29.7	31.3	29.1	28.4	28.2	26.8	23.9	21.0

TEMPERATURA MENSUAL												
ESTACION SANALONA												
	latitud 24° 48' 00"				altitud 113 msnm				longitud 107° 09' 45"			
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1978	19.7	19.2	22.4	24.1	26.5	30.9	30.4	29.2	27.9	26.5	23.2	20.3
1979	18.4	19.4	21.8	23.6	25.7	30.4	31.2	29.6	29.1	28.2	21.1	20.9
1980	18.9	21.8	22.6	23.9	26.8	31.8	30.8	28.2	28.4	26.0	21.8	20.8
1981	19.0	20.7	20.8	24.4	26.6	28.0	29.0	29.5	28.8	26.3	23.9	20.9
1982	18.7	20.3	22.5	25.3	26.1	30.7	30.6	29.8	29.4	26.9	22.6	18.4
1983	18.8	18.4	20.0	21.9	26.3	30.7	30.6	28.8	28.9	28.0	22.0	19.8
1984	19.2	19.3	21.8	24.0	27.6	29.3	28.1	28.8	29.1	26.0	22.6	21.2
1985	18.0	19.4	22.9	24.9	27.6	29.8	28.0	29.5	28.5	26.9	22.6	20.2
1986	19.1	20.5	21.7	25.7	26.9	29.4	29.6	29.7	29.1	25.9	22.9	19.4
1987	17.2	18.9	20.2	23.4	26.0	30.5	15.8	29.4	29.6	28.1	22.8	20.0
1988	18.8	21.2	21.4	23.6	26.3	29.8	29.0	29.4	28.8	27.5	23.0	20.2
1989	18.7	21.4	21.8	25.5	26.9	29.5	30.2	28.6	28.6	27.5	23.0	19.2
1990	19.9	18.9	22.0	24.8	27.8	31.2	28.7	29.3	28.6	27.6	24.7	20.9
1991	19.6	21.0	21.5	24.4	26.4	29.9	28.8	29.3	28.6	27.1	22.5	18.0
1992	19.2	19.0	21.5	24.6	27.5	30.2	29.6	29.1	29.4	28.3	22.6	21.3
1993	21.0	20.5	21.9	24.2	26.6	30.5	29.2	29.6	28.5	27.0	23.4	21.4
1994	19.7	20.3	22.3	24.4	27.3	30.4	30.0	28.9	29.2	27.3	24.5	21.0
1995	18.6	22.4	22.1	22.5	25.9	30.0	30.4	29.0	28.8	27.0	24.7	19.2
1996	18.9	21.1	21.1	24.1	27.6	31.0	29.6	28.8	28.2	27.1	22.9	19.9
1997	17.2	19.0	14.5	22.5	27.4	30.6	29.7	29.4	29.4	27.3	23.0	18.1
1998	18.8	18.1	20.3	22.9	26.6	31.3	30.0	29.0	29.1	29.5	23.9	19.8
1999	22.9	20.2	20.7	23.4	26.4	29.5	29.2	29.1	29.6	28.2	24.1	18.6
2000	19.7	20.8	21.3	24.4	27.0	30.5	29.8	28.8	29.7	26.8	21.1	19.8
2001	18.8	20.9	19.9	24.0	27.6	30.1	29.4	29.2	29.0	26.1	23.9	19.8
2002	19.1	21.1	21.9	25.5	28.1	30.1	30.5	33.0	28.6	27.5	23.5	18.9
2003	21.5	20.8	21.1	24.3	26.8	30.0	30.4	29.3	28.4	27.4	24.0	19.3
2004	18.4	18.4	31.1	24.2	27.1	30.3	29.7	29.2	28.1	26.4	20.7	19.3
2005	20.2	19.8	21.3	24.0	25.4	28.3	29.5	29.0	30.0	26.9	22.7	19.4
2006	19.3	21.1	21.3	24.6	26.8	30.7	29.5	28.8	27.8	26.9	22.8	18.4
2007	18.1	19.4	21.7	23.7	25.6	29.9	29.5	28.6	28.0	26.3	22.9	19.2
2008	18.1	19.3	19.9	23.6	25.8	29.3	29.0	28.1	27.9	27.6	23.2	20.4
MEDIA.	19.1	20.1	21.5	24.1	26.8	30.1	29.2	29.2	28.8	27.2	23.0	19.8



Anexo D3 Registros mensuales de evaporación de las estaciones meteorológicas



Anexo D4 Registros de gastos medios diarios de las estaciones hidrométricas (ejemplo).

Gastos medios diarios (m³/s), registrados en la estación hidrométrica Guatenipa, aguas arriba de la presa Adolfo López Mateos, años 1978 y 2004 (como ejemplos).

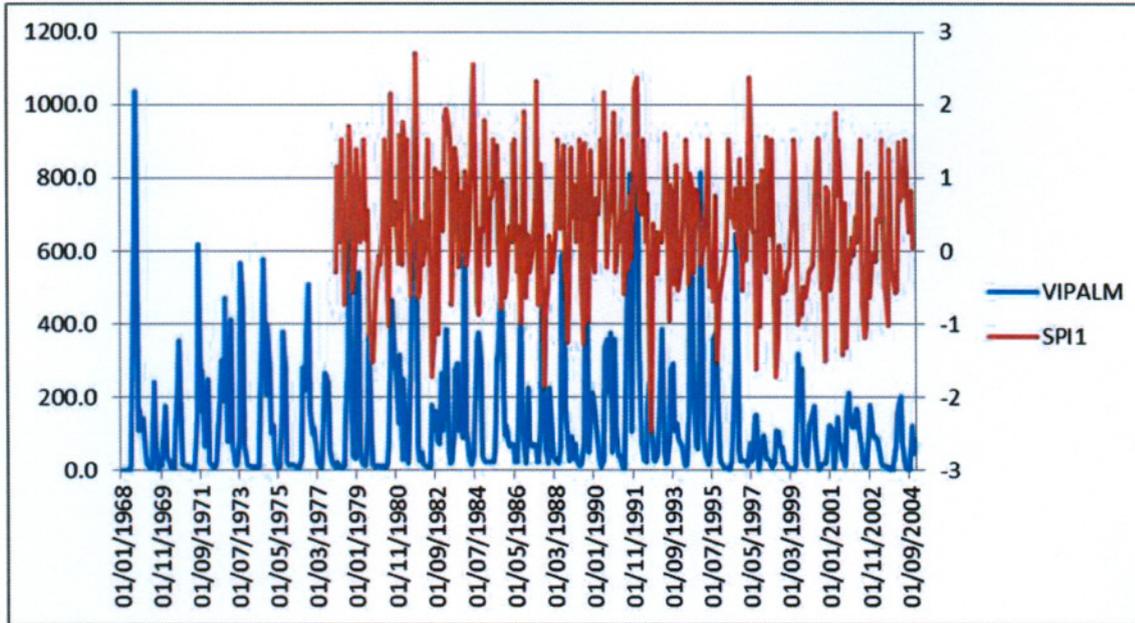
Estación Hidrométrica GUATENIPA

Año	Día/Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1978	1	4.431	3.573	5.06	2.81	2.07	1.59	55	67.1	179.9	248.6	28.284	10.376
	2	4.369	3.563	4.809	2.81	1.97	1.42	36.94	71.5	152.2	187.39	26.288	9.513
	3	4.325	3.579	4.752	2.78	1.8	1.41	39.6	61.8	183.8	162.76	24.439	9.073
	4	4.297	3.58	4.482	2.43	1.79	1.41	53.5	130	122.6	166.89	23.328	8.646
	5	4.179	3.58	4.443	2.4	1.79	1.41	45.25	125	117.5	117.43	22.764	8.328
	6	4.17	3.579	4.18	2.4	1.79	1.41	37.6	105	173.9	97.323	21.353	8.344
	7	4.145	3.575	4.163	2.38	1.79	1.41	32.8	86.8	318.8	98.769	18.212	8.389
	8	4.118	3.57	4.135	2.38	1.79	1.45	29.58	86.8	253.9	83.437	16.48	8.25
	9	4.091	3.564	4.134	2.37	1.79	2.32	32.57	98.2	175	73.266	15.796	8.026
	10	4.05	3.58	4.126	2.37	1.79	2.85	41.14	123	190.4	66.812	14.753	7.799
	11	3.773	9.465	4.125	2.39	1.79	2.74	51.03	158	423.3	54.186	14.304	7.554
	12	3.746	30.52	4.114	2.58	1.79	2.75	44.18	152	711.1	50.536	13.884	7.341
	13	3.722	29.18	3.939	3.01	1.79	2.86	31.75	192	547.4	45.386	13.521	7.236
	14	3.65	24.1	3.874	3.06	1.78	2.75	27.85	202	315.5	41.009	12.912	7.012
	15	3.645	18.27	3.779	3.05	1.61	2.74	118.2	224	191.4	37.644	11.775	6.901
	16	3.483	14.12	3.738	3.03	1.6	2.73	67.08	135	225.7	36.692	11.519	6.827
	17	3.191	12.44	3.55	3.02	1.6	2.56	33.06	103	195	36.751	11.276	6.755
	18	3.639	9.762	3.536	3.02	1.6	2.54	24.38	70.9	295.5	34.813	11.139	6.512
	19	3.694	7.647	3.52	2.97	1.6	2.37	22.53	60.6	493.3	32.366	10.852	6.184
	20	3.655	7.447	3.282	2.85	1.6	2.35	22.8	47.8	297.9	26.972	10.599	6.488
	21	3.637	6.519	3.22	2.74	1.61	2.13	33.56	47.8	163	24.936	10.452	6.444
	22	3.62	6.607	3.124	2.67	1.78	1.93	30.63	40.5	121.7	24.065	10.152	6.432
	23	3.603	6.344	2.863	2.61	1.79	1.74	51.41	54.6	107.8	22.788	9.639	6.448
	24	3.584	6.249	2.849	2.46	1.79	1.61	35.98	40.2	97.94	26.815	9.373	6.456
	25	3.577	5.855	2.854	2.22	1.79	1.6	61.01	55.9	118.4	50.594	9.263	6.457
	26	3.594	5.8	2.859	2.19	1.79	1.62	77.82	47.5	353.2	105.07	9.127	6.421
	27	3.589	5.416	2.858	2.15	1.78	4.52	97.55	94.4	605.2	74.356	8.986	6.285
	28	3.588	5.403	2.842	2.13	1.61	14.8	81.85	131	512.1	63.562	9.196	6.061
	29	3.587		2.828	2.13	1.6	30.6	209.3	303	415.5	52.351	10.678	6.017
	30	3.586		2.812	2.13	1.6	46.3	140	243	295.9	32.44	10.769	6.06
	31	3.585		2.809		1.6		84.97	131		30.416		148.46

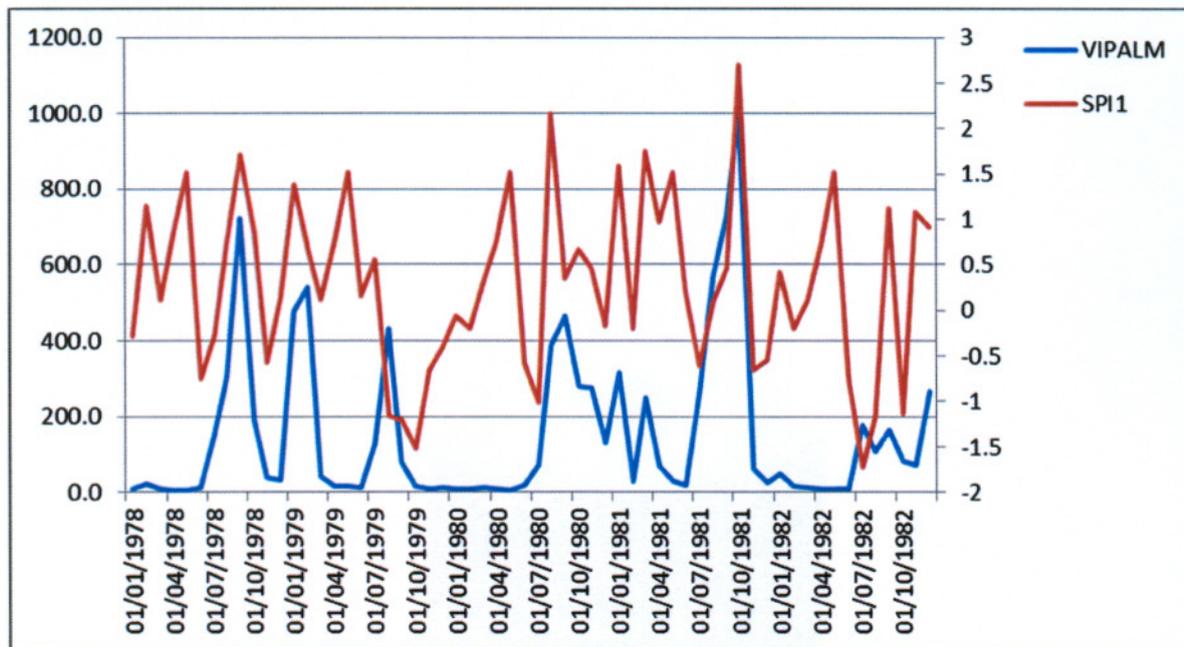
Estación Hidrométrica GUATENIPA

Año	Día/Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2004	1	40.7	25.8	70.1	73.4	67.0	12.4	2.9	0.0	4.2	4.7	33.7	29.1
	2	24.4	39.8	71.8	83.9	53.6	13.8	4.9	0.0	22.7	7.9	26.0	29.5
	3	0.0	60.7	71.5	83.1	10.6	7.3	5.7	0.0	0.0	8.7	28.4	28.8
	4	40.5	52.1	71.5	79.0	49.6	2.1	4.0	0.0	0.0	8.4	27.2	27.6
	5	39.8	50.8	67.0	66.2	40.8	13.6	4.0	0.0	0.0	18.3	25.9	27.5
	6	34.5	51.8	76.1	76.4	42.6	14.3	4.3	0.0	0.0	21.7	22.7	27.5
	7	36.3	58.3	76.6	101.1	38.0	12.1	0.0	0.0	0.0	34.1	25.8	26.5
	8	37.1	65.9	66.9	84.1	30.1	10.0	0.0	0.0	0.0	81.0	24.4	23.7
	9	38.1	31.2	0.0	79.7	35.2	6.8	0.0	0.0	0.0	56.3	24.6	25.3
	10	40.3	41.7	75.3	79.1	31.8	9.4	4.1	0.0	1.2	59.6	20.3	25.8
	11	48.6	53.2	75.8	78.9	26.7	10.3	0.0	0.0	0.2	57.2	15.0	21.6
	12	47.1	56.8	69.2	78.9	42.9	10.2	0.0	0.0	0.0	43.7	17.6	21.8
	13	62.9	77.7	69.4	78.2	33.1	8.2	3.1	0.0	0.0	50.0	18.5	20.6
	14	62.9	33.8	69.8	77.4	24.7	10.4	2.9	0.0	0.0	60.3	26.4	20.3
	15	41.7	66.7	63.5	82.3	25.3	10.3	3.4	0.0	0.0	70.3	16.1	29.8
	16	12.4	66.1	75.0	67.2	24.9	24.4	0.0	0.0	0.0	62.4	11.1	51.5
	17	0.0	83.9	71.7	86.2	26.0	11.0	0.0	0.0	0.0	73.3	16.0	26.4
	18	0.0	60.9	65.0	83.9	24.8	8.4	0.0	0.0	0.0	59.8	13.1	28.8
	19	0.6	102.6	79.1	83.2	24.5	7.0	0.0	0.0	6.3	79.2	0.0	19.4
	20	8.6	61.5	70.9	69.3	26.7	9.1	0.0	0.0	0.0	74.1	0.0	38.3
	21	29.4	63.5	72.4	79.8	20.7	7.6	17.3	0.0	0.0	68.3	9.2	23.2
	22	27.3	75.4	68.6	81.1	24.1	5.7	0.0	0.0	0.0	69.5	8.6	37.4
	23	15.8	82.5	73.3	81.6	21.6	5.8	0.0	0.0	1.6	68.9	15.4	37.3
	24	11.5	76.3	73.5	76.6	17.3	5.9	6.8	0.0	0.4	65.7	21.8	39.3
	25	18.8	75.3	72.5	91.5	16.3	4.8	0.0	0.0	13.0	60.3	24.5	38.1
	26	5.6	68.3	84.9	50.6	9.2	4.6	0.0	0.0	0.0	54.6	7.8	37.4
	27	9.5	68.7	83.7	66.2	14.7	5.6	0.0	0.0	0.0	0.0	12.4	40.2
	28	8.7	66.0	61.8	63.0	8.5	5.1	0.0	0.0	0.0	22.1	13.2	36.7
	29	15.0	69.6	78.1	74.2	36.1	4.5	8.0	0.0	0.0	29.1	12.3	51.3
	30	15.2		66.9	78.1	21.0	4.2	4.6	0.0	11.5	27.3	24.2	30.8
	31	21.2		90.4		20.7		0.0	0.0		22.9		32.2

Anexo D5 Registros de volúmenes de escurrimiento mensuales (ejemplo)

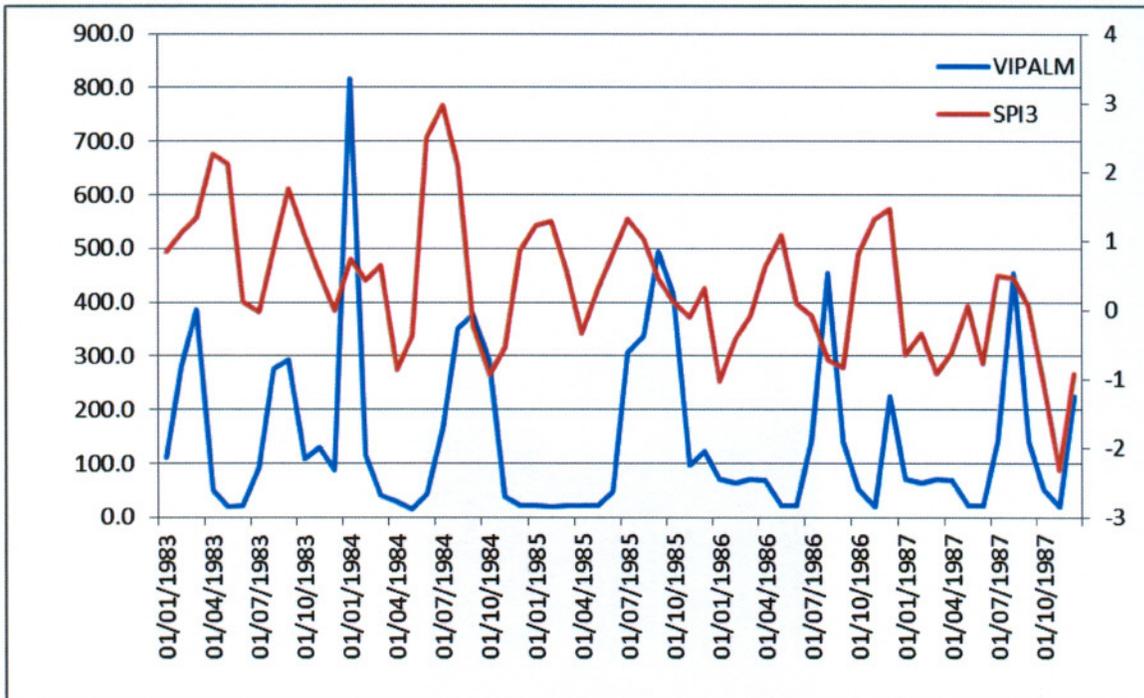
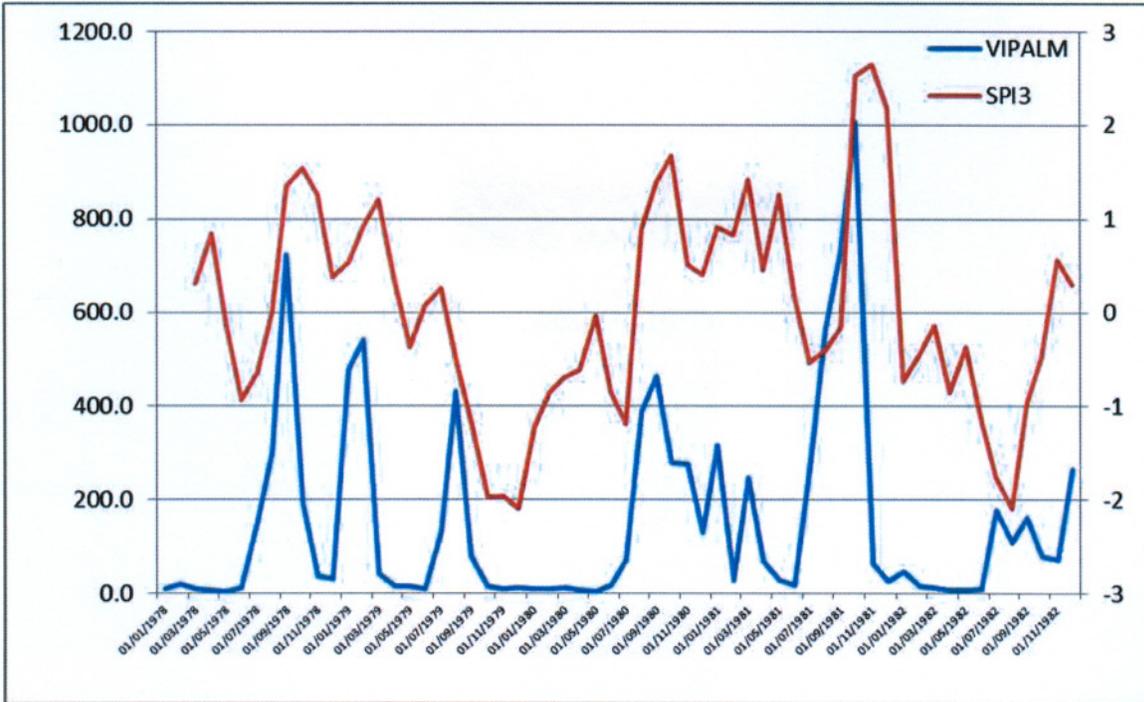


Volúmenes de ingreso a la presa Adolfo López Mateos (hm³/mes) vs SPI1, período 1968-2004

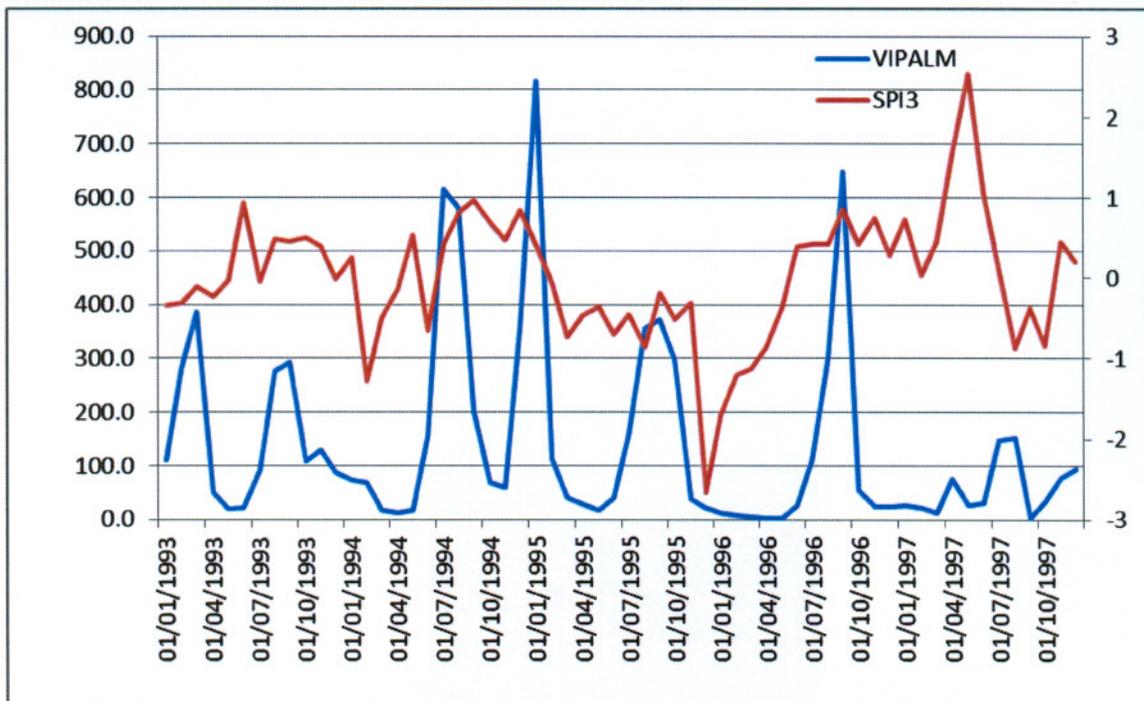
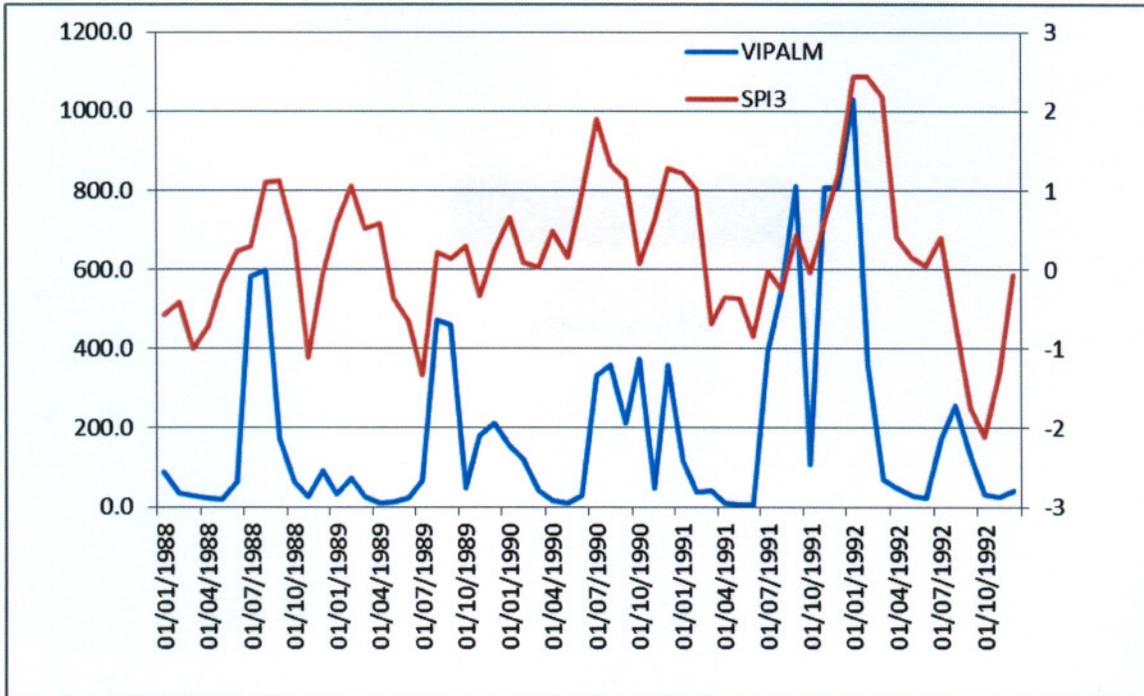


Volúmenes de ingreso a la presa Adolfo López Mateos (hm³/mes) vs SPI1, período 1978-1982.

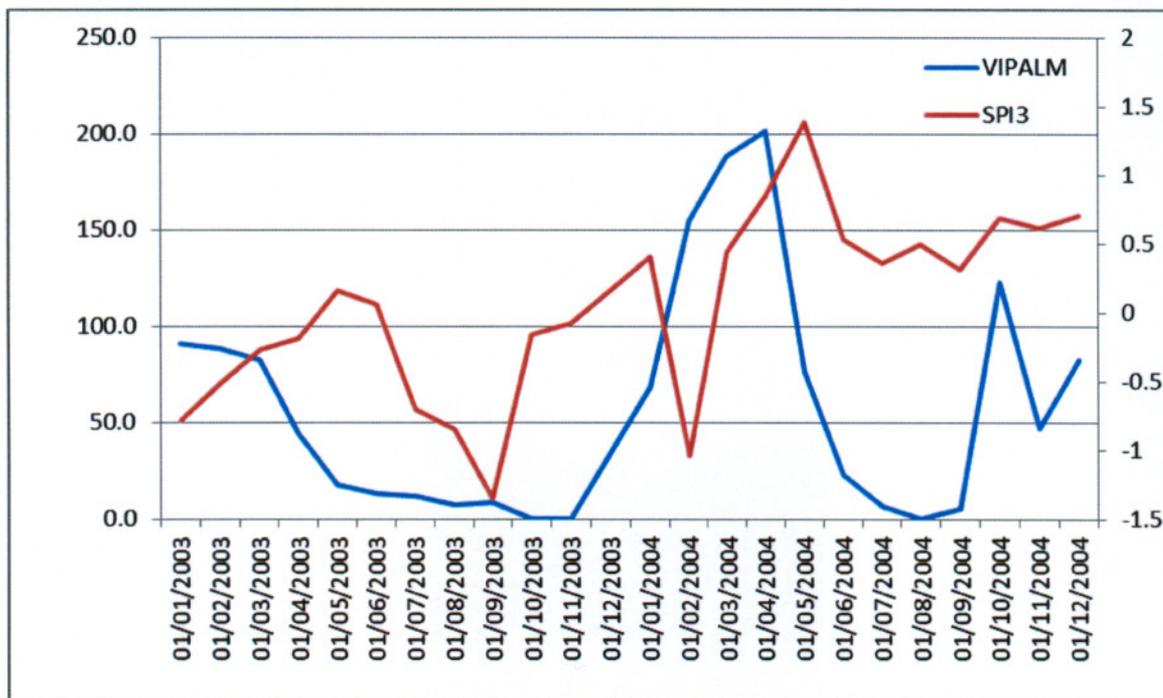
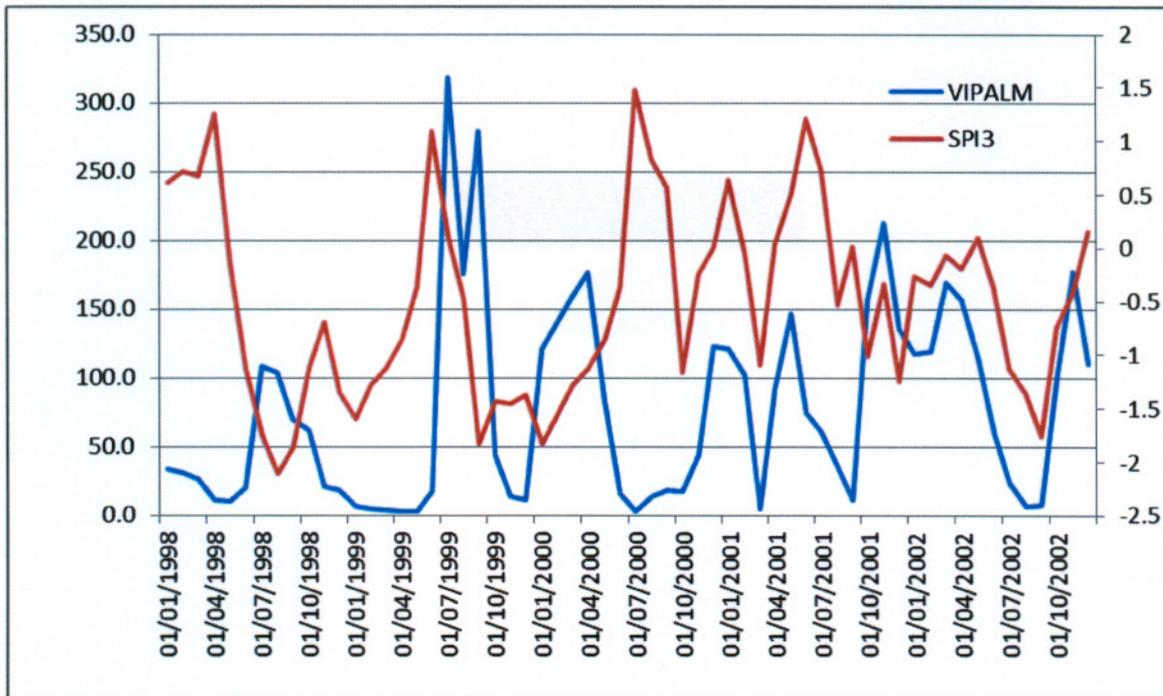
En las figuras anteriores, en lo general se muestra una rápida respuesta del escurrimiento en la cuenca del río Culiacán y su aportación en volúmenes de ingreso a la presa Adolfo López Mateos, y un desfase de la sequía mediante el índice SPI1, cuando los escurrimientos son escasos, lo cual ocurre durante los años secos.



En las figuras anteriores, se muestra un desfase de los índices de sequía con respecto a los volúmenes de escurrimiento del río Humaya y volúmenes de ingreso al vaso de la presa ALM.



En las figuras anteriores, se muestra un desfase de los índices de sequía con respecto a los volúmenes de escurrimiento del río Humaya y volúmenes de ingreso al vaso de la presa ALM.



En las figuras anteriores, se muestra un desfase de los índices de sequía con respecto a los volúmenes de escurrimiento del río Humaya y volúmenes de ingreso al vaso de la presa ALM.

Anexo D6 Registros de volúmenes mensuales de ingreso a las presas Sanalona y El Varejonal

Aportaciones mensuales a la presa Adolfo López Mateos (hm ³)														
No.	AÑO AGRÍCOLA	M E S E S										TOTAL		
		OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL		AGO	SEP
1	1941-1942	162.59	26.02	385.47	36.15	167.30	39.52	12.52	7.01	5.82	122.09	607.58	510.27	2,082.34
2	1942-1943	414.80	69.51	22.06	24.27	12.99	7.23	4.55	3.98	166.13	309.27	376.89	1,204.73	2,616.41
3	1943-1944	415.14	43.41	1,003.13	162.64	183.63	218.64	38.78	20.11	19.50	92.61	261.21	353.40	2,812.20
4	1944-1945	44.25	293.11	81.44	93.99	25.54	14.40	8.97	5.56	3.53	316.11	380.85	162.13	1,429.88
5	1945-1946	337.32	33.58	20.89	23.30	12.14	7.90	5.13	3.01	60.89	230.46	319.89	226.47	1,280.98
6	1946-1947	106.01	18.92	57.18	417.49	33.45	20.01	7.79	4.75	20.57	154.44	657.40	537.66	2,035.67
7	1947-1948	40.93	26.84	248.63	32.01	19.25	8.85	4.29	4.33	106.97	521.36	559.29	371.28	1,944.03
8	1948-1949	158.27	38.05	119.73	868.05	198.29	49.27	19.70	9.68	19.57	270.51	332.69	421.31	2,505.12
9	1949-1950	111.20	23.82	88.46	750.88	41.01	18.03	8.65	5.59	64.14	384.40	241.49	245.19	1,982.86
10	1950-1951	79.53	15.78	10.31	14.80	7.54	7.35	5.91	3.73	4.29	148.74	269.07	92.57	659.62
11	1951-1952	19.18	8.93	84.65	10.51	4.72	10.06	3.70	3.16	20.43	300.11	339.99	88.44	893.88
12	1952-1953	20.40	8.99	27.21	20.21	7.88	7.81	4.02	1.97	5.63	131.97	238.36	534.81	1,009.26
13	1953-1954	44.53	19.23	18.88	176.25	19.62	9.45	4.84	2.86	13.39	22.08	435.68	122.13	888.94
14	1954-1955	99.87	17.06	10.71	599.17	33.63	15.42	7.69	4.42	5.52	159.33	770.34	370.20	2,093.36
15	1955-1956	171.18	24.42	15.33	15.04	10.46	5.99	3.78	5.96	26.66	263.89	183.12	159.93	885.76
16	1956-1957	17.48	9.04	9.11	20.65	17.46	75.12	11.26	4.17	5.27	51.36	202.12	84.77	507.81
17	1957-1958	45.16	14.28	93.45	50.31	36.41	204.17	14.20	7.16	155.52	164.53	523.38	1,403.06	2,711.63
18	1958-1959	523.48	95.70	92.66	45.29	54.41	18.27	9.61	4.50	11.68	200.42	745.80	186.09	1,987.91
19	1959-1960	67.88	28.38	20.51	976.61	48.05	20.10	9.48	5.45	4.62	157.60	428.40	258.78	2,025.86
20	1960-1961	48.12	21.16	46.95	523.24	67.44	19.48	12.01	5.44	30.19	660.17	510.73	592.70	2,537.63
21	1961-1962	254.64	134.89	133.95	36.83	23.53	16.58	8.38	5.33	4.89	148.98	152.42	279.76	1,200.18
22	1962-1963	569.73	37.59	22.51	15.86	3.17	17.10	4.59	0.19	0.02	489.47	764.87	358.90	2,284.00
23	1963-1964	98.87	31.61	650.70	39.15	21.60	20.71	16.15	13.92	92.01	242.80	474.80	667.00	2,369.32
24	1964-1965	248.30	72.38	89.27	53.28	91.70	31.02	24.76	14.22	18.91	279.90	229.60	253.70	1,407.04
25	1965-1966	78.51	53.48	335.70	88.18	146.40	58.69	27.82	24.96	49.57	306.80	1,174.00	625.70	2,969.81
27	1967-1968	120.00	30.40	377.60	246.00	518.00	345.00	64.08	46.95	27.23	546.70	747.10	1,173.00	4,242.06
28	1968-1969	160.70	220.70	130.90	166.90	54.18	32.72	42.29	51.76	27.56	588.50	157.20	164.30	1,797.71
29	1969-1970	99.15	25.55	92.01	161.04	42.83	37.81	44.71	42.82	34.16	197.02	388.44	421.10	1,586.64
30	1970-1971	96.86	18.88	37.53	29.89	16.17	29.25	18.40	38.35	41.77	195.53	663.46	245.55	1,431.64
31	1971-1972	363.63	81.36	88.72	234.09	36.82	27.05	15.90	20.80	54.84	134.10	369.26	405.71	1,832.28
32	1972-1973	429.55	558.58	85.16	98.48	420.66	73.21	21.21	29.78	45.45	155.34	645.62	534.33	3,097.37
33	1973-1974	81.38	20.19	33.83	52.32	62.93	43.05	30.89	51.49	42.27	408.49	523.01	666.22	2,016.07
34	1974-1975	231.56	399.35	263.71	105.10	123.67	23.20	31.06	32.86	47.17	191.70	478.01	345.60	2,272.99
35	1975-1976	59.58	27.11	39.39	42.78	30.03	37.13	27.86	39.78	54.23	309.12	278.17	375.18	1,320.36
36	1976-1977	543.71	168.07	102.62	113.75	52.52	20.42	29.84	22.08	67.96	287.57	343.86	287.82	2,040.22
37	1977-1978	77.69	27.38	23.27	12.76	32.99	10.11	10.01	45.75	17.90	189.55	354.73	881.70	1,683.84
38	1978-1979	221.26	41.61	41.83	472.03	537.87	46.70	29.01	28.51	22.35	227.84	482.55	104.02	2,255.58
39	1979-1980	26.67	20.66	33.01	23.48	19.29	20.80	17.85	39.91	95.49	112.98	570.33	665.71	1,546.18
40	1980-1981	332.02	140.00	159.98	336.35	50.65	239.22	69.87	31.16	38.20	443.83	704.23	869.17	3,414.68
41	1981-1982	1,758.69	71.24	58.08	53.83	26.55	13.10	25.97	23.75	22.00	230.17	134.90	404.57	2,822.85
42	1982-1983	102.48	79.28	251.22	131.84	225.27	435.47	56.73	29.64	26.63	148.82	411.18	311.07	2,209.63
43	1983-1984	123.61	134.59	94.99	76.76	74.12	39.54	12.39	38.20	308.81	991.46	745.84	247.78	2,888.09
44	1984-1985	119.15	54.63	429.78	111.74	128.40	65.18	0.00	22.28	91.72	246.50	581.01	420.74	2,271.13
45	1985-1986	420.62	54.46	36.01	25.39	43.54	16.15	14.18	24.88	43.43	402.29	469.05	567.48	2,117.48
46	1986-1987	818.74	76.21	105.07	50.77	43.78	44.21	24.08	42.29	7.64	222.40	532.61	191.50	2,159.30
47	1987-1988	51.07	12.27	176.47	46.08	0.00	0.24	18.11	11.54	35.57	623.24	831.62	290.07	2,096.28
48	1988-1989	71.66	15.19	91.63	34.74	83.35	20.18	11.06	7.45	0.00	95.57	829.67	520.55	1,781.05
49	1989-1990	49.91	191.14	242.42	152.26	128.72	53.58	25.81	7.93	50.28	684.95	501.49	359.55	2,448.04
50	1990-1991	429.28	70.89	558.70	142.12	46.12	48.29	36.64	26.51	15.35	620.82	714.10	1,196.79	3,905.61
51	1991-1992	173.52	137.04	588.65	235.39	26.53	97.80	42.40	9.40	24.53	313.24	350.16	199.58	2,198.24
52	1992-1993	42.87	43.71	46.10	36.11	20.76	19.21	8.80	4.96	26.49	405.46	302.48	933.84	1,890.79
53	1993-1994	85.75	101.56	32.83	14.68	10.93	18.39	0.00	0.00	55.05	125.95	428.37	250.66	1,124.17
54	1994-1995	50.72	75.57	34.90	26.74	19.37	9.70	0.00	0.00	27.33	236.55	215.96	278.22	975.06
55	1995-1996	16.40	0.00	20.97	8.97	6.07	0.00	0.00	0.29	26.24	229.39	188.78	1,301.23	1,798.34
56	1996-1997	52.80	45.09	37.50	32.50	19.02	38.17	353.18	52.16	46.77	228.44	202.16	143.85	1,251.64
57	1997-1998	42.77	125.22	126.28	46.64	39.75	22.34	1.50	0.00	5.43	104.35	190.71	216.80	921.79

Aportaciones mensuales a la presa Sanalena (hm³)

No.	AÑO AGRÍCOLA	M E S E S												TOTAL
		OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	
1	1945-1946	199.28	13.58	7.32	8.56	3.42	2.62	1.25	0.83	20.16	74.43	179.18	125.87	636.50
2	1946-1947	52.64	9.04	10.61	25.39	2.53	2.27	2.44	1.55	3.77	58.16	249.20	193.70	611.30
3	1948-1948	14.07	11.16	32.78	8.48	3.11	1.90	1.86	0.52	38.65	305.00	279.00	343.70	1,040.23
4	1948-1949	32.32	14.51	64.55	180.90	34.89	15.99	11.64	5.58	36.99	135.40	141.70	165.10	839.57
5	1949-1950	54.73	12.86	39.22	147.10	14.67	13.75	7.13	4.02	27.36	237.00	147.30	145.10	850.24
6	1950-1951	55.52	3.81	8.85	3.58	3.86	3.79	15.66	0.00	3.68	72.96	166.70	44.44	382.85
7	1951-1952	8.01	3.89	27.82	0.35	0.92	1.77	5.93	5.55	17.15	124.90	181.60	48.86	426.75
8	1952-1953	2.50	0.30	82.66	4.61	1.36	3.31	1.25	0.80	0.66	133.60	147.60	512.70	891.35
9	1953-1954	16.97	6.28	7.11	39.04	11.63	22.54	17.68	10.55	6.11	109.70	215.40	72.04	535.05
10	1954-1955	58.92	12.10	3.25	175.50	10.99	11.32	7.30	9.36	12.30	88.56	427.90	195.00	1,012.50
11	1955-1956	78.60	13.88	5.45	9.22	5.20	9.89	11.15	12.91	32.18	174.20	120.00	57.12	529.80
12	1956-1957	9.71	9.06	5.66	8.82	4.62	19.89	3.59	2.71	3.04	18.97	101.00	51.91	238.98
13	1957-1958	12.97	2.48	36.58	17.77	9.70	39.99	9.07	4.90	112.70	137.80	296.90	495.40	1,176.26
14	1958-1959	175.80	37.27	29.40	16.02	10.97	20.88	17.04	8.51	16.98	130.40	345.10	141.60	949.97
15	1959-1960	39.99	18.19	127.9	223.50	16.19	26.00	23.55	12.25	9.29	56.81	154.80	107.60	700.96
16	1960-1961	61.71	17.32	22.65	137.80	21.67	9.68	12.08	10.30	17.99	306.00	239.80	281.90	1,138.90
17	1961-1962	95.60	39.01	32.62	59.00	12.07	23.29	14.39	7.17	23.27	90.85	107.70	291.90	796.87
18	1962-1963	292.20	24.94	16.60	10.15	5.66	2.56	1.97	1.56	6.39	435.60	244.90	124.60	1,167.13
19	1963-1964	42.67	11.80	267.50	23.62	9.79	8.66	4.59	3.57	11.59	89.35	213.10	352.20	1,038.44
20	1964-1965	183.90	24.00	13.91	10.12	20.80	5.92	4.85	4.00	5.38	95.17	184.60	144.80	697.45
21	1965-1966	19.76	5.50	92.74	15.74	26.56	6.34	5.38	5.96	10.32	106.60	475.40	225.50	995.80
22	1966-1967	69.01	13.65	8.81	7.83	12.96	5.03	2.27	2.86	14.66	127.20	238.40	167.10	669.78
23	1967-1968	71.07	16.35	143.30	58.78	107.60	68.85	56.77	7.77	6.21	241.50	351.30	578.50	1,708.00
24	1968-1969	54.92	59.82	42.77	53.50	21.79	8.78	3.45	21.81	16.05	147.20	123.10	89.85	643.04
25	1969-1970	39.72	8.68	33.76	66.15	9.11	5.85	3.36	1.40	6.60	159.96	310.50	306.84	951.93
27	1971-1972	188.03	53.44	30.83	45.00	10.67	3.80	1.58	4.03	9.08	54.78	138.74	166.44	706.42
28	1972-1973	248.64	165.87	33.00	22.91	54.75	17.20	5.36	2.53	3.75	45.22	309.24	244.42	1,152.89
29	1973-1974	39.73	14.97	14.23	7.93	2.81	2.03	1.03	0.93	1.65	225.10	284.14	215.79	810.34
30	1974-1975	101.00	82.93	57.50	25.42	13.00	4.97	9.84	1.61	1.85	155.47	253.72	185.34	892.65
31	1975-1976	15.90	6.27	4.65	3.28	2.33	1.52	1.24	0.35	15.86	127.53	129.00	120.02	427.95
32	1976-1977	130.92	58.87	24.99	26.59	8.34	4.02	2.35	2.10	23.29	100.35	251.38	162.45	795.65
33	1977-1978	36.45	11.42	5.10	3.32	5.43	1.94	1.32	0.83	3.31	139.18	193.16	344.71	746.17
34	1978-1979	59.70	15.81	20.70	137.77	82.50	12.09	4.18	4.17	1.77	70.83	203.14	49.03	661.69
35	1979-1980	7.07	3.46	3.37	2.42	1.92	1.79	0.96	0.67	2.71	74.87	349.21	156.77	605.22
36	1980-1981	111.62	19.85	12.94	52.53	10.85	5.17	4.56	2.37	3.78	189.41	161.87	330.30	905.25
37	1981-1982	227.26	19.86	9.69	10.83	3.71	2.42	1.45	1.09	0.72	57.76	42.57	68.38	445.74
38	1982-1983	27.75	52.74	65.34	33.53	52.82	77.29	13.22	3.75	3.93	59.79	184.38	182.53	757.07
39	1983-1984	70.16	56.34	29.34	26.29	10.88	3.63	2.02	2.78	119.80	351.88	285.77	90.30	1,049.19
40	1984-1985	39.45	16.43	161.63	209.40	28.30	11.57	6.52	3.93	18.01	114.64	284.14	185.68	1,079.70
41	1985-1986	233.60	21.84	9.92	10.94	5.70	2.35	1.52	1.16	4.43	177.52	163.83	135.44	768.25
42	1986-1987	377.39	18.20	22.41	12.77	5.94	5.59	2.48	1.92	0.00	122.25	246.52	91.45	906.92
43	1987-1988	30.12	0.00	44.35	14.55	6.30	4.30	4.16	3.06	13.04	340.04	465.74	247.02	1,172.68
44	1988-1989	38.96	0.00	25.62	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	54.48	414.37	214.18	747.61
45	1989-1990	0.00	34.29	37.40	16.77	9.35	0.00	0.00	0.00	22.86	559.51	220.36	167.04	1,067.58
46	1990-1991	156.06	19.89	63.20	13.62	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	413.07	257.89	232.85	1,156.58
47	1991-1992	54.70	30.72	99.13	0.00	18.66	19.00	11.10	0.17	3.73	130.40	133.70	72.80	574.11
48	1992-1993	13.21	0.51	0.31	0.43	0.48	0.00	0.00	0.02	5.68	189.95	172.49	324.01	707.09
49	1993-1994	28.20	15.11	0.00	0.00	0.00	0.34	0.00	0.00	13.90	58.56	201.89	147.54	465.54
50	1994-1995	8.50	3.55	4.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.56	120.37	169.74	136.93	448.23
51	1995-1996	8.62	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	12.25	122.09	130.92	597.12	871.00
52	1996-1997	12.14	0.00	6.29	0.13	0.00	0.00	68.43	0.00	8.04	66.59	89.41	99.24	350.27
53	1997-1998	14.54	37.99	34.21	7.56	3.35	0.00	1.11	0.00	57.46	142.36	97.86	97.86	396.44
54	1998-1999	47.71	0.00	0.00	0.00	0.19	1.45	0.00	6.11	49.17	182.27	125.65	167.74	580.29
55	1999-2000	12.42	0.00	3.31	0.00	0.00	0.00	1.32	0.00	52.77	171.53	91.98	60.09	393.42
56	2000-2001	73.07	111.44	11.54	12.31	0.00	0.00	0.00	0.00	8.48	96.56	226.19	187.59	654.11
57	2001-2002	19.63	0.00	2.45	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.00	38.36	144.17	155.35	360.16

ANEXO C Normales climatológicas de precipitación, temperatura y climogramas

Anexo E1 Normales climatológicas de precipitación anual (NCPA) en mm, para la zona en estudio, período 1978-2008

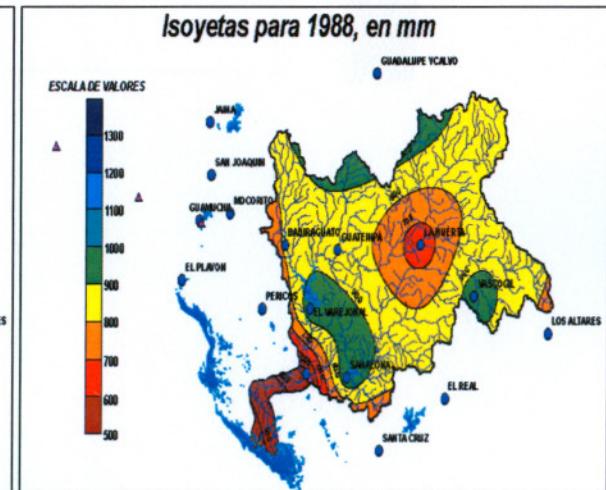
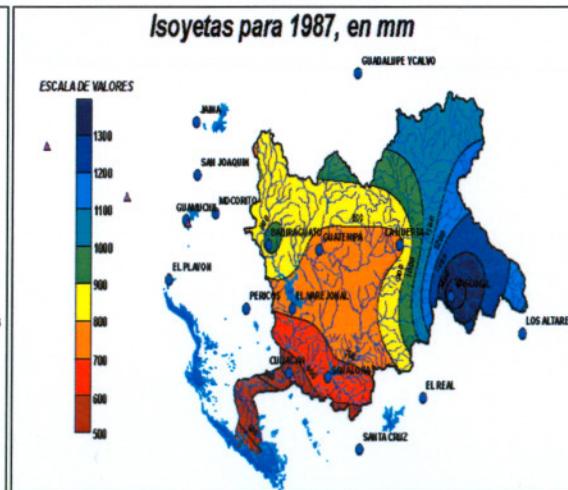
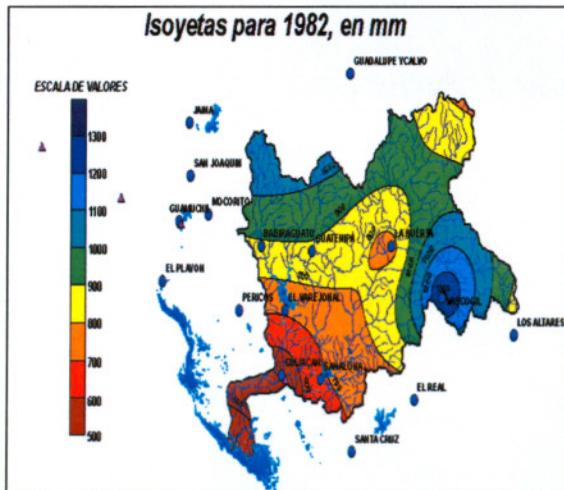
NCPA	793.5	1019.5	784	931.4	666.9	878.7	1401.2	973	827.7	768.5	681.3	694.1	1156.9	803.2	795.3	443.9	912.1	638.6
-------------	-------	--------	-----	-------	-------	-------	--------	-----	-------	-------	-------	-------	--------	-------	-------	-------	-------	-------

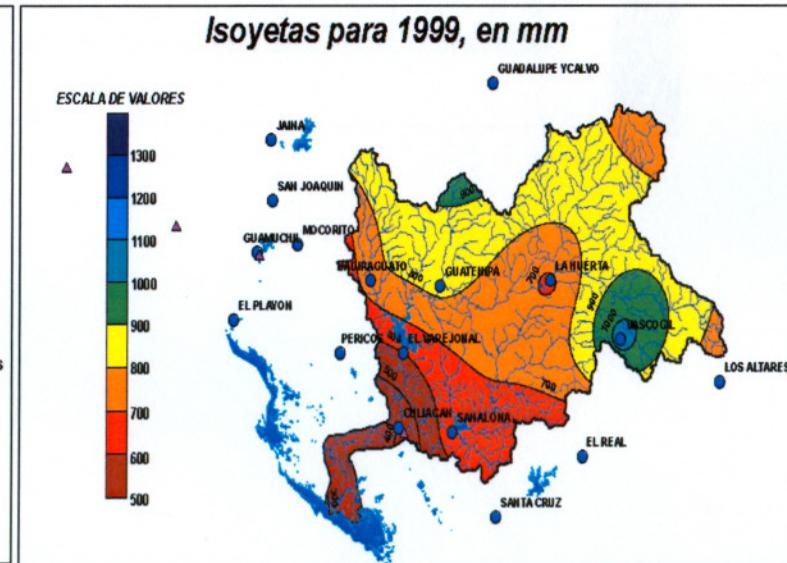
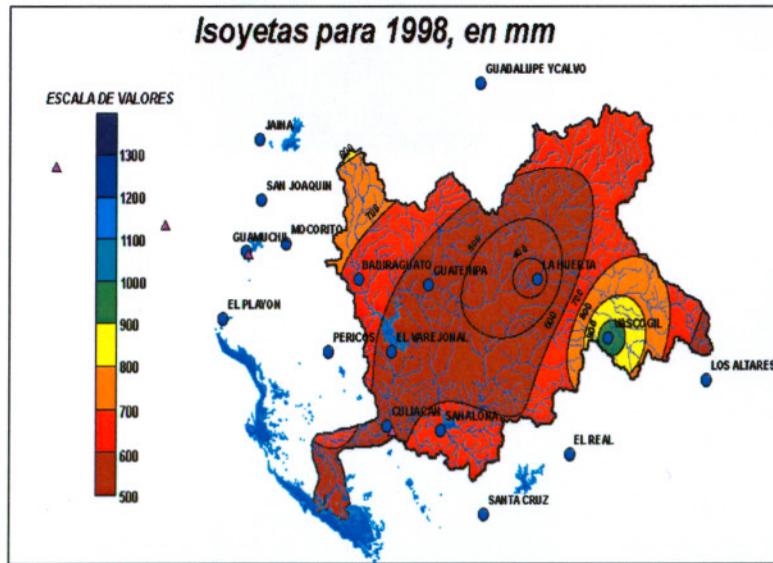
AÑO	SAN JOAQUIN	GUATEMPA	LA HUERTA	VAREJONAL	CULIACAN	SANALONA	VASCOGIL	BADIRAGUATO	LOS ALTARES	STA. CRUZ	PERCOS	MOCORITO	GPE. Y CALVO	EL VERGEL	EL REAL	EL PLAYON	JAINA	GUAMUCHIL
1978	796.0	1057.6	830.9	1077.1	551	750.2	1311	811.5	856.7	626.5	615.9	580.9	1210.8	761.8	790.2	861.3	790.2	593.2
1979	529.7	745.8	688.3	676.4	457.4	499	1295.4	721	809.6	582.3	522.6	697.4	1056.1	600.7	798.2	394.6	907.1	454.7
1980	627.4	1185	790.6	1050	780	1016	1568.8	1092.5	996.5	917.3	777.1	616.6	1107.8	651.9	741.1	588.2	903.7	719.7
1981	696	1188.9	961	1402.5	581.3	811.5	1948.2	1350.8	1166.4	909	964	903.3	1466.8	1149	866.5	583.7	974.6	656.3
1982	862.3	878.9	756.1	711	510.6	686.5	1327.6	884.5	803.6	700.8	708.3	920.5	1182.7	528.2	703.5	448.1	1042.1	485.6
1983	921.1	1054.7	946.8	1212.1	634	875.3	1504.9	1131.8	954.4	916.6	637.1	912.9	1159.3	826.4	1064.4	244.1	1078	802
1984	1294	1672.3	946.5	1394.1	1069.3	1082.9	1843.9	1621.7	1143.3	883.2	980.1	1157.6	1389.2	1054.3	863.7	806.6	1493.8	999.4
1985	753.7	1069.3	922.6	1033	614.7	1115.5	1642.5	1084.3	784.1	878.2	689.2	735.5	1150.5	749.9	815.1	438.4	951.1	536.9
1986	716.5	1197.5	994.9	988	671	1082.7	1578.3	1160.8	915.5	861.5	550	690.6	1229.1	1033.4	1151.8	519.4	964.7	514.6
1987	583.8	742.2	762.7	718	537	681	1487.3	938	1029.5	450.8	640.9	570.2	1171.8	897.8	778	284.3	513.8	455.1
1988	765.6	820.8	620.3	980.5	456.2	974.4	960.3	820.4	750.9	528.2	521	513.8	1239.2	763.8	786.1	174.4	685.3	557.9
1989	846.7	863.3	829	882.2	699.2	1170.6	1620.8	890.9	880	874.2	548.8	692.8	1464.7	782.9	553.8	420.1	1078	647
1990	1526	1195.5	966	1309.8	735	1374.9	1555.4	1332	817	1345.6	851.2	777	1446.6	808.7	1129.4	645.6	1235.8	1371.8
1991	947.8	1227.6	1067.7	1046.5	822.1	807.2	1729.9	1045.5	1069.5	712.3	876.7	782.1	1529.5	1074.6	884.7	411.3	959.5	504.8
1992	824	1080.7	914.2	833.2	767.1	888.3	1624.5	1133.4	855.1	945.4	775.7	602.1	1195.4	795	935.2	427.1	832	744.7
1993	758.4	1060.2	739.9	969	507	605.5	1221.5	1082.5	951	789.4	664.7	648.3	1272.4	845.4	900.5	374.5	1127.5	556.5
1994	882	1019.8	674.6	1058	894.6	1002.2	1286.7	948	682.9	688.8	612.2	621.5	861	672.7	565.5	457.3	844.8	721.9
1995	553	809.5	464.6	659	486.6	598.2	1043.1	588.5	668.8	495.3	379.9	431	874.5	610.1	396.9	214.6	723.7	466.4
1996	730.2	940.3	557.5	989.5	796.6	993.8	1259.4	802	712.2	686.5	694.3	514.1	946.3	794.7	784.1	432.8	1011.6	748.1
1997	821	1064.1	733.8	927	779.9	852.1	1713.5	907.6	919.9	1060.1	692	788.2	1318.1	956.9	1036	434.1	638.3	739.4
1998	714	547	335.3	535	565.6	651.2	986.7	688.6	471.7	663.2	764.3	741.2	843.8	597.3	559.9	402.2	922.5	749.8
1999	528.5	824	676.9	595.6	399.8	661.9	1052.7	771.5	700.8	610.4	484	396	1073	577.1	530.7	139.7	832.7	457
2000	915.5	965.1	562.5	903.5	636	1047.2	1141.4	908.5	741.3	667.1	776	852	645.5	802.7	971.2	819.3	1082.3	944.6
2001	719	931.3	672.3	738	597	862.7	1159.1	844	655	585.8	568.5	682	1105.3	582	771	329.2	732.2	585.8
2002	628	676.9	657.5	637	563.7	806.2	1113.1	712	816.1	662.6	385	401	756.2	842.3	547.3	362.3	631.9	339.3
2003	771.5	1019.2	648	704	665.2	774.2	1304.1	873	768.8	730.6	626.5	717	864.6	826.1	681	300.7	879.9	513.8
2004	965	1624.9	1677.1	1199	939	1200.1	1996.7	1009.47	796.083	989	1054.5	768.6	1439.2	914.7	1034.1	619.5	1094.1	620.9
2005	595.5	667	721	842.5	638.7	799.1	1198.8	816.3	539.3	579	416.5	466	1297.1	577.8	728.7	315.1	670.2	371.7
2006	852	1323.3	718.6	993.3	711.3	1050.7	1340.8	1236.6	835.4	1114.4	882.5	823.3	1182.6	1231.4	782	482.9	778.4	701.1
2007	729.1	1149.5	767.5	910.8	717.6	746.5	1286.9	1035.5	619.7	721.7	778.5	804.3	1438.4	757.3	647.4	503.7	926.9	641.8
2008	743.3	1003.6	681	955	767.3	771	1354.8	932.1	944.3	672.7	684	708.9	911.3	833.4	838.2	296.5	866.9	594

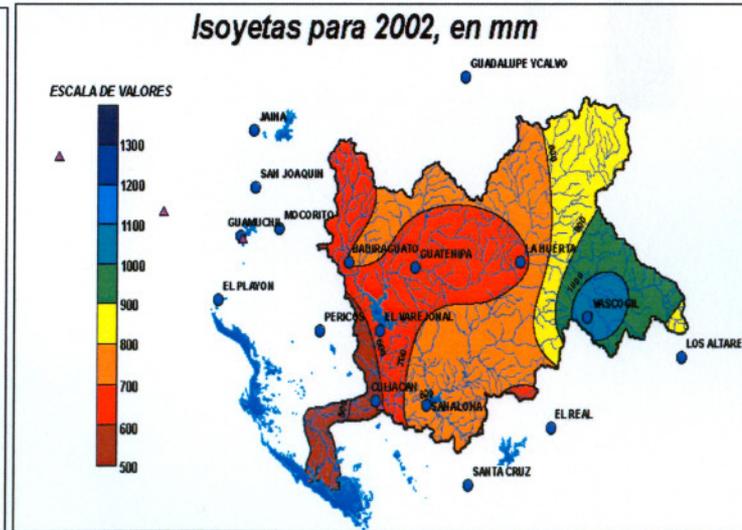
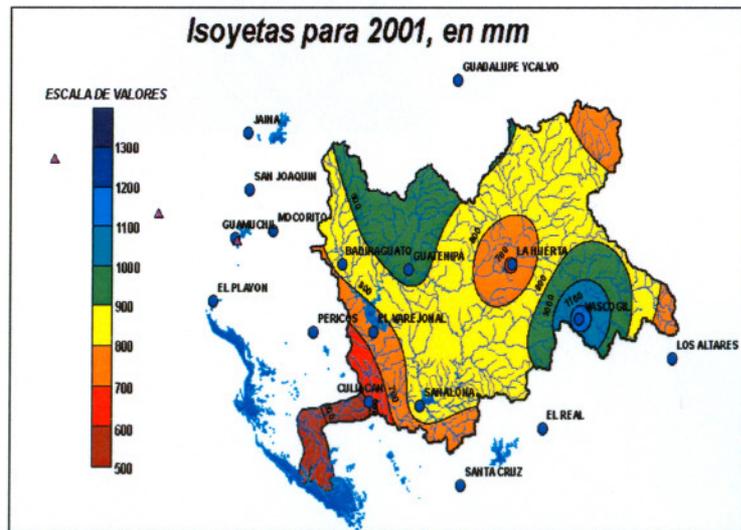
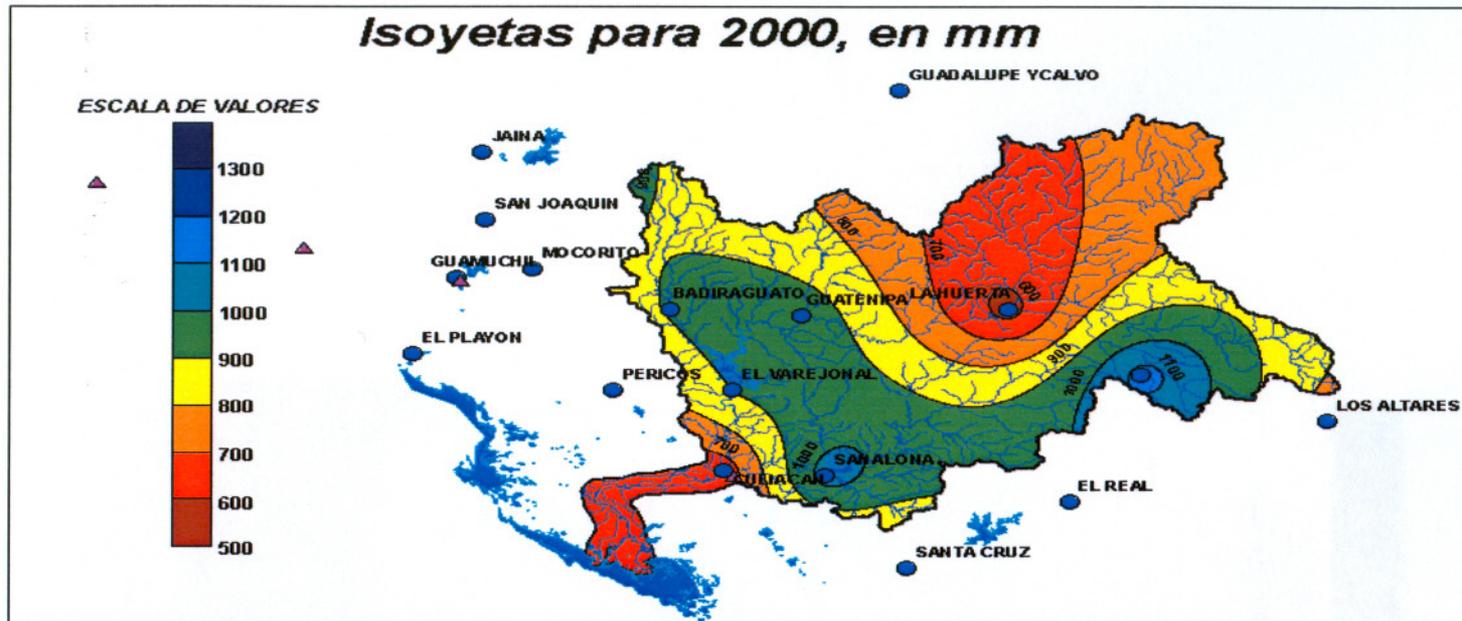
Anexo E2 Isoyetas de la normal climatológica de precipitación anual y para años seleccionados (1978-2008).



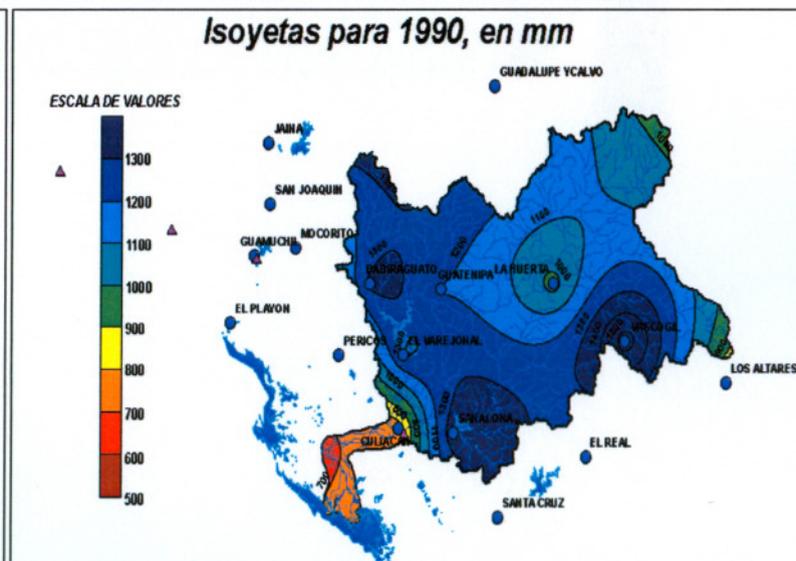
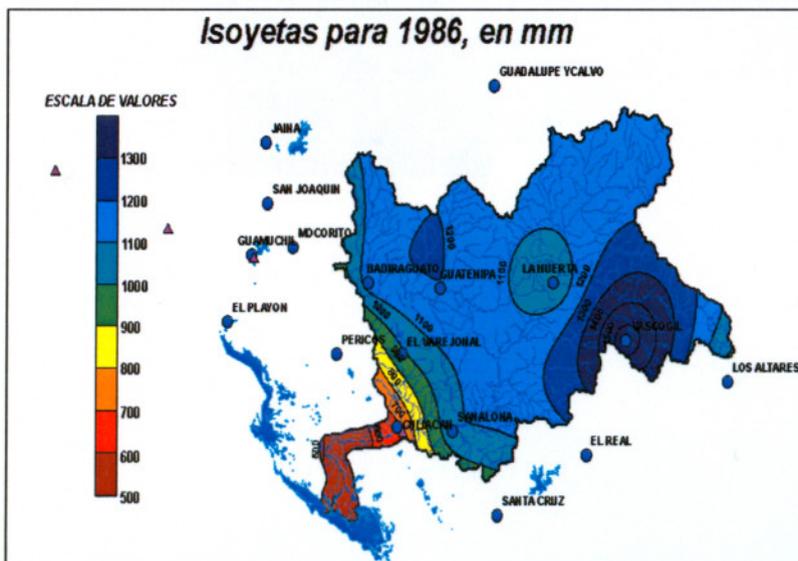
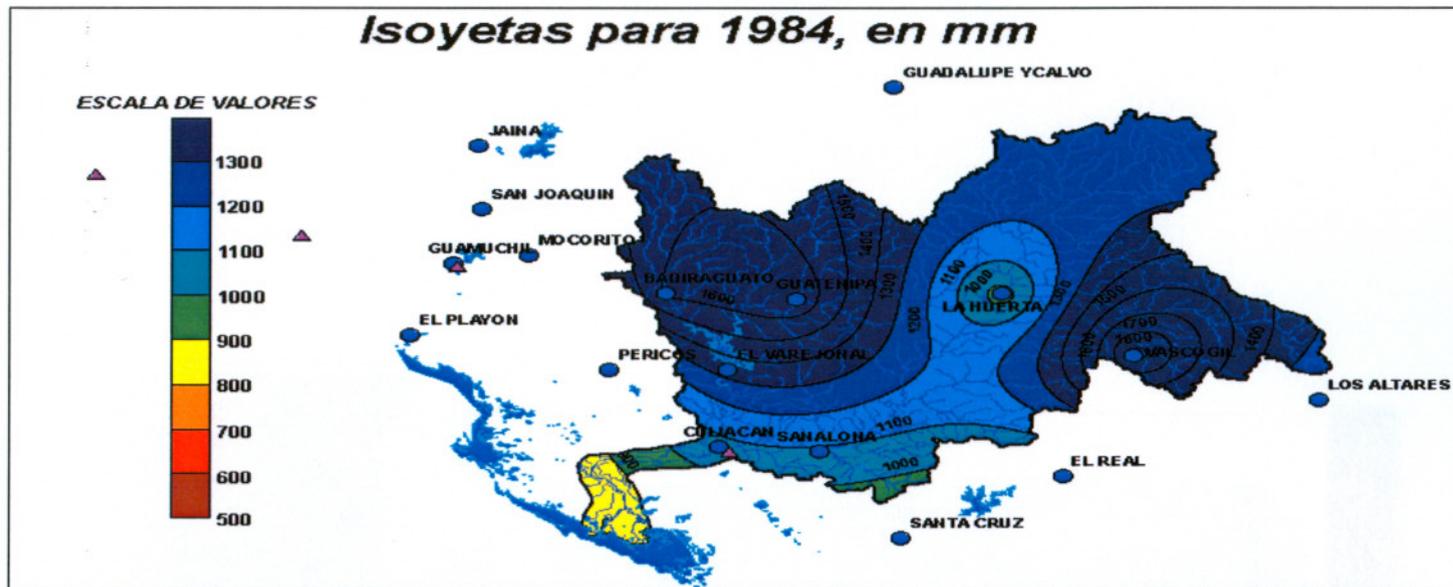
AÑOS SECOS

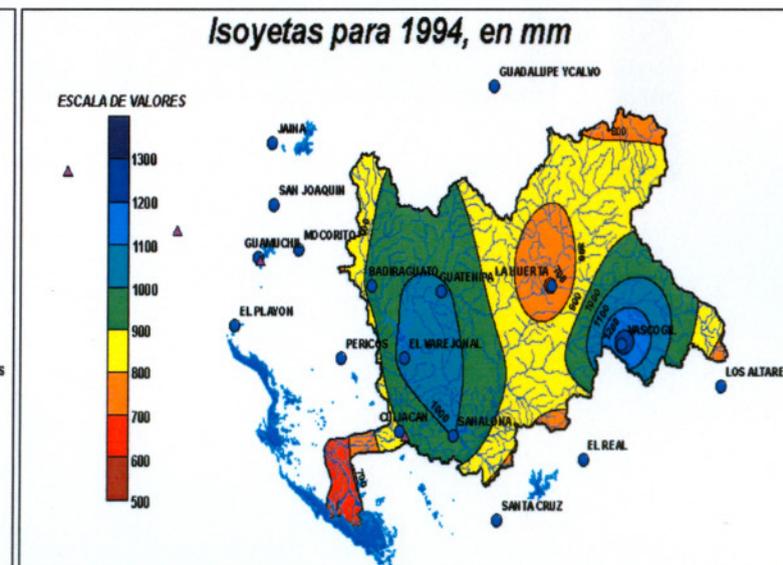
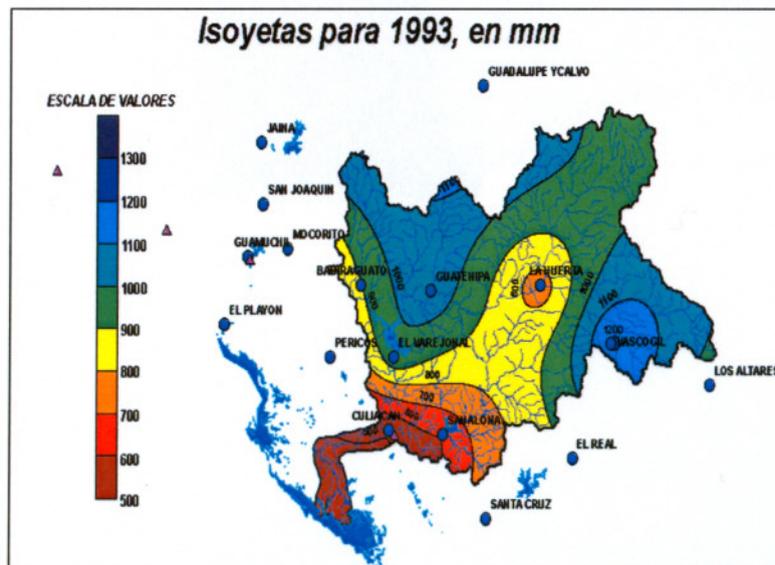


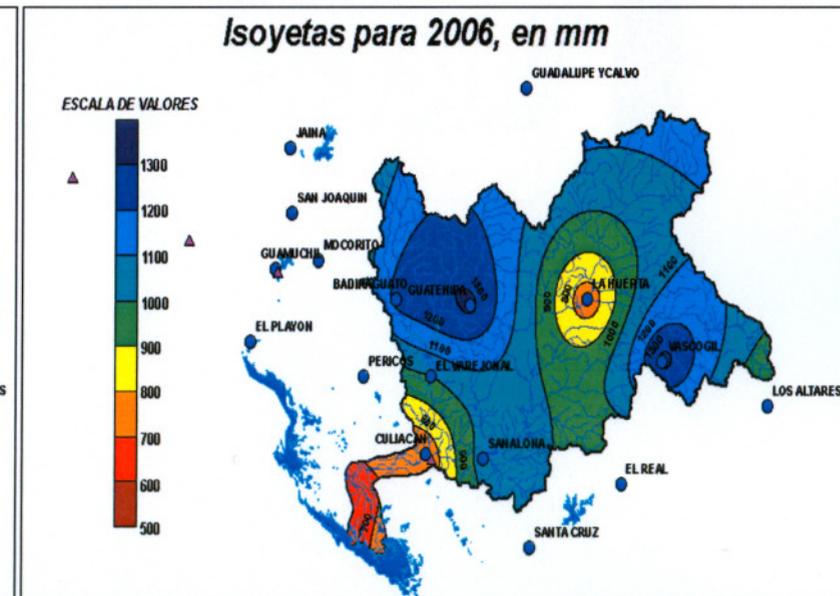
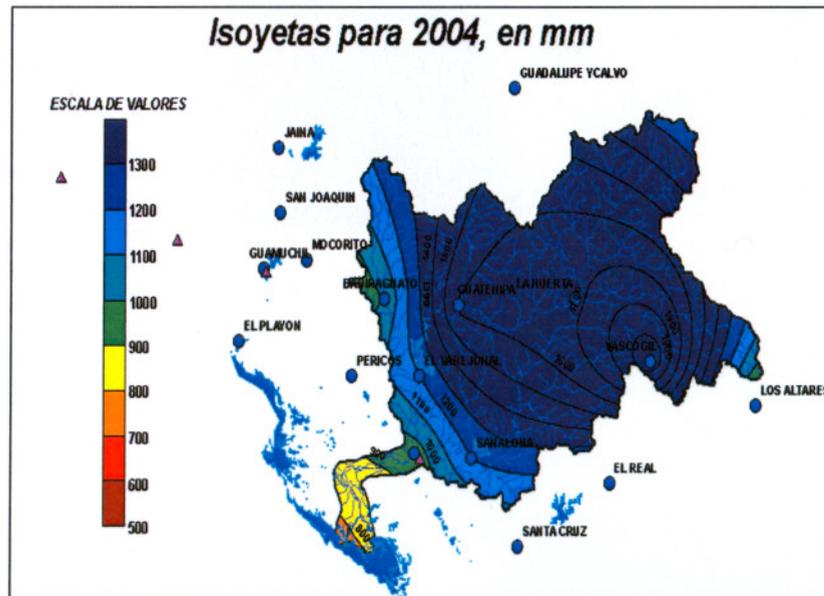
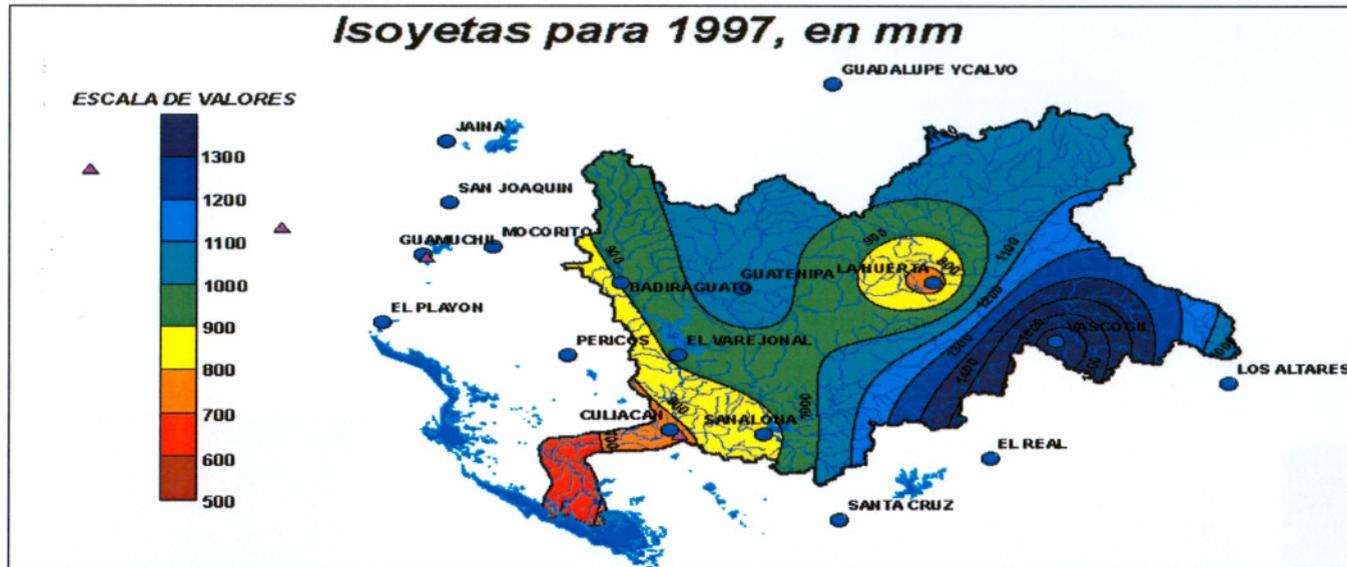




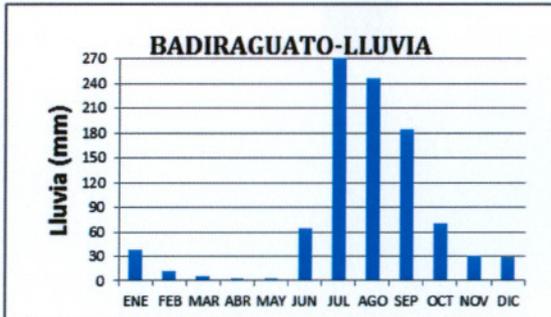
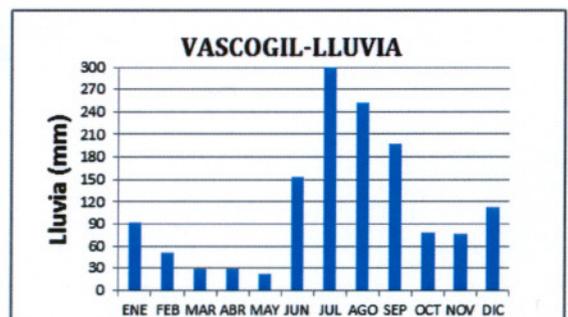
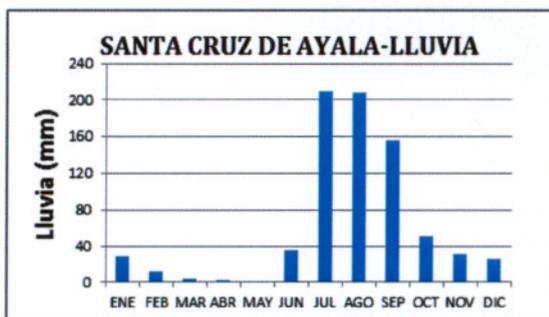
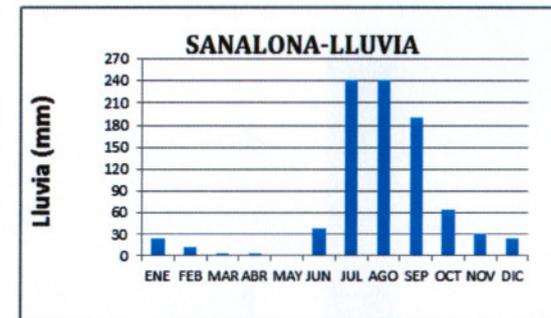
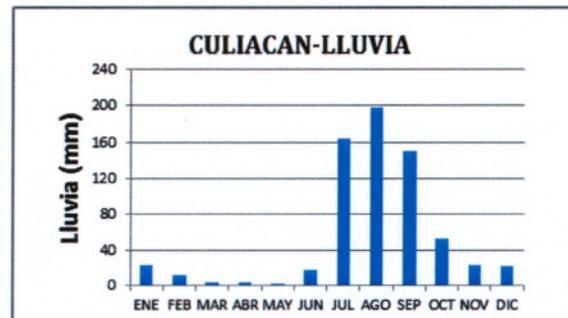
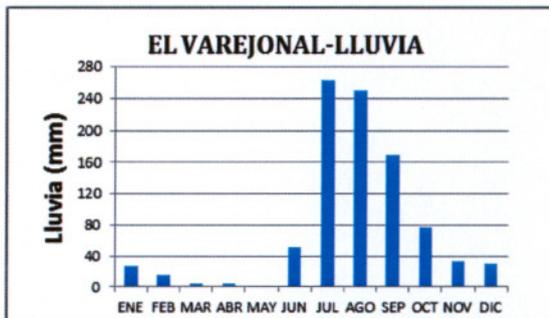
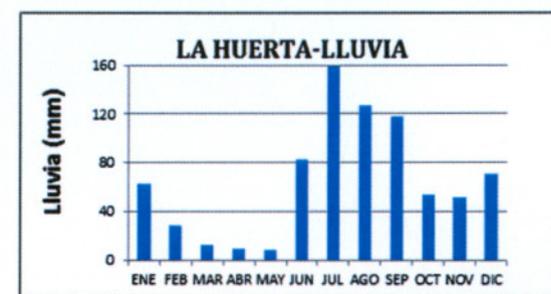
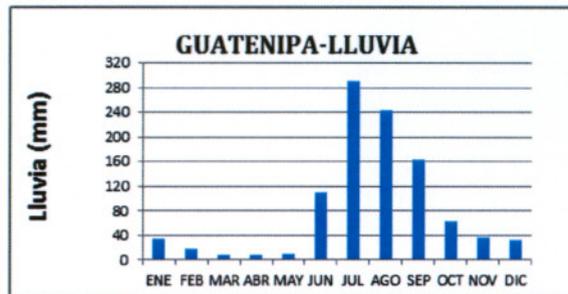
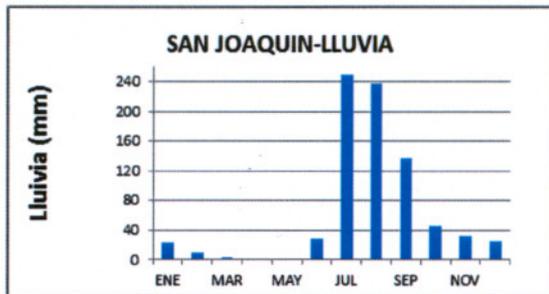
AÑOS HÚMEDOS



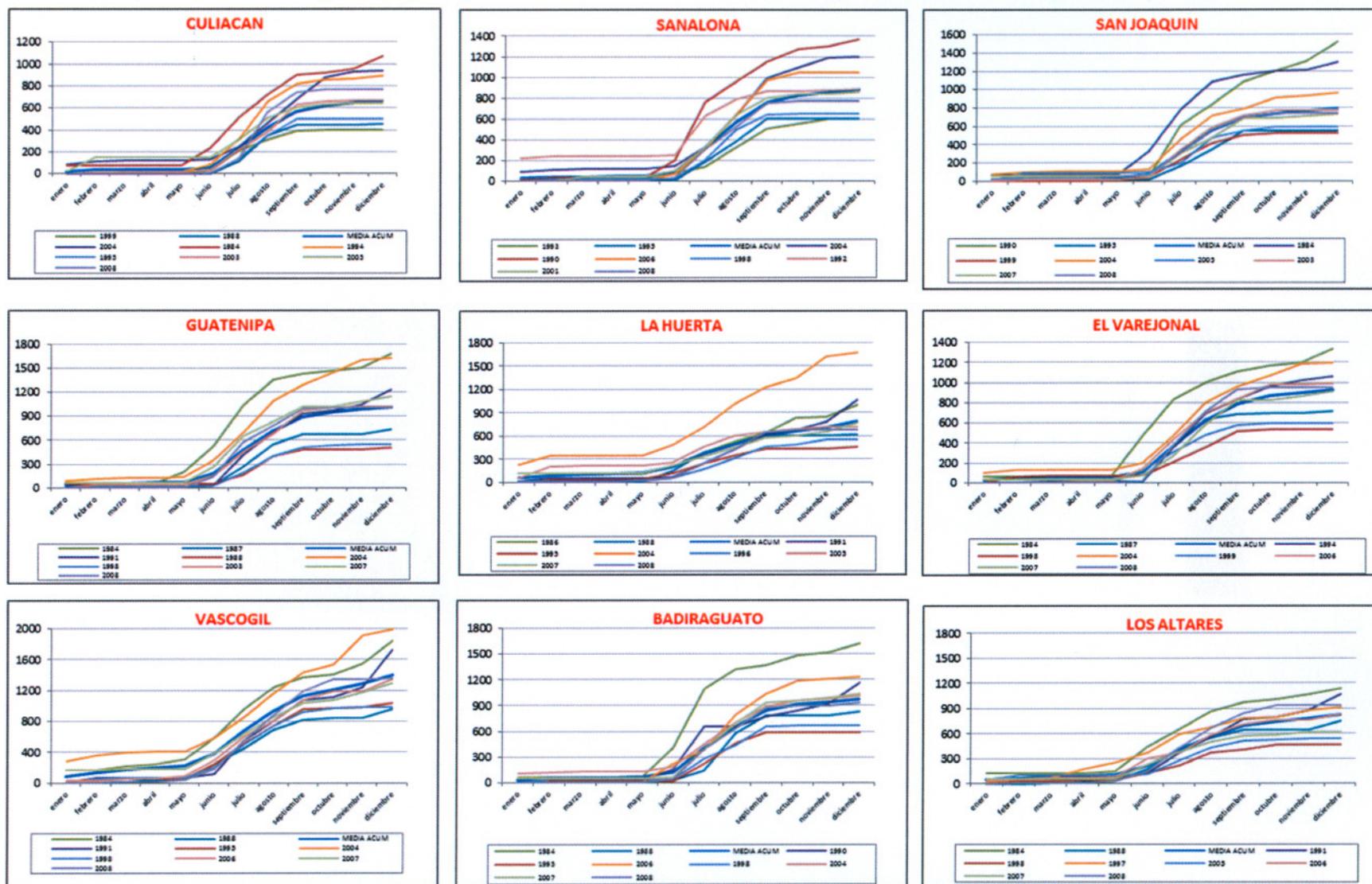




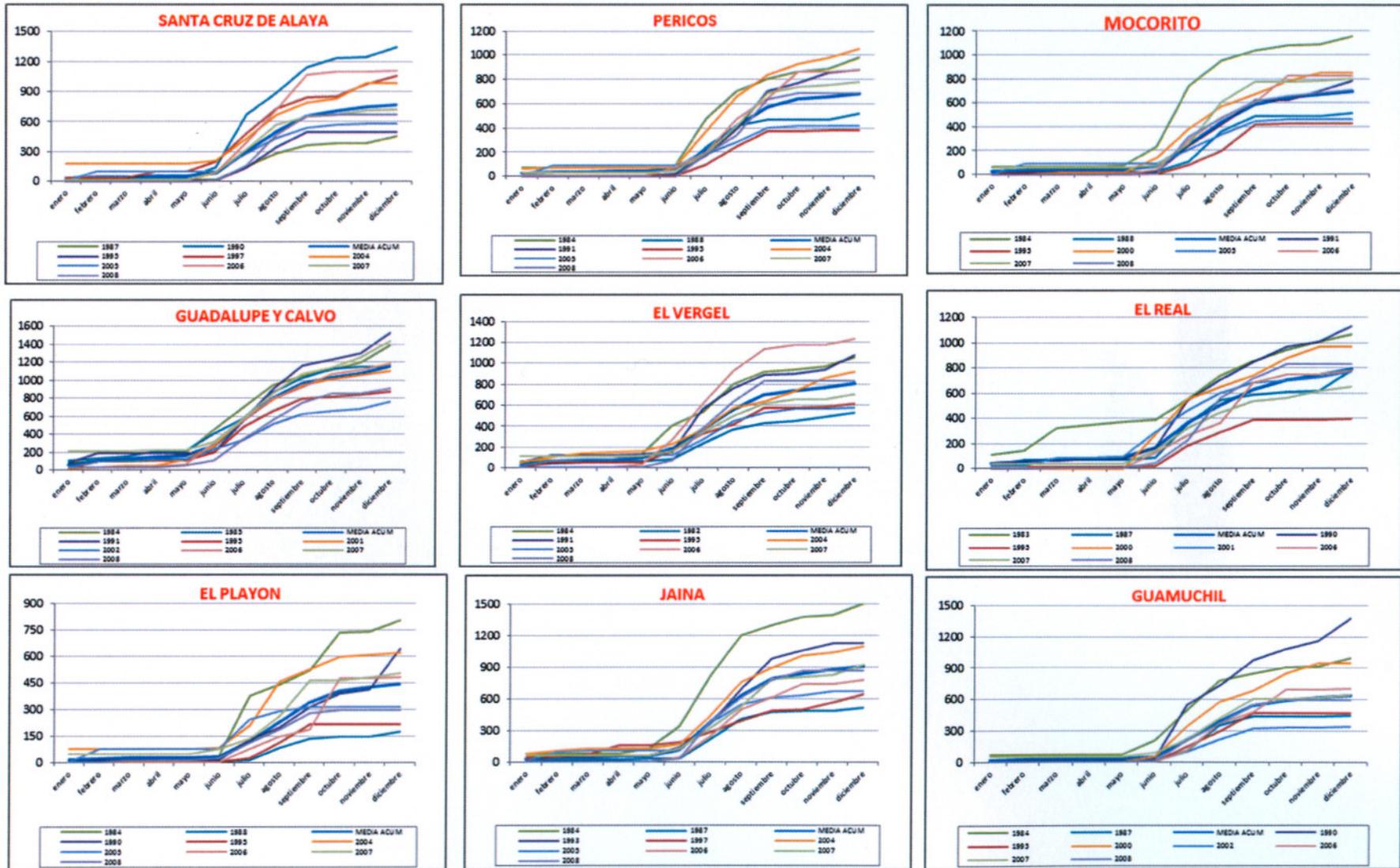
Anexo E3 Normales climatológicas de precipitación mensual sin acumular, período 1978-2008



Anexo E4 Normales climatológicas de precipitación mensual acumulada anual, para la zona en estudio (1978-2008).



Anexo E4 Normales climatológicas de precipitación mensual acumulada anual, para la zona en estudio (1978-2008)



Anexo E5 Normales climatológicas de precipitación mensual acumulada en los tres meses más lluviosos del año

ESTACION SAN JOAQUIN		
MES	MEDIA	M. ACUM
julio	249.4	249.4
agosto	237.4	486.8
septiembre	137.0	623.8
ANUAL	793.5	

ESTACION GUATENIPA		
MES	MEDIA	M. ACUM
julio	290.7	290.7
agosto	242.9	533.6
septiembre	163.9	697.6
ANUAL	1019.5	

ESTACION LA HUERTA		
MES	MEDIA	M. ACUM
julio	158.8	158.8
agosto	126.8	285.6
septiembre	117.5	403.1
ANUAL	784.1	

ESTACION VAREJONAL		
MES	MEDIA	M. ACUM
julio	263.8	263.8
agosto	250.4	514.3
septiembre	169.6	683.8
ANUAL	931.4	

ESTACION CULIACAN		
MES	MEDIA	M. ACUM
Julio	163.7	163.7
Agosto	197.7	361.4
septiembre	149.9	511.4
ANUAL	666.9	

ESTACION SANALONA		
MES	MEDIA	M. ACUM
Julio	241.8	241.8
Agosto	241.5	483.2
septiembre	191.0	674.3
ANUAL	878.7	

ESTACION VASCOGIL		
MES	MEDIA	M. ACUM
Julio	303.5	303.5
Agosto	252.3	555.8
septiembre	198.2	754.0
ANUAL	1401.2	

ESTACION BADIRAGUATO		
MES	MEDIA	M. ACUM
julio	280.9	280.9
agosto	246.9	527.8
septiembre	185.6	713.5
ANUAL	973	

ESTACION LOS ALTARES		
MES	MEDIA	M. ACUM
Julio	182.1	182.1
Agosto	165.9	347.9
septiembre	133.7	481.6
ANUAL	827.7	

ESTACION STA CRUZ DE A		
MES	MEDIA	M. ACUM
Julio	209.7	209.7
Agosto	207.5	417.2
septiembre	156.1	573.4
ANUAL	768.5	

ESTACION PERICOS		
MES	MEDIA	M. ACUM
julio	153.7	153.7
agosto	200.8	354.5
septiembre	161.2	515.7
ANUAL	681.3	

ESTACION MOCORITO		
MES	MEDIA	M. ACUM
Julio	174.6	174.6
Agosto	198.5	373.2
septiembre	144.3	517.5
ANUAL	694.1	

ESTACION GPE Y CALVO		
MES	MEDIA	M. ACUM
Julio	280.7	280.7
Agosto	236.5	517.2
septiembre	165.2	682.4
ANUAL	1156.9	

ESTACION EL VERGEL		
MES	MEDIA	M. ACUM
Julio	186.0	186.0
Agosto	187.2	373.2
septiembre	133.5	506.7
ANUAL	803.2	

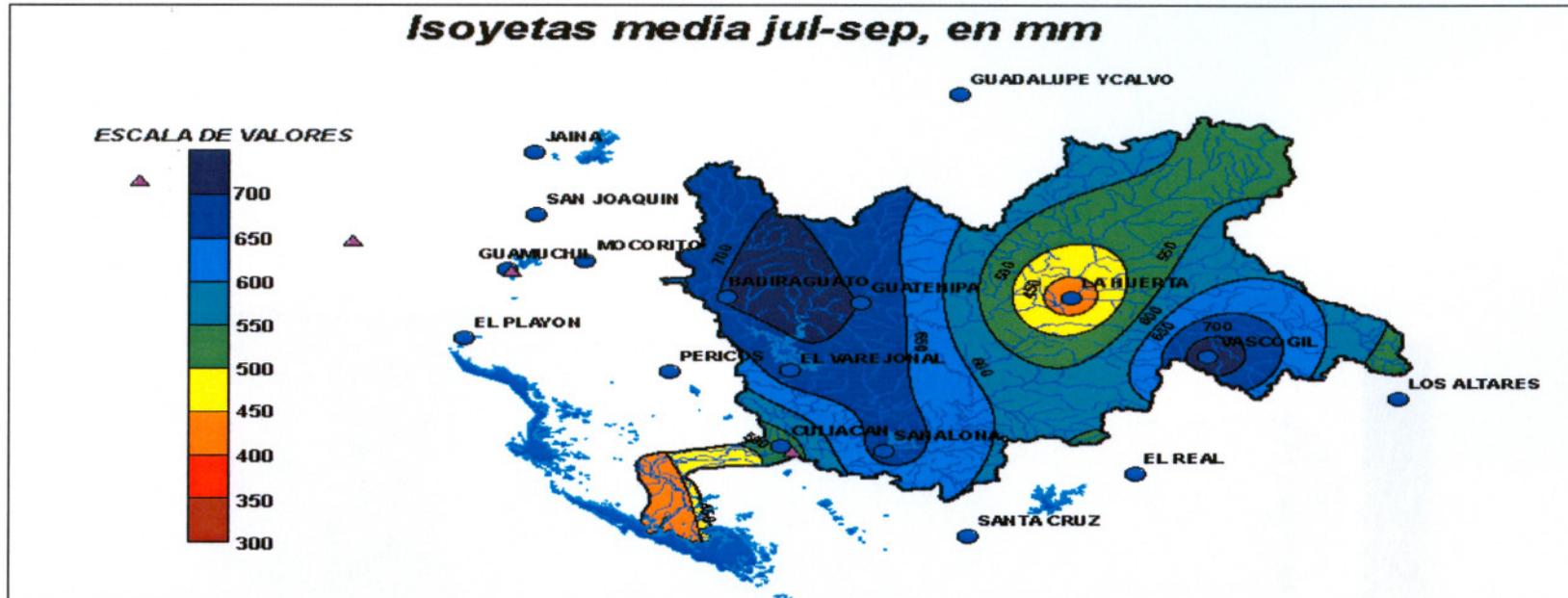
ESTACION EL REAL		
MES	MEDIA	M. ACUM
julio	199.7	199.7
agosto	141.3	341.0
septiembre	125.3	466.3
ANUAL	795.3	

ESTACION EL PLAYON		
MES	MEDIA	M. ACUM
julio	87.5	87.5
agosto	109.8	197.3
septiembre	104.4	301.7
ANUAL	443.9	

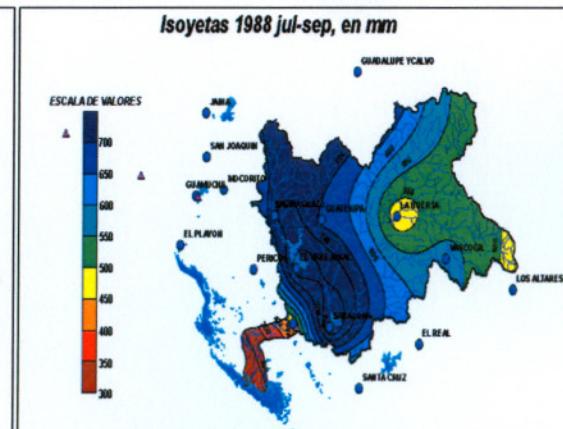
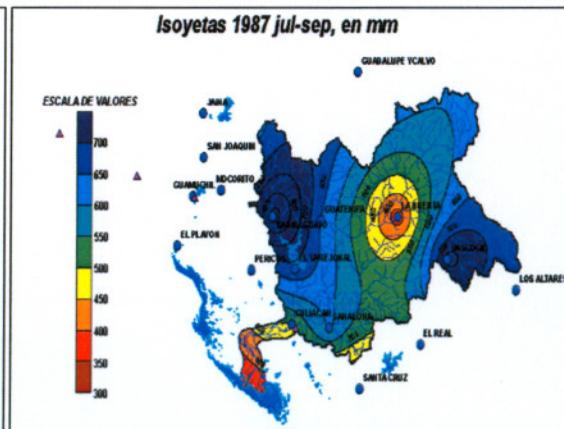
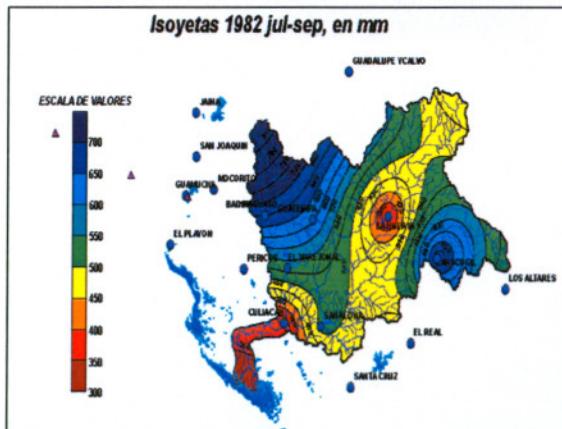
ESTACION JAINA		
MES	MEDIA	M. ACUM
julio	262.1	262.1
agosto	250.0	512.1
septiembre	159.1	671.3
ANUAL	912.1	

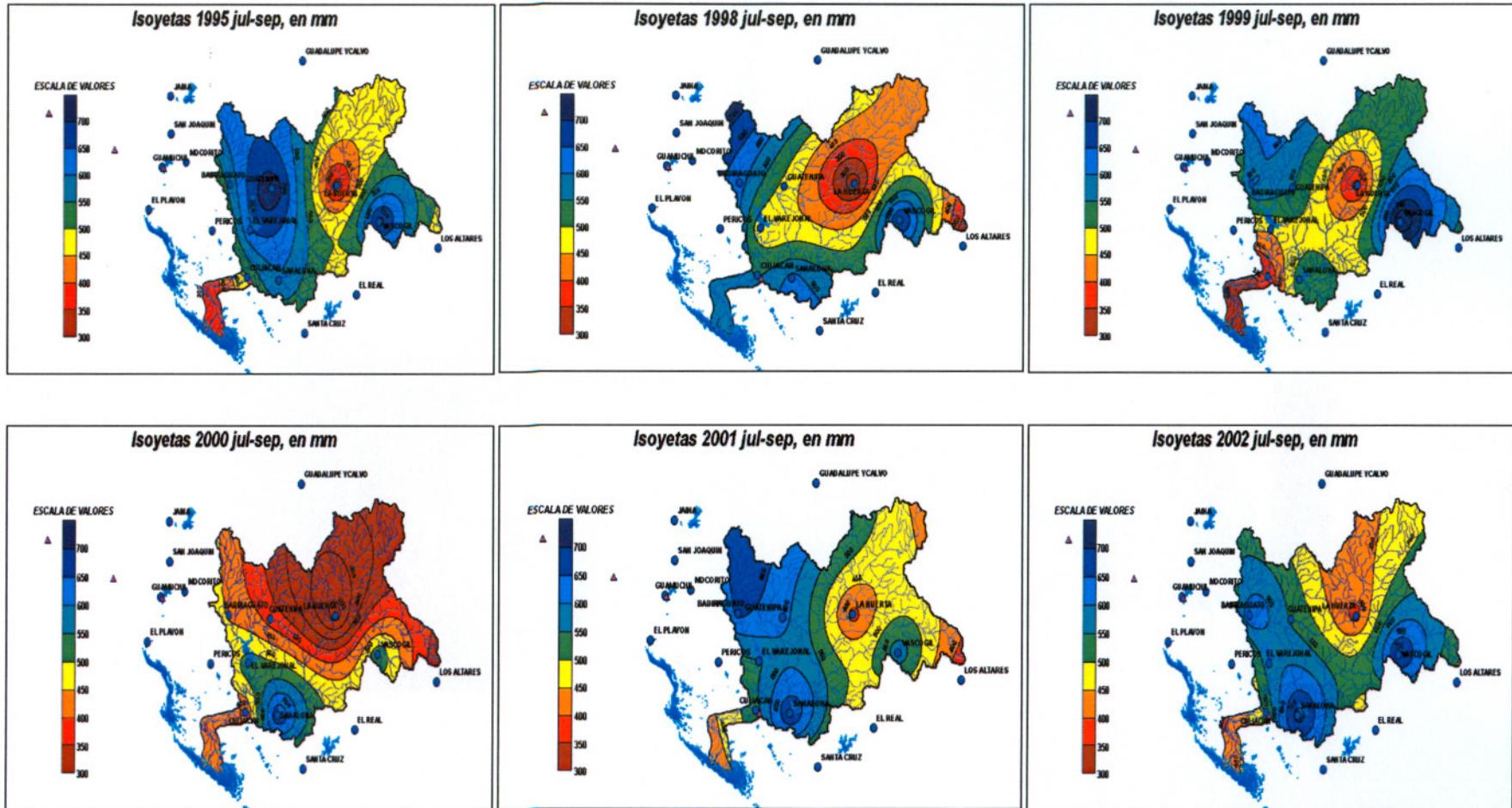
ESTACION GUAMUCHIL		
MES	MEDIA	M. ACUM
julio	160.7	160.7
agosto	189.2	349.9
septiembre	140.1	490.0
ANUAL	638.6	

Anexo E6 Isoyetas de la normal climatológica de precipitación mensual acumulada en los tres meses más lluviosos

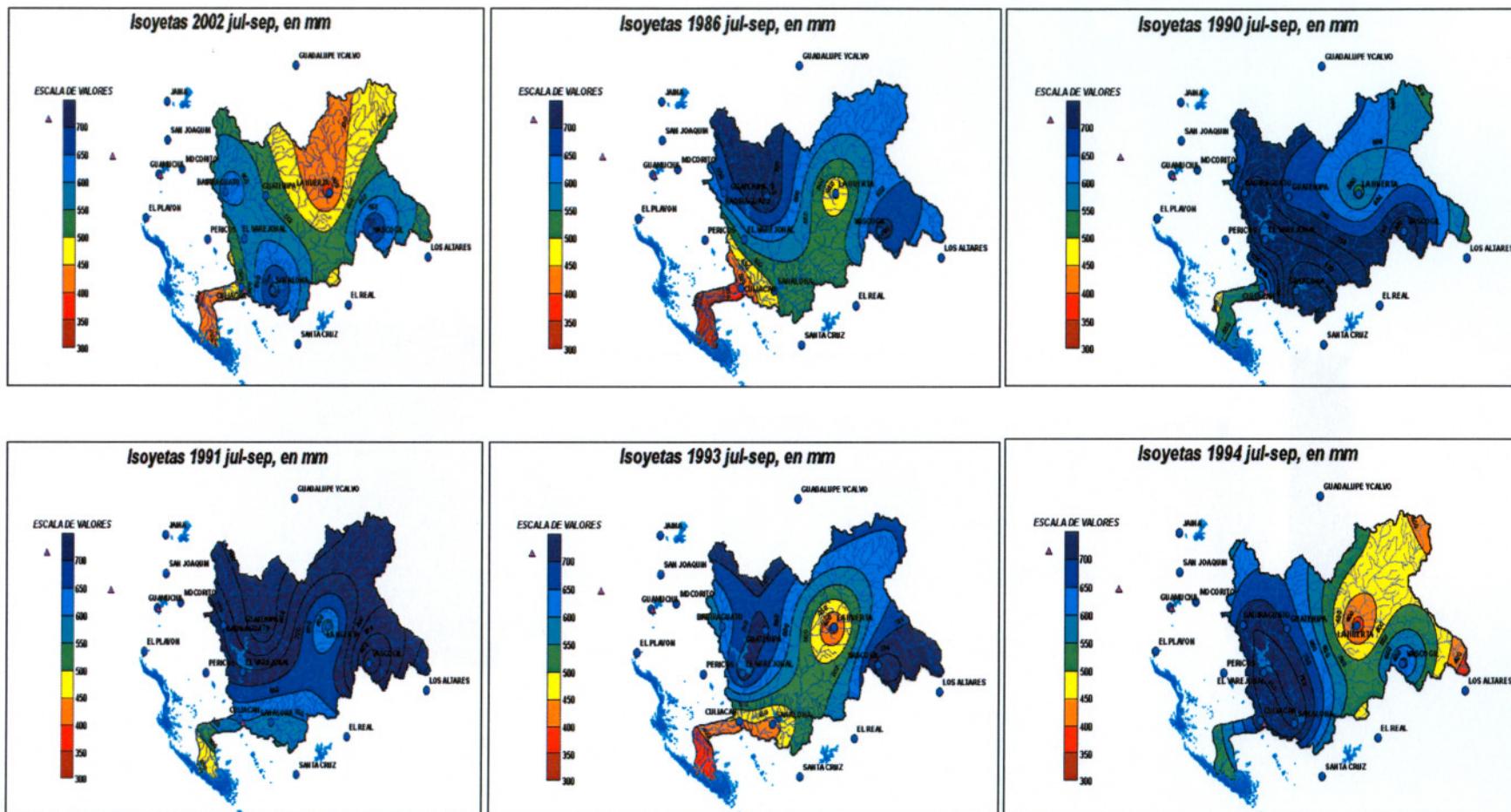


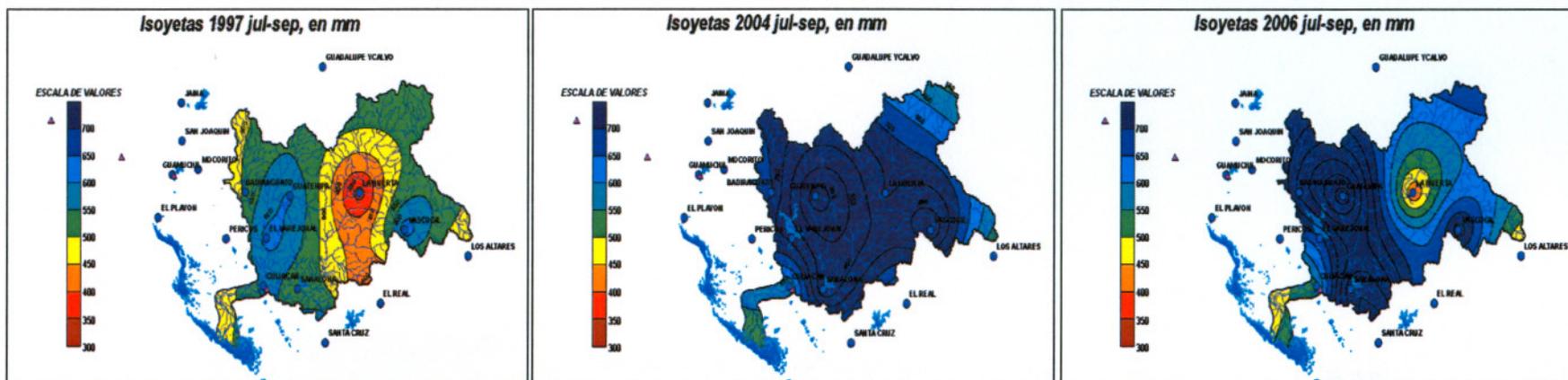
AÑOS SECOS





AÑOS HÚMEDOS





Anexo E7 Normales climatológicas de precipitación mensual acumulada en los tres meses más secos del año (mar-may) para la zona en estudio, 1978-2008

SAN JOAQUIN	
DIA	M. ACUM
2.6	2.6
2.0	4.6
.9	6.4
793.5	

ESTACION GUATENIPA		
MES	MEDIA	M. ACUM
marzo	8.5	8.5
abril	7.0	15.5
mayo	10.6	26.1
ANUAL	1019.5	

ESTACION LA HUERTA		
MES	MEDIA	M. ACUM
marzo	12.5	12.5
abril	9.8	22.3
mayo	8.6	31.0
ANUAL	784.1	

ESTACION VAREJONAL		
MES	MEDIA	M. ACUM
marzo	4.5	4.5
abril	5.0	9.5
mayo	0.2	9.7
ANUAL	931.4	

ON CULIACAN	
DIA	M. ACUM
2.7	2.7
2.8	5.5
1.7	6.2
666.9	

ESTACION SANALONA		
MES	MEDIA	M. ACUM
marzo	3.4	3.4
abril	3.6	7.0
mayo	0.7	7.7
ANUAL	878.7	

ESTACION VASCOGIL		
MES	MEDIA	M. ACUM
marzo	29.8	29.8
abril	29.5	59.3
mayo	22.5	81.8
ANUAL	1401.2	

ESTACION BADIRAGUATO		
MES	MEDIA	M. ACUM
marzo	5.8	5.8
abril	3.7	9.5
mayo	3.5	13.0
ANUAL	973	

IN LOS ALTARES	
DIA	M. ACUM
4.7	14.7
5.3	30.1
4.0	44.1
827.7	

ESTACION STA CRUZ DE A		
MES	MEDIA	M. ACUM
marzo	4.1	4.1
abril	3.1	7.2
mayo	0.9	8.1
ANUAL	768.5	

ESTACION PERICOS		
MES	MEDIA	M. ACUM
marzo	2.7	2.7
abril	3.1	5.8
mayo	0.4	6.2
ANUAL	681.3	

ESTACION MOCORITO		
MES	MEDIA	M. ACUM
marzo	4.2	4.2
abril	1.6	5.9
mayo	2.2	8.0
ANUAL	694.1	

N GPE Y CALVO	
DIA	M. ACUM
9.3	19.3
3.1	42.4
9.5	61.9
1156.9	

ESTACION EL VERGEL		
MES	MEDIA	M. ACUM
marzo	12.2	12.2
abril	13.4	25.5
mayo	19.7	45.3
ANUAL	803.2	

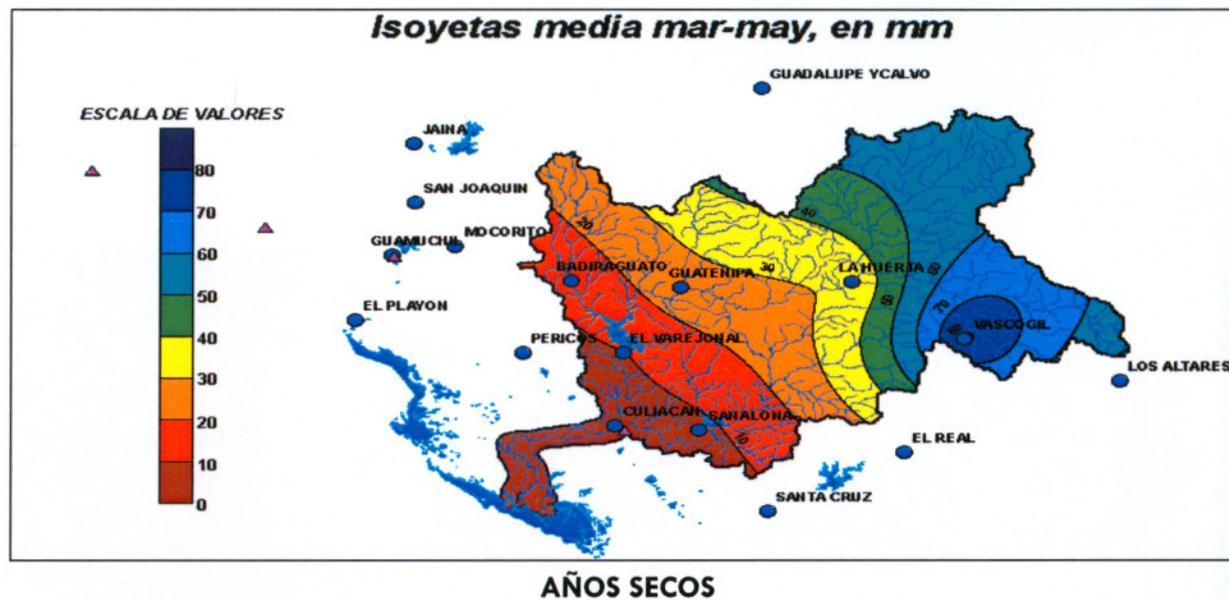
ESTACION EL REAL		
MES	MEDIA	M. ACUM
marzo	12.9	12.9
abril	11.7	24.6
mayo	2.3	26.9
ANUAL	795.3	

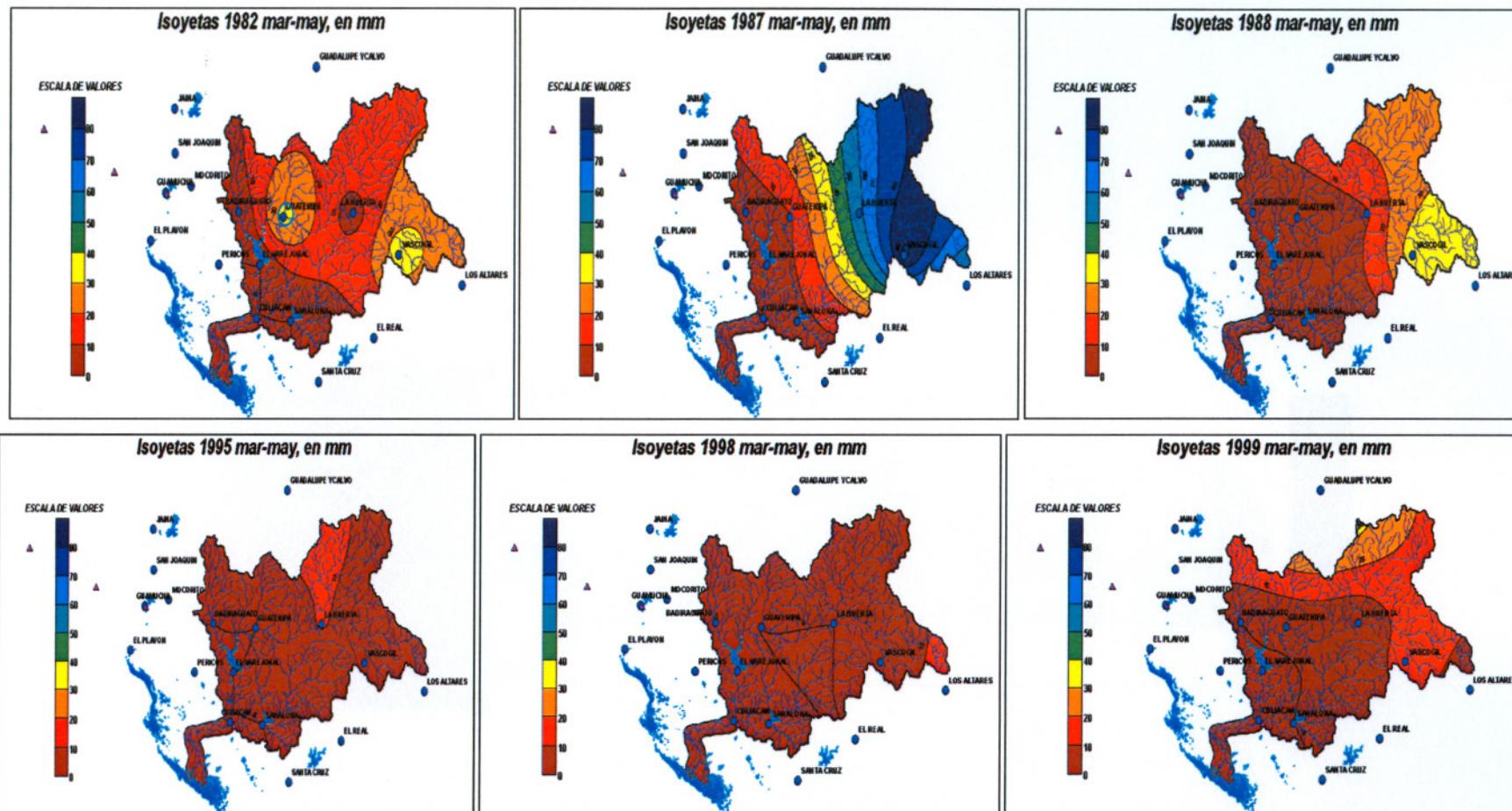
ESTACION EL PLAYON		
MES	MEDIA	M. ACUM
marzo	1.3	1.3
abril	1.3	2.6
mayo	2.7	5.3
ANUAL	443.9	

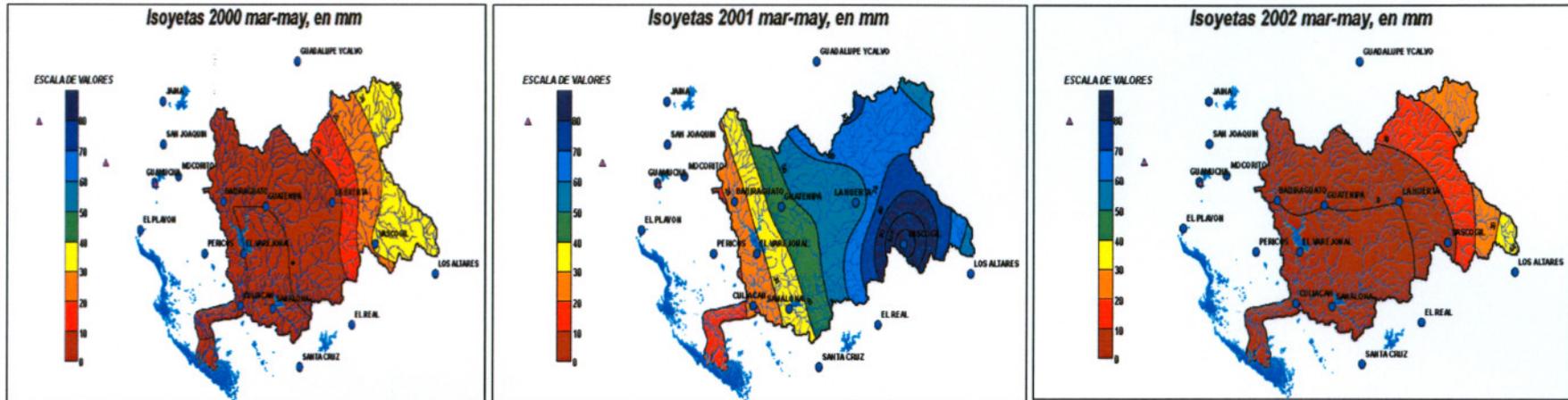
CION JAINA	
DIA	M. ACUM
1.3	6.3
1.2	10.4
1.7	15.1
912.1	

ESTACION GUAMUCHIL		
MES	MEDIA	M. ACUM
marzo	3.9	3.9
abril	1.5	5.3
mayo	0.2	5.5
ANUAL	638.6	

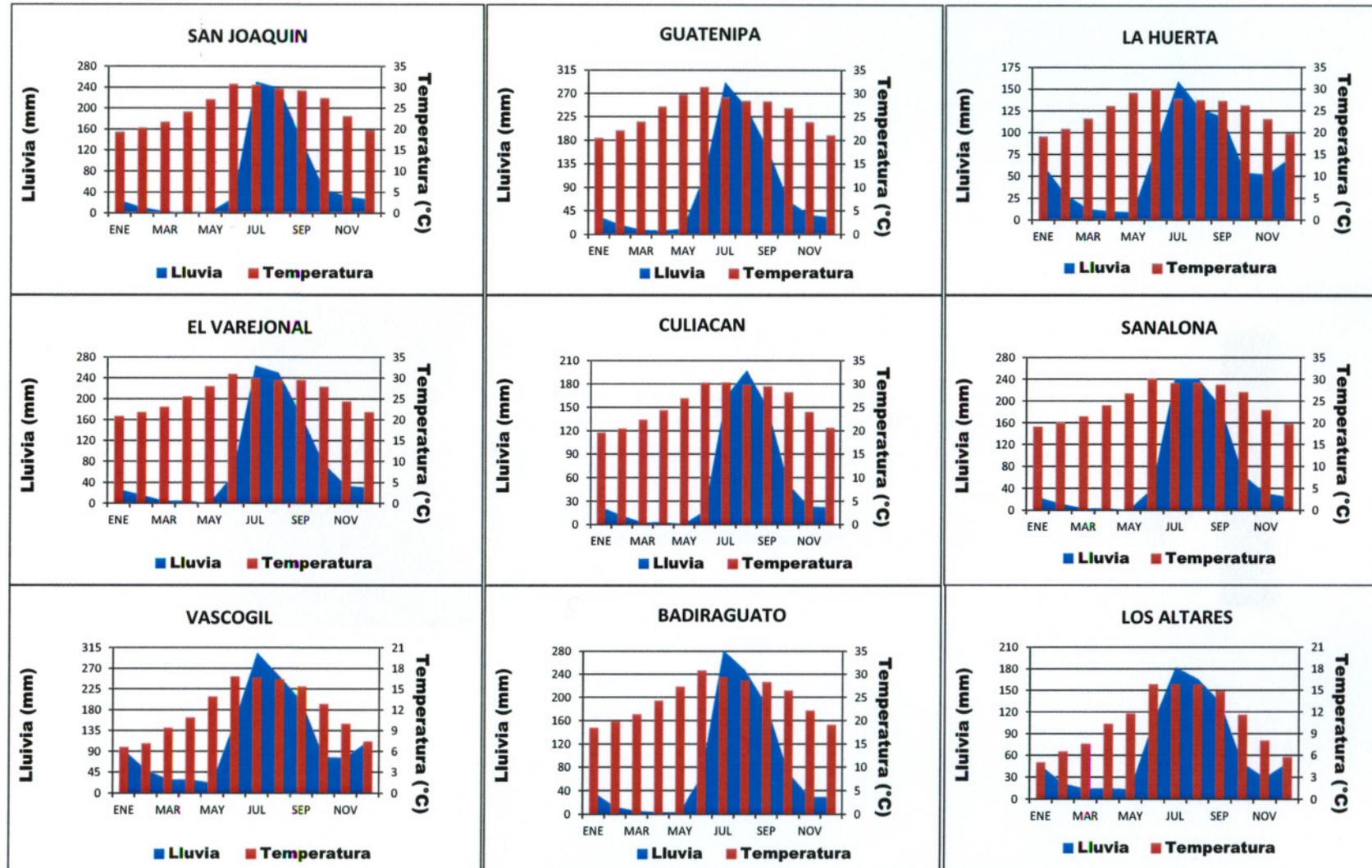
Anexo E8 Isoyetas de la normal climatológica de precipitación mensual acumulada en los tres meses más secos del año (mar-may) y para años seleccionados en la zona en estudio, período 1978-2008

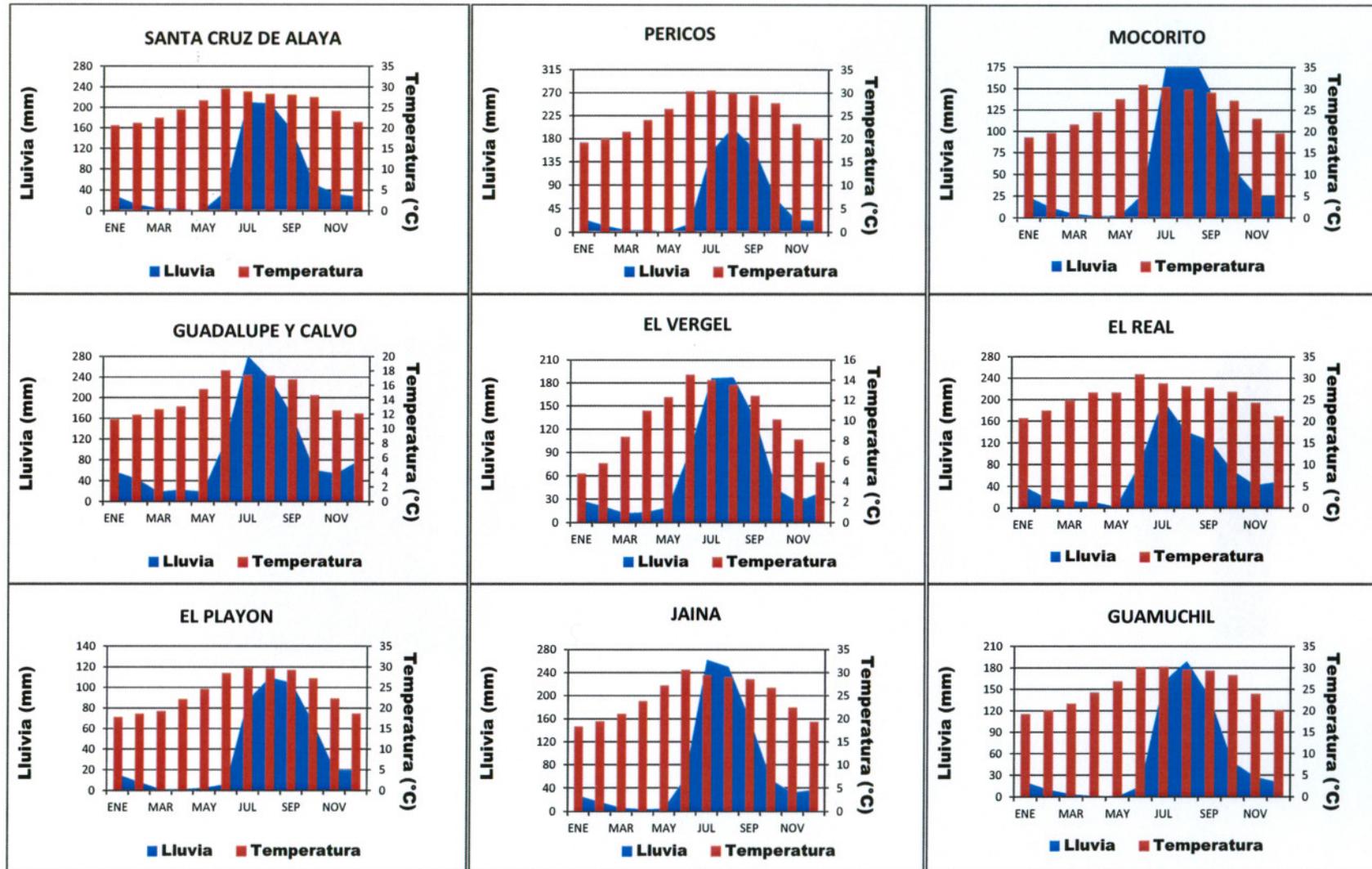






Anexo E9 climogramas de las estaciones seleccionadas en la zona en estudio, período 1978-2008





ANEXO D Precipitación media anual para la cuenca del río Culiacán, (3 métodos)
PROMEDIO ARITMETICO

SUBC RIO TAMAZULA		SUBC RIO HUMAYA		SUBC RIO CULIACAN		CUENCA RIO CULIACAN	
ESTACION	Hprec.(mm)	ESTACION	Hprec.(mm)	ESTACION	Hprec.(mm)	ESTACION	Hprec.(mm)
Sanalona	865.1	Badiraguato	935.4	El Varejonal	912	Los Altares	825
El Real	795.1	El Varejonal	912	Culiacan	665.1	Gpe y Calvo	1134.8
Santa Cruz	760.6	Guatenipa	1022.9	Sanalona	865.1	Badiraguato	935.4
El Varejonal	912	La Huerta	777.1	Santa Cruz	760.6	Culiacan	665.1
Guatenipa	1022.9	Gpe y Calvo	1134.8	Prom. (mm)	800.7	Guatenipa	1022.9
La Huerta	777.1	El Vergel	790.1			La Huerta	777.1
Vascogil	1355.7	Vascogil	1355.7			El Real	795.1
Prom. (mm)	926.928571	Los Altares	825			Sanalona	865.1
		Prom. (mm)	969.125			Santa Cruz	760.6
						El Varejonal	912
						Vascogil	1355.7
						El Vergel	790.1
						Prom. (mm)	903.241667

POLIGONOS DE THIESSEN

SUBCUENCA RIO TAMAZULA (3139.56 Km2)				SUBCUENCA RIO HUMAYA (10185.19 Km2)			
ESTACION	AREA (Km2)	Hprec.(mm)	A*Hp(mm)	ESTACION	AREA (Km2)	Hprec.(mm)	A*Hp(mm)
Sanalona	1065.29	865.1	921582.379	Badiraguato	1307.21	935.4	1222764.23
El Real	444.95	795.1	353779.745	El Varejonal	409.94	912	373865.28
Santa Cruz	9.63	760.6	7324.578	Guatenipa	2286.54	1022.9	2338901.77
El Varejonal	27.24	912	24842.88	La Huerta	2846.03	777.1	2211649.91
Guatenipa	284.03	1022.9	290534.287	Gpe y Calvo	194.66	1134.8	220900.168
La Huerta	1041.04	777.1	808992.184	El Vergel	559.73	790.1	442242.673
Vascogil	267.14	1355.7	362161.698	Vascogil	2167.43	1355.7	2938384.85
Promedio mm			882.040079	Los Altares	414.99	825	342366.75
							990.759685

SUBCUENCA RIO CULIACAN (2067.17 Km2)				CUENCA EN GENERAL (15391.92 Km2)			
ESTACION	AREA (Km2)	Hprec.(mm)	A*Hp(mm)	ESTACION	AREA (Km2)	Hprec.(mm)	A*Hp(mm)
El Varejonal	430.16	912	392305.92	Los Altares	414.99	825	342366.75
Culiacan	964.3	665.1	641355.93	Gpe y Calvo	194.66	1134.8	220900.168
Sanalona	562.39	865.1	486523.589	Badiraguato	1307.21	935.4	1222764.23
Santa Cruz	110.48	760.6	84031.088	Culiacan	964.3	665.1	641355.93
Promedio mm			776.044799	Guatenipa	2570.56	1022.9	2629425.82
				La Huerta	3887.07	777.1	3020642.1
				El Real	444.95	795.1	353779.745
				Sanalona	1627.68	865.1	1408105.97
				Santa Cruz	120.11	760.6	91355.666
				El Varejonal	867.34	912	791014.08
				Vascogil	2434.57	1355.7	3300546.55
				El Vergel	559.73	790.1	442242.673
				Promedio mm			939.746288



ISOYETAS

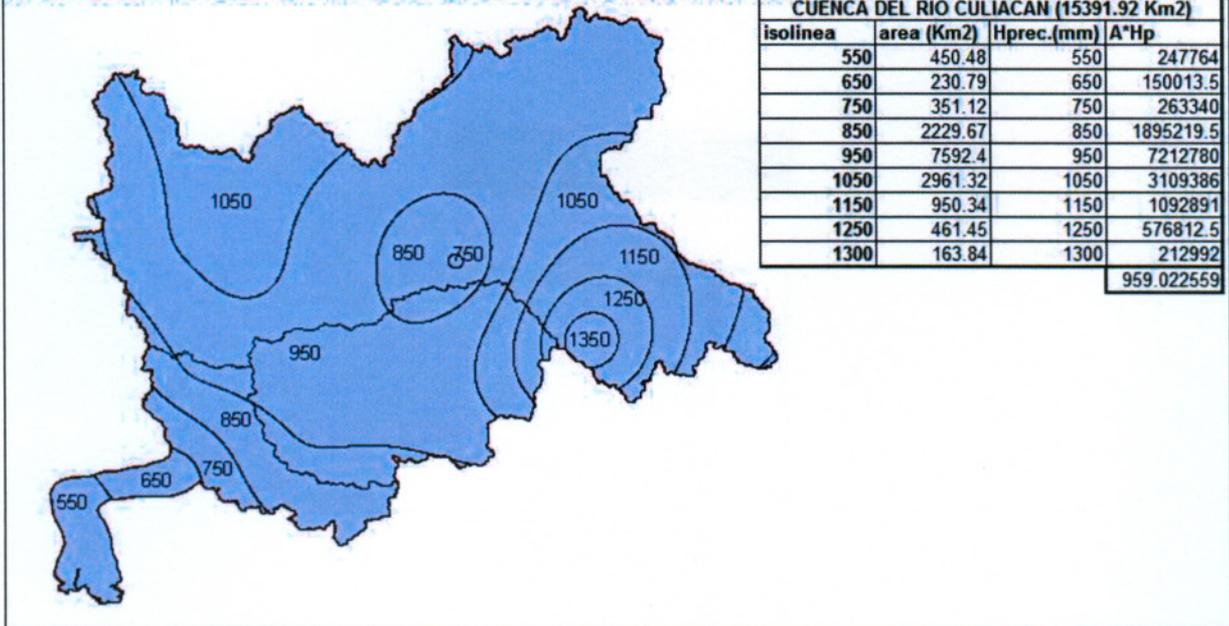
SUBCUENCA RIO HUMAYA (3139.56 Km2)				SUBCUENCA RIO TAMAZULA (10185.19 Km2)			
isolinea	area (Km2)	Hprec.(mm)	A*Hp	isolinea	area (Km2)	Hprec.(mm)	A*Hp
850	531.03	850	451375.5	750	11.23	750	8422.5
950	2112.97	950	2007321.5	850	776.41	850	659948.5
1050	329.91	1050	346405.5	950	5356.34	950	5088523
1150	142.55	1150	163932.5	1050	2631.32	1050	2762886
1250	23.12	1250	28900	1150	807.79	1150	928958.5
Promedio mm			954.890176	1250	438.33	1250	547912.5
				1300	163.84	1300	212992
				Promedio mm			1002.40084

SUBCUENCA RIO CULIACAN (2067.17 Km2)				CUENCA DEL RIO CULIACAN (15391.92 Km2)			
isolinea	area (Km2)	Hprec.(mm)	A*Hp	isolinea	area (Km2)	Hprec.(mm)	A*Hp
550	450.48	550	247764	550	450.48	550	247764
650	230.79	650	150013.5	650	230.79	650	150013.5
750	339.89	750	254917.5	750	351.12	750	263340
850	922.23	850	783895.5	850	2229.67	850	1895219.5
950	123.09	950	116935.5	950	7592.4	950	7212780
Promedio mm			751.523097	1050	2961.32	1050	3109386
				1150	950.34	1150	1092891
				1250	461.45	1250	576812.5
				1300	163.84	1300	212992
				Promedio mm			959.022559

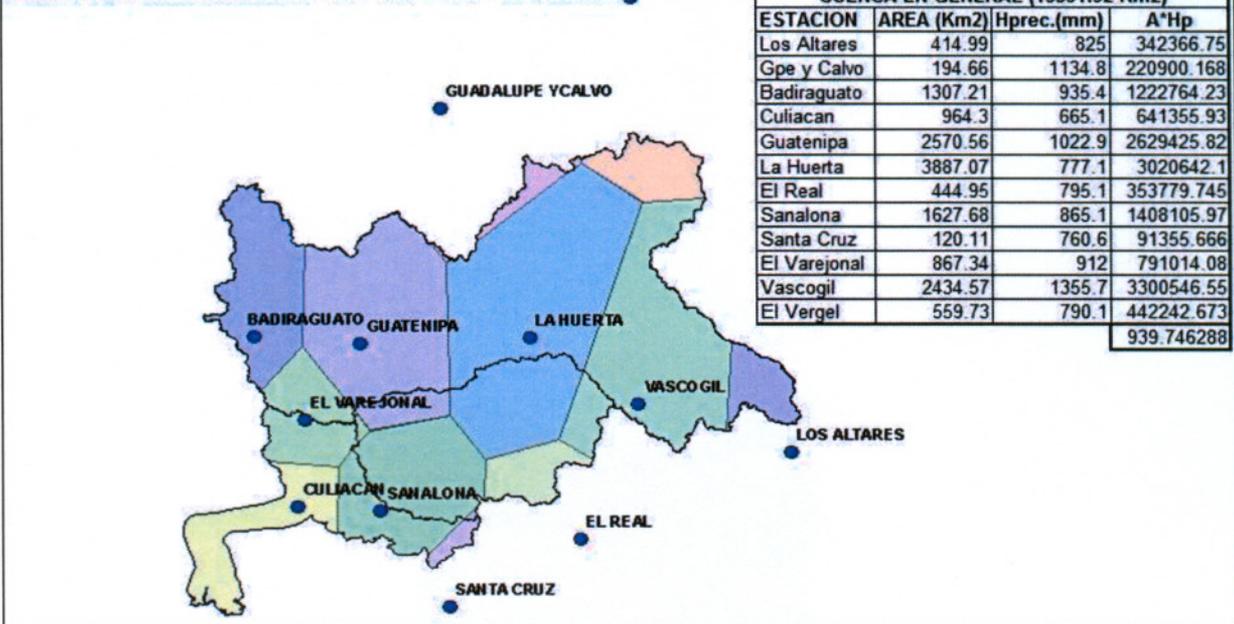
CUADRO RESUMEN DE VALORES DE PRECIPITACIÓN MEDIA

	PROMEDIO A.	THISENS	ISOYETAS
SHUMAYA	969.13	990.76	954.89
S.TAMAZULA	926.93	882.04	1002.4
S.CULIACAN	800.7	776.04	751.52
CUENCA CLN	903.24	939.75	959.03

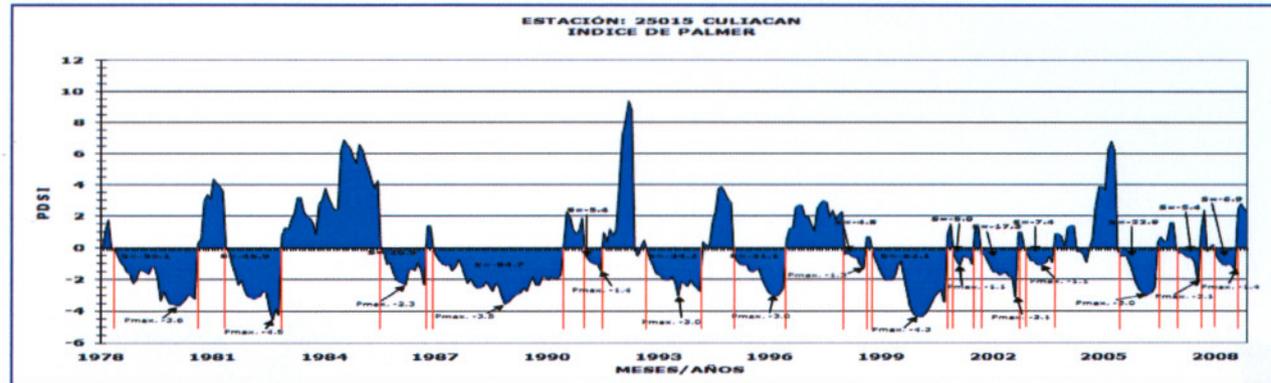
AREAS DE INFLUENCIA DE LAS ISOYETAS, PERIODO 1978-2008



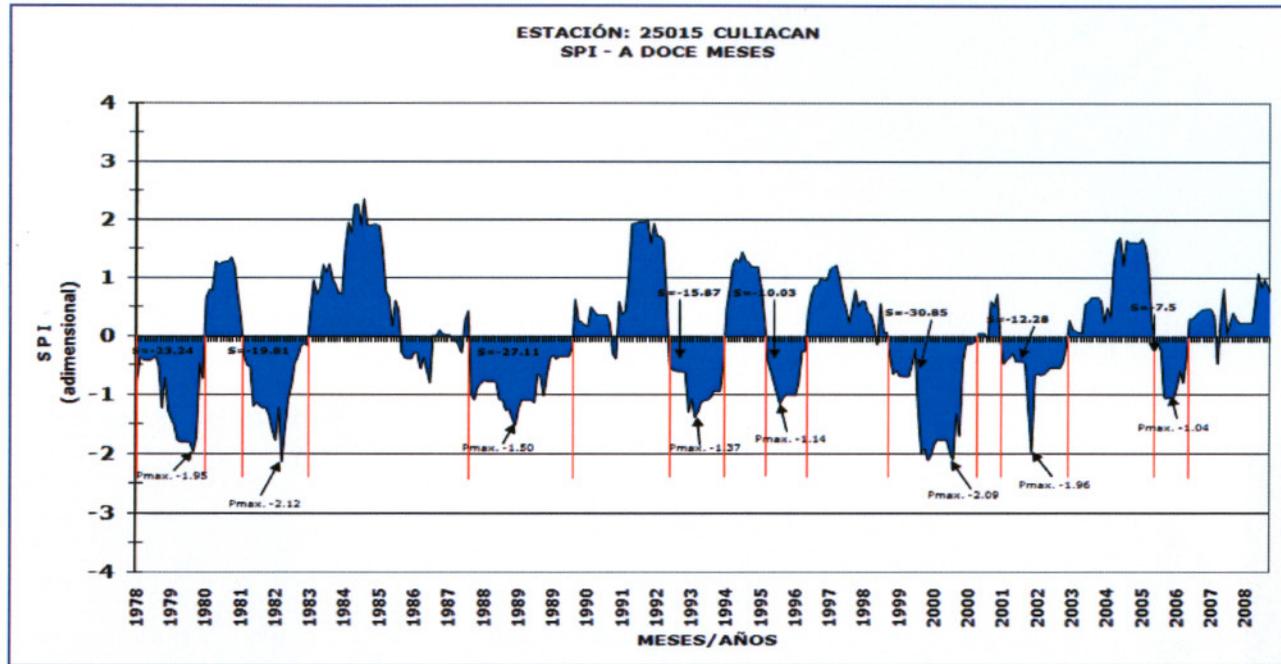
AREAS DE INFLUENCIA DE LAS ESTACIONES EN SUBCUENCAS



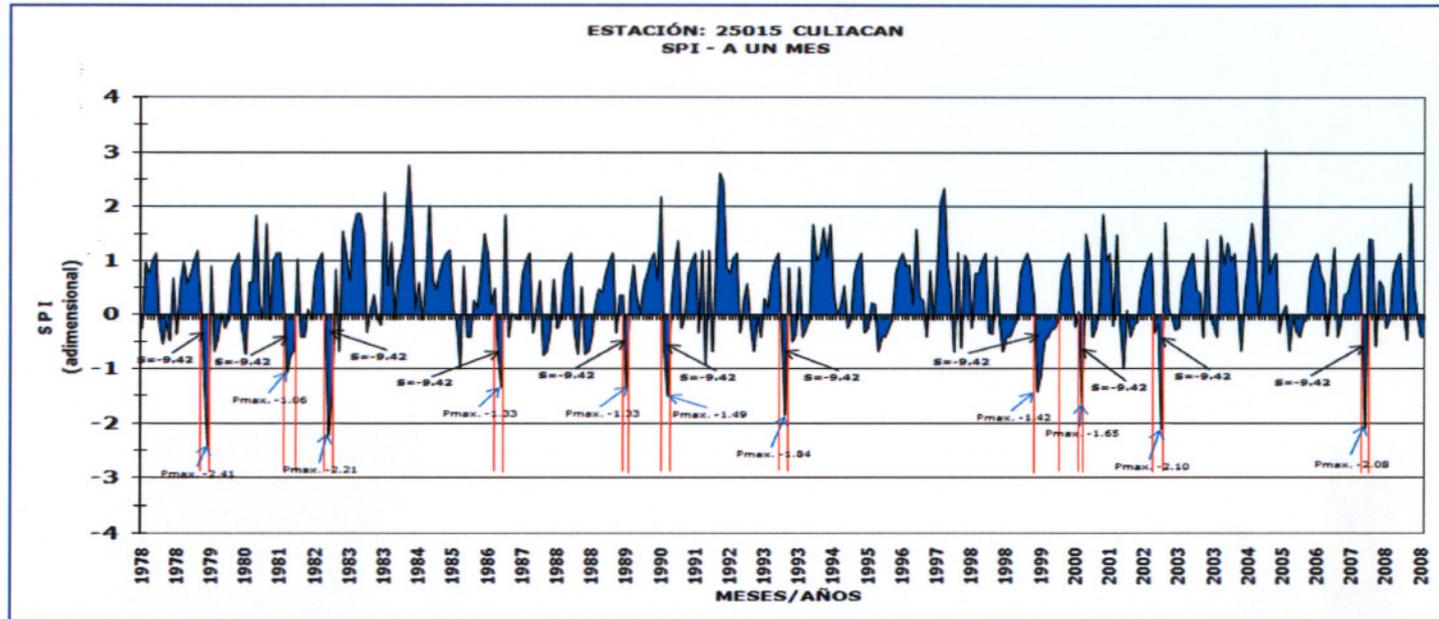
ANEXO E Características físicas de las sequías, mediante los índices SPI y PDSI ESTACION CULIACAN. *Tabla de características*



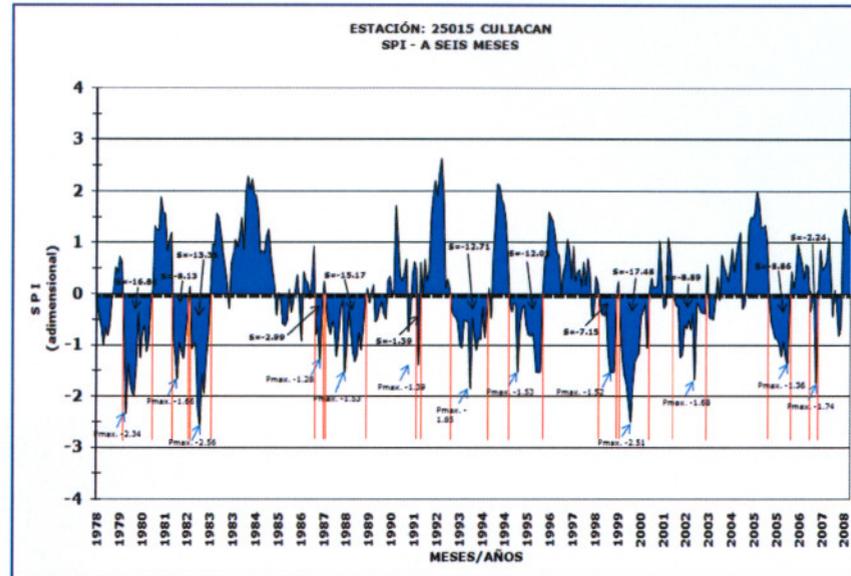
F. Inicio	F. Termino	Duración (D)	Severidad (S)	Intensidad (I)	Clasificación	Frecuencia (F)	Ni	P máximo	V imp.	Desfasamiento
Junio 1978	Julio 1980	26	-59.1	-2.27	s. moderada	Sequia Moderada	9.00	-3.60	25.00	5.00
Junio 1981	Octubre 1982	17	-46.9	-2.76	s. moderada			-4.50	15.00	10.00
Agosto 1985	Sept. 1986	14	-20.9	-1.49	s. incipiente			-2.30	8.00	33.00
Dic. 1986	Mayo 1990	42	-84.7	-2.02	s. moderada			-3.50	24.00	2.00
Enero 1991	Junio 1991	6	-5.4	-0.90	normal	Sequia Incipiente		-1.40	6.00	7.00
Sept. 1992	Febrero 1994	18	-34.2	-1.90	s. incipiente			-3.00	11.00	14.00
Enero 1995	Mayo 1996	17	-31.1	-1.83	s. incipiente			-3.00	14.00	10.00
Enero 1998	Julio 1998	7	-4.8	-0.69	normal			-1.30	7.00	19.00
Octubre 1998	Sept. 2000	24	-62.1	-2.59	s. moderada	Normalidad Hídrica		-4.30	15.00	2.00
Dic. 2000	Junio 2001	7	-5	-0.71	normal			-1.10	3.00	2.00
Sept. 2001	Agosto 2002	12	-17.3	-1.44	s. incipiente			-3.10	12.00	2.00
Dic. 2002	Agosto 2003	9	-7.4	-0.82	normal			-1.10	5.00	3.00
Junio 2005	Mayo 2006	12	-22.9	-1.91	s. incipiente	Normalidad Hídrica	-3.00	9.00	21.00	
Dic. 2006	Julio 2007	8	-5.4	-0.68	normal		-2.10	8.00	6.00	
Enero 2008	Julio 2008	7	-6.9	-0.99	normal		-1.40	7.00	5.00	



SPI A 12 MESES											
Periodo	F. Inicio	F. Termino	Duración (D)	Severidad (S)	Intensidad (I)	Clasificación	Frecuencia (F)	Nt	P máximo	V imp.	Desfasamiento
1978 - 1980	Dic. 1978	Sept. 1980	22	-23.24	-1.06	s. incipiente	2	2.00	-1.95	19.00	11.00
1981 - 1983	Octubre 1981	Junio 1983	21	-19.81	-0.94	normal			-2.12	13.00	12.00
1987 - 1990	Octubre 1987	Junio 1990	33	-27.11	-0.82	normal			-1.50	15.00	51.00
1993 - 1994	Enero 1993	Junio 1994	18	-15.87	-0.88	normal			-1.37	9.00	30.00
1995 - 1996	Agosto 1995	Agosto 1996	13	-10.03	-0.77	normal			-1.14	5.00	13.00
1998 - 2001	Nov. 1998	Febrero 2001	28	-30.85	-1.10	s. incipiente			-2.09	13.00	26.00
2001 - 2003	Octubre 2001	Julio 2003	22	-12.28	-0.56	normal			-1.96	11.00	7.00
2005 - 2006	Nov. 2005	Sept. 2006	11	-7.5	-0.68	normal			-1.04	5.00	27.00
SPI A 1 MES											

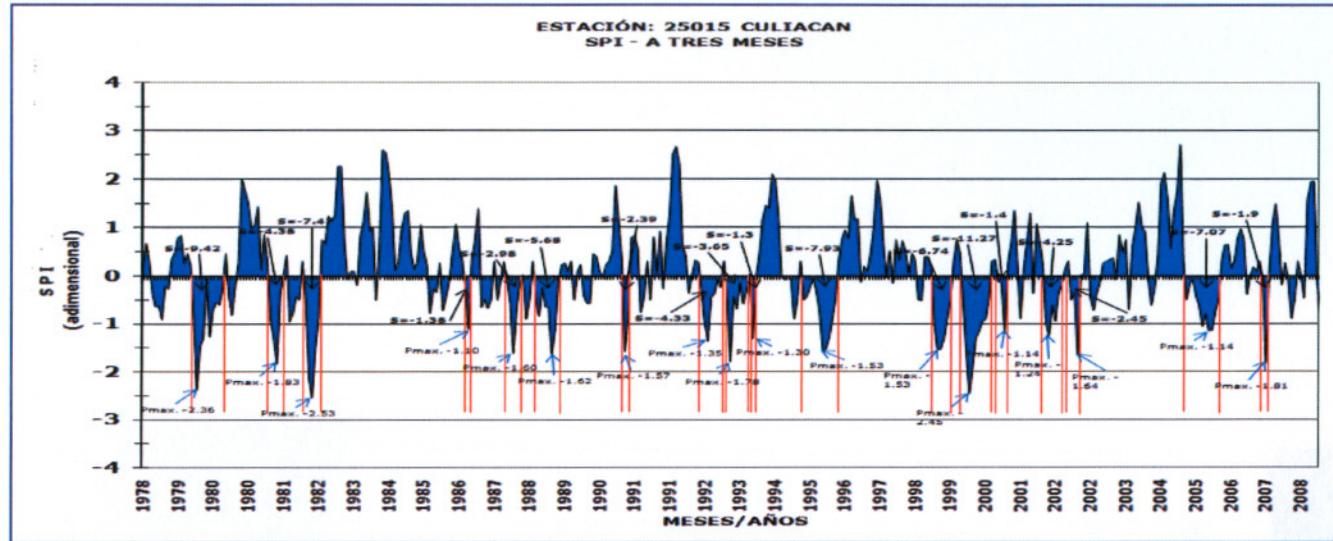


Periodo	F. Inicio	F. Término	Duración (D)	Severidad (S)	Intensidad (I)	Clasificación	Frecuencia (F)	Ni	P máximo	V imp.	Desfasamiento
1979 - 1979	Julio 1979	Agosto 1979	2	-3.52	-1.76	s. incipiente	Sequía Moderada	8.00	-2.41	2.00	18.00
1981 - 1981	Julio 1981	Sept. 1981	3	-2.47	-0.82	normal			-1.06	1.00	22.00
1982 - 1982	Junio 1982	Agosto 1982	3	-3.91	-1.30	s. incipiente			-2.21	2.00	8.00
1986 - 1986	Agosto 1986	Sept. 1986	2	-2.05	-1.03	s. incipiente			-1.33	2.00	47.00
1989 - 1989	Sept. 1989	Sept. 1989	1	-1.33	-1.33	s. incipiente			-1.33	1.00	35.00
1990 - 1990	Agosto 1990	Sept. 1990	2	-2.11	-1.06	s. incipiente			-1.49	2.00	10.00
1993 - 1993	Junio 1993	Julio 1993	2	-2.16	-1.08	s. incipiente			-1.84	2.00	32.00
1999 - 2000	Agosto 1999	Febrero 2000	7	-4	-0.57	normal			-1.42	1.00	72.00
2000 - 2000	Sept. 2000	Sept. 2000	1	-1.65	-1.65	s. incipiente			-1.65	1.00	6.00
2002 - 2002	Junio 2002	Agosto 2002	3	-2.56	-0.85	normal			-2.10	3.00	20.00
2007 - 2007	Julio 2007	Julio 2007	1	-2.08	-2.08	s. moderada	-2.08	1.00	58.00		



SPI A 6 MESES											
Periodo	F. Inicio	F. Termino	Duración (D)	Severidad (S)	Intensidad (I)	Clasificación	Frecuencia (F)	Ni	P máximo	V imp.	Desfasamiento
1979 - 1980	Julio 1979	Agosto 1980	14	-16.82	-1.20	s. incipiente	Sequía incipiente	5.00	-2.34	2.00	13.00
1981 - 1982	Julio 1981	Febrero 1982	8	-8.13	-1.02	s. incipiente			-1.66	3.00	10.00
1982 - 1982	Abril 1982	Dic. 1982	9	-13.35	-1.48	s. incipiente			-2.56	5.00	1.00
1987 - 1987	Abril 1987	Julio 1987	4	-2.99	-0.75	normal			-1.28	3.00	51.00
1987 - 1989	Sept. 1987	Abril 1989	20	-15.17	-0.76	normal			-1.53	10.00	1.00
1991 - 1991	Junio 1991	Junio 1991	1	-1.39	-1.39	s. incipiente			-1.39	1.00	25.00
1992 - 1994	Octubre 1992	Marzo 1994	18	-12.71	-0.71	normal			-1.85	10.00	15.00
1995 - 1996	Febrero 1995	Junio 1996	17	-12.05	-0.71	normal			-1.53	5.00	10.00
1998 - 1999	Octubre 1998	Junio 1999	9	-7.15	-0.79	normal			-1.52	6.00	27.00
1999 - 2000	Agosto 1999	Sept. 2000	14	-17.48	-1.25	s. incipiente			-2.51	6.00	1.00
2001 - 2003	Octubre 2001	Enero 2003	16	-8.89	-0.56	normal	Normalidad Hídrica	-1.68	11.00	12.00	
2005 - 2006	Agosto 2005	Junio 2006	10	-8.86	-0.89	normal		-1.36	9.00	30.00	
2007 - 2007	Abril 2007	Julio 2007	4	-2.24	-0.56	normal		-1.74	4.00	9.00	

SPI A 3 MESES											
Periodo	F. Inicio	F. Termino	Duración (D)	Severidad (S)	Intensidad (I)	Clasificación	Frecuencia (F)	Ni	P máximo	V imp.	Desfasamiento
1979 - 1980	Julio 1979	Abril 1980	10	-9.42	-0.94	normal	Sequía Incipiente 6	6.00	-2.36	2.00	16.00
1981 - 1981	Julio 1981	Octubre 1981	4	-4.38	-1.10	s. incipiente			-1.83	3.00	14.00
1982 - 1982	Junio 1982	Octubre 1982	5	-7.47	-1.49	s. incipiente			-2.53	3.00	7.00
1986 - 1986	Agosto 1986	Sept. 1986	2	-1.38	-0.69	normal			-1.10	2.00	45.00
1987 - 1988	Sept. 1987	Enero 1988	5	-2.98	-0.60	normal			-1.60	3.00	11.00
1988 - 1989	Junio 1988	Enero 1989	8	-5.68	-0.71	normal			-1.62	6.00	4.00
1990 - 1990	Octubre 1990	Nov. 1990	2	-2.39	-1.20	s. incipiente			-1.57	1.00	20.00
1992 - 1993	Octubre 1992	Abril 1993	7	-3.65	-0.52	normal			-1.35	3.00	22.00
1993 - 1993	Junio 1993	Dic. 1993	7	-4.33	-0.62	normal			-1.78	2.00	1.00
1994 - 1994	Febrero 1994	Febrero 1994	1	-1.3	-1.30	s. incipiente			-1.30	1.00	1.00
1995 - 1996	Junio 1995	Abril 1996	11	-7.93	-0.72	normal			-1.53	7.00	15.00
1998 - 1999	Nov. 1998	Abril 1999	6	-6.74	-1.12	s. incipiente			-1.53	2.00	30.00
1999 - 2000	Agosto 1999	Abril 2000	9	-11.27	-1.25	s. incipiente	-2.45	3.00	3.00		
2000 - 2000	Julio 2000	Sept. 2000	3	-1.4	-0.47	normal	-1.14	3.00	2.00		
2001 - 2002	Octubre 2001	Marzo 2002	6	-4.25	-0.71	normal	-1.24	2.00	12.00		
2002 - 2002	Junio 2002	Agosto 2002	3	-2.45	-0.82	normal	-1.64	3.00	2.00		
2005 - 2006	Junio 2005	Abril 2006	11	-7.07	-0.64	normal	-1.14	8.00	33.00		
2007 - 2007	Junio 2007	Julio 2007	2	-1.9	-0.95	normal	-1.81	2.00	13.00		
							Normalidad Hídrica 12				



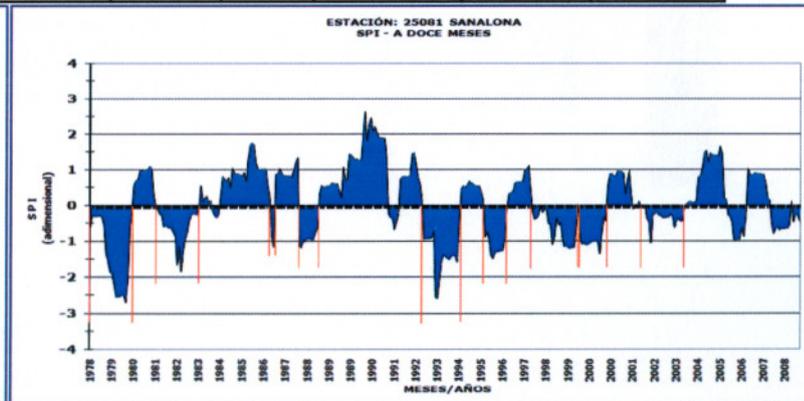
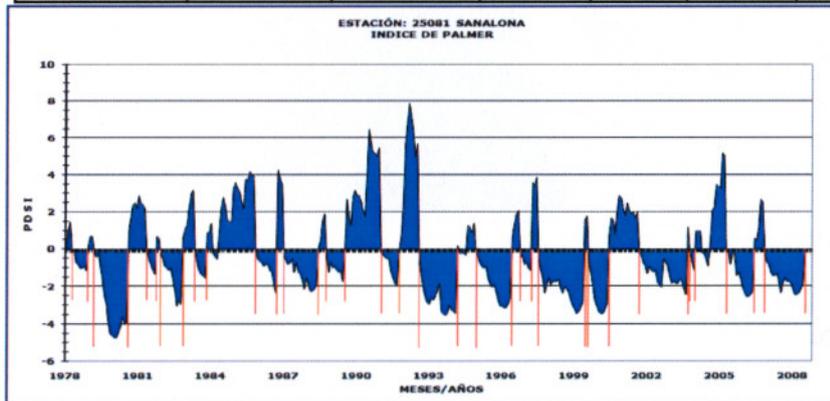
ESTACION SANALONA. Tabla de características

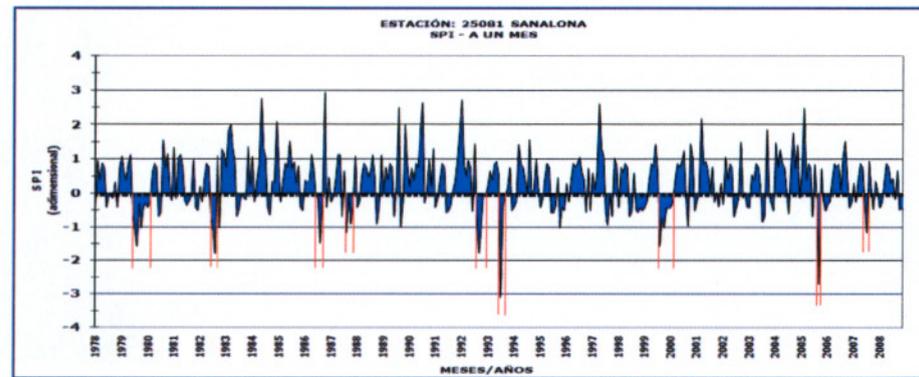
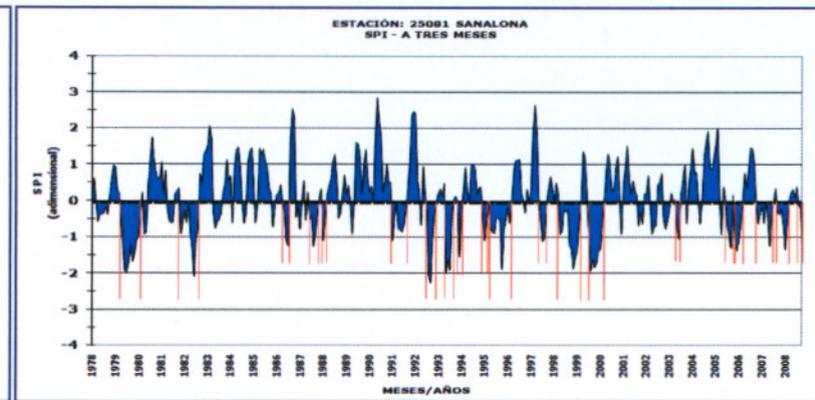
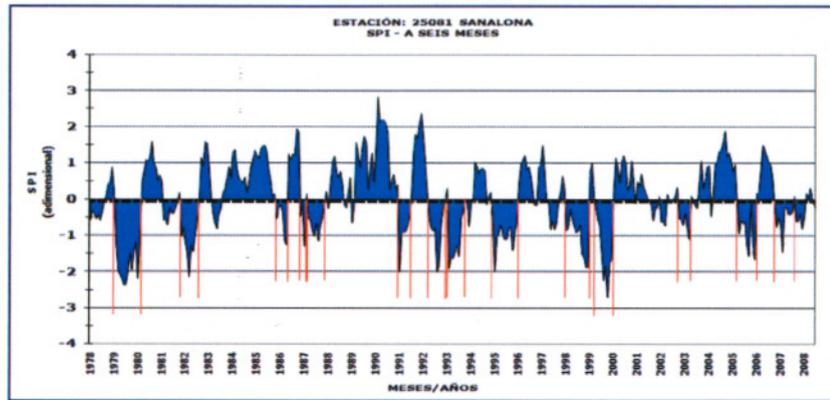
PDSI											
Periodo	F. Inicio	F. Termino	Duración (D)	Severidad (S)	Intensidad (I)	Clasificación	Frecuencia (F)	Nr	P máximo	V imp.	Desfasamiento
1978 - 1978	Mayo 1978	Nov. 1978	7	-5.6	-0.80	normal	Sequia Moderada 4	13.00	-1.10	7.00	4.00
1979 - 1980	Marzo 1979	Julio 1980	17	-50.9	-2.99	s. moderada			-4.70	11.00	3.00
1981 - 1981	Mayo 1981	Sept. 1981	5	-3.8	-0.76	normal			-1.30	5.00	9.00
1981 - 1982	Dic. 1981	Octubre 1982	11	-17.2	-1.56	s. incipiente			-3.00	9.00	2.00
1983 - 1983	Junio 1983	Octubre 1983	5	-6	-1.20	s. incipiente			-1.50	5.00	7.00
1985 - 1986	Dic. 1985	Sept. 1986	10	-10.7	-1.07	s. incipiente			-2.30	10.00	25.00
1987 - 1988	Enero 1987	Mayo 1988	17	-22.9	-1.35	s. incipiente			-2.20	14.00	3.00
1988 - 1989	Octubre 1988	Junio 1989	9	-9.4	-1.04	s. incipiente			-1.70	9.00	4.00
1991 - 1991	Enero 1991	Sept. 1991	9	-8.2	-0.91	normal			-1.90	9.00	18.00
1992 - 1994	Agosto 1992	Febrero 1994	19	-50.4	-2.65	s. moderada			-3.50	14.00	10.00
1995 - 1996	Enero 1995	Mayo 1996	17	-33.7	-1.98	s. incipiente			-3.10	14.00	10.00
1996 - 1997	Octubre 1996	Marzo 1997	6	-4.3	-0.72	normal			-1.10	6.00	4.00
1997 - 1999	Julio 1997	Mayo 1999	23	-49.7	-2.16	s. moderada			-3.40	20.00	3.00
1999 - 2000	Agosto 1999	mayo 2000	10	-25.9	-2.59	s. moderada	-3.40	7.00	2.00		
2001 - 2003	Sept. 2001	Agosto 2003	24	-31.7	-1.32	s. incipiente	-2.40	24.00	15.00		
2003 - 2003	Octubre 2003	Dic. 2003	3	-1.9	-0.63	normal	-1.10	3.00	1.00		
2005 - 2006	Abril 2005	Mayo 2006	14	-19.4	-1.39	s. incipiente	-2.50	11.00	15.00		
2006 - 2008	Nov. 2006	Junio 2008	20	-32.7	-1.64	s. incipiente	-2.40	16.00	5.00		

SPI A 12 MESES											
Periodo	F. Inicio	F. Termino	Duración (D)	Severidad (S)	Intensidad (I)	Clasificación	Frecuencia (F)	Nt	P máximo	V imp.	Desfasamiento
1978 - 1980	Dic. 1978	Sept. 1980	22	-29.67	-1.35	s. incipiente	Sequia Incipiente 3	3.00	-2.68	19.00	11.00
1981 - 1983	Octubre 1981	Junio 1983	21	-14.11	-0.67	normal			-1.83	13.00	12.00
1986 - 1986	Agosto 1986	Sept. 1986	2	-1.99	-1.00	normal			-1.15	2.00	37.00
1987 - 1988	Octubre 1987	Julio 1988	10	-9.31	-0.93	normal			-1.16	2.00	12.00
1993 - 1994	Enero 1993	Julio 1994	19	-25.97	-1.37	s. incipiente	Normalidad Hidrica 6	3.00	-2.58	8.00	53.00
1995 - 1996	Agosto 1995	Julio 1996	12	-12.77	-1.06	s. incipiente			-1.48	5.00	12.00
1997 - 1999	Agosto 1997	Junio 1999	23	-14.31	-0.62	normal			-1.19	20.00	12.00
1999 - 2000	Agosto 1999	Sept. 2000	14	-13.11	-0.94	normal			-1.35	11.00	1.00
2002 - 2003	Marzo 2002	Dic. 2003	22	-7.2	-0.33	normal			-1.04	6.00	17.00
SPI A 6 MESES											
Periodo	F. Inicio	F. Termino	Duración (D)	Severidad (S)	Intensidad (I)	Clasificación	Frecuencia (F)	Nt	P máximo	V imp.	Desfasamiento
1979 - 1980	Julio 1979	Julio 1980	13	-23.13	-1.78	s. incipiente	Sequia Incipiente 5	5.00	-2.35	5.00	18.00
1982 - 1982	Abril 1982	Dic. 1982	9	-10.76	-1.20	s. incipiente			-2.13	5.00	20.00
1986 - 1986	Abril 1986	Sept. 1986	6	-3.5	-0.58	normal			-1.23	6.00	39.00
1987 - 1987	Abril 1987	Junio 1987	3	-1.84	-0.61	normal			-1.28	3.00	6.00
1987 - 1988	Agosto 1987	Abril 1988	9	-5.9	-0.66	normal	Normalidad Hidrica 9	5.00	-1.13	6.00	1.00
1991 - 1991	Junio 1991	Nov. 1991	6	-5.85	-0.98	normal			-1.98	1.00	37.00
1992 - 1993	Sept. 1992	Mayo 1993	9	-7.59	-0.84	normal			-1.98	5.00	9.00
1993 - 1994	Julio 1993	Febrero 1994	8	-10.17	-1.27	s. incipiente			-1.89	1.00	1.00
1995 - 1996	Mayo 1995	Mayo 1996	13	-12.7	-0.98	normal	Normalidad Hidrica 9	5.00	-1.98	2.00	14.00
1998 - 1999	Junio 1998	Mayo 1999	12	-12.27	-1.02	s. incipiente			-1.85	11.00	24.00
1999 - 2000	Sept. 1999	Mayo 2000	9	-13.08	-1.45	s. incipiente			-2.69	7.00	3.00
2003 - 2003	Marzo 2003	Agosto 2003	6	-5.56	-0.93	normal			-1.08	6.00	33.00
2005 - 2006	Sept. 2005	Mayo 2006	9	-8.4	-0.93	normal	Normalidad Hidrica 9	5.00	-1.64	9.00	24.00
2007 - 2007	Marzo 2007	Dic. 2007	10	-5	-0.50	normal			-1.44	5.00	9.00
SPI A 3 MESES											
Periodo	F. Inicio	F. Termino	Duración (D)	Severidad (S)	Intensidad (I)	Clasificación	Frecuencia (F)	Nt	P máximo	V imp.	Desfasamiento
1979 - 1980	Junio 1979	Abril 1980	11	-14.01	-1.27	s. incipiente	Sequia Incipiente 6	6.00	-1.94	4.00	17.00
1982 - 1982	Junio 1982	Octubre 1982	5	-5.96	-1.19	s. incipiente			-2.06	3.00	25.00
1986 - 1986	Junio 1986	Sept. 1986	4	-2.59	-0.65	normal			-1.21	4.00	43.00
1987 - 1987	Agosto 1987	Dic. 1987	5	-3.28	-0.66	normal			-1.23	3.00	10.00
1988 - 1988	Marzo 1988	Abril 1988	2	-1.54	-0.77	normal	Normalidad Hidrica 6	6.00	-1.07	1.00	2.00
1991 - 1991	Marzo 1991	Abril 1991	2	-1.54	-0.77	normal			-1.07	1.00	34.00
1992 - 1993	Sept. 1992	Enero 1993	5	-5.8	-1.16	s. incipiente			-2.24	3.00	16.00
1993 - 1993	Julio 1993	Octubre 1993	4	-5.79	-1.45	s. incipiente			-1.95	1.00	5.00
1994 - 1994	Enero 1994	Marzo 1994	3	-1.76	-0.59	normal	Normalidad Hidrica 6	6.00	-1.52	2.00	2.00
1995 - 1995	Febrero 1995	Abril 1995	3	-1.97	-0.66	normal			-1.07	2.00	10.00
1995 - 1996	Junio 1995	Abril 1996	11	-7.69	-0.70	normal	Normalidad		-1.86	7.00	1.00

1997 - 1997	Agosto 1997	Nov. 1997	4	-2.73	-0.68	normal	Hídrica 14	-1.09	2.00	15.00
1998 - 1999	Junio 1998	Abril 1999	11	-10.17	-0.92	normal		-1.85	8.00	6.00
1999 - 2000	Sept. 1999	Abril 2000	8	-11.15	-1.39	s. incipiente		-1.92	2.00	4.00
2003 - 2003	Julio 2003	Agosto 2003	2	-1.78	-0.89	normal		-1.02	2.00	38.00
2005 - 2005	Sept. 2005	Nov. 2005	3	-2.89	-0.96	normal		-1.27	3.00	24.00
2006 - 2006	Enero 2006	Abril 2006	4	-4.1	-1.03	s. incipiente		-1.35	2.00	1.00
2007 - 2007	Junio 2007	Agosto 2007	3	-1.82	-0.61	normal		-1.23	2.00	13.00
2007 - 2008	Nov. 2007	Abril 2008	6	-3.34	-0.56	normal		-1.32	5.00	2.00
2008 - 2008	Octubre 2008	Dic. 2008	3	-1.47	-0.49	normal		-1.20	3.00	5.00

SPI A 1 MES											
Periodo	F. Inicio	F. Termino	Duración (D)	Severidad (S)	Intensidad (I)	Clasificación	Frecuencia (F)	Nt	P máximo	V imp.	Desfasamiento
1979 - 1980	Junio 1979	Febrero 1980	8	-5.78	-0.72	normal	Sequia Incipiente 3	3.00	-1.56	3.00	17.00
1982 - 1982	Junio 1982	Octubre 1982	5	-3.4	-0.68	normal			-1.78	3.00	27.00
1986 - 1986	Junio 1986	Sept. 1986	4	-1.8	-0.45	normal			-1.46	3.00	43.00
1987 - 1987	Agosto 1987	Nov. 1987	4	-2.4	-0.60	normal	-1.14		1.00	10.00	
1992 - 1992	Agosto 1992	Octubre 1992	3	-3.63	-1.21	s. incipiente	-1.76		2.00	56.00	
1993 - 1993	Julio 1993	Sept. 1993	3	-3.49	-1.16	s. incipiente	-3.09		1.00	8.00	
1999 - 2000	Agosto 1999	Febrero 2000	7	-4.74	-0.68	normal	-1.56		1.00	70.00	
2005 - 2005	Agosto 2005	Sept. 2005	2	-2.93	-1.47	s. incipiente	-2.69		2.00	65.00	
2007 - 2007	Junio 2007	Julio 2007	2	-1.44	-0.72	normal	-1.14		2.00	20.00	
							Normalidad Hídrica 6				





ESTACION EL VAREJONAL. *Tabla de características*

PDSI											
Periodo	F. Inicio	F. Termino	Duración (D)	Severidad (S)	Intensidad (I)	Clasificación	Frecuencia (F)	Nt	P máximo	V imp.	Desfasamiento
1979 - 1980	Abril 1979	Julio 1980	16	-32.9	-2.06	s. moderada	Sequia Severa 1	10.00	-3.40	16.00	15.00
1981 - 1982	Nov. 1981	Octubre 1982	12	-18.4	-1.53	s. incipiente			-3.00	10.00	15.00
1985 - 1986	Nov. 1985	Marzo 1986	5	-3.4	-0.68	normal			-1.10	5.00	36.00
1986 - 1986	Junio 1986	Sept. 1986	4	-3.5	-0.88	normal			-1.30	4.00	2.00
1986 - 1987	Nov. 1986	Junio 1987	8	-6	-0.75	normal			-1.40	8.00	1.00



Tesis: Caracterización y evaluación de escenarios por sequía en la cuenca y acuífero del río Culiacán

1987 - 1988	Sept. 1987	Junio 1988	10	-22.1	-2.21	s. moderada	Moderada 3		-2.80	6.00	2.00
1988 - 1988	Sept. 1988	Nov. 1988	3	-2.2	-0.73	normal			-1.30	3.00	2.00
1989 - 1990	Marzo 1989	Abril 1990	14	-13.3	-0.95	normal			-1.70	5.00	3.00
1992 - 1993	Junio 1992	Abril 1993	11	-20.7	-1.88	s. incipiente	Sequia Incipiente 6		-2.80	9.00	25.00
1993 - 1994	Dic. 1993	Junio 1994	7	-8	-1.14	s. incipiente			-1.70	7.00	7.00
1995 - 1996	Enero 1995	Abril 1996	16	-24.5	-1.53	s. incipiente			-2.90	14.00	6.00
1998 - 2000	Marzo 1998	Abril 2000	26	-81.5	-3.13	s. severa			-4.60	23.00	22.00
2000 - 2003	Julio 2000	Dic. 2003	42	-84.1	-2.00	s. moderada			-3.40	38.00	2.00
2005 - 2006	Agosto 2005	Abril 2006	9	-11.1	-1.23	s. incipiente	Normalidad Hídrica 6		-2.10	8.00	19.00
2006 - 2007	Nov. 2006	Julio 2007	9	-5.5	-0.61	normal			-1.40	9.00	6.00
2007 - 2008	Octubre 2007	Junio 2008	9	-9.6	-1.07	s. incipiente			-1.80	9.00	2.00

SPI A 12 MESES

Periodo	F. Inicio	F. Termino	Duración (D)	Severidad (S)	Intensidad (I)	Clasificación	Frecuencia (F)	Ni	P máximo	V imp.	Desfasamiento	
1979 - 1980	Sept. 1979	Sept. 1980	13	-17.36	-1.34	s. incipiente	Sequia Incipiente 3	3.00	-2.47	11.00	20.00	
1982 - 1983	Octubre 1982	Junio 1983	9	-6.85	-0.76	normal				-1.86	1.00	24.00
1992 - 1993	Dic. 1992	Agosto 1993	9	-10.77	-1.20	s. incipiente				-1.64	8.00	113.00
1995 - 1996	Agosto 1995	Octubre 1996	15	-12.38	-0.83	normal	Normalidad Hídrica 3			-1.31	5.00	23.00
1998 - 2001	Abril 1998	Febrero 2001	35	-44.63	-1.28	s. incipiente				-2.25	11.00	17.00
2001 - 2004	Junio 2001	Junio 2004	37	-35.6	-0.96	normal				-2.65	15.00	3.00

SPI A 6 MESES

Periodo	F. Inicio	F. Termino	Duración (D)	Severidad (S)	Intensidad (I)	Clasificación	Frecuencia (F)	Ni	P máximo	V imp.	Desfasamiento		
1979 - 1980	Agosto 1979	Julio 1980	12	-17.44	-1.45	s. incipiente	Sequia Incipiente 8	8.00	-2.12	6.00	19.00		
1982 - 1983	Abril 1982	Enero 1983	10	-11.18	-1.12	s. incipiente				-2.12	4.00	20.00	
1987 - 1987	Abril 1987	Junio 1987	3	-2.84	-0.95	normal				-1.80	3.00	50.00	
1987 - 1988	Sept. 1987	Junio 1988	10	-8.02	-0.80	normal				-2.06	6.00	2.00	
1989 - 1989	Junio 1989	Julio 1989	2	-1.43	-0.72	normal				-1.25	2.00	11.00	
1991 - 1991	Junio 1991	Agosto 1991	3	-2.11	-0.70	normal				-1.56	1.00	22.00	
1992 - 1993	Agosto 1992	Mayo 1993	10	-10.73	-1.07	s. incipiente				-1.94	6.00	11.00	
1994 - 1994	Mayo 1994	Junio 1994	2	-2.12	-1.06	s. incipiente				-1.20	2.00	11.00	
1995 - 1996	Mayo 1995	Junio 1996	14	-14.13	-1.01	s. incipiente	Normalidad Hídrica 5			-2.74	11.00	10.00	
1998 - 1999	Junio 1998	Mayo 1999	12	-19.02	-1.59	s. incipiente				-2.21	6.00	23.00	
1999 - 2000	Julio 1999	Mayo 2000	11	-14.57	-1.32	s. incipiente				-2.01	6.00	1.00	
2001 - 2003	Sept. 2001	Dic. 2003	28	-22.24	-0.79	normal				-1.86	12.00	15.00	
													53.00
2008 - 2008	Junio 2008	Junio 2008	1	-1.44	-1.44	s. incipiente				-1.44	1.00		

SPI A 3 MESES											
Periodo	F. Inicio	F. Termino	Duración (D)	Severidad (S)	Intensidad (I)	Clasificación	Frecuencia (F)	Nt	P máximo	V imp.	Desfasamiento
1979 - 1980	Agosto 1979	Julio 1980	12	-12.96	-1.08	s. incipiente	Sequia Incipiente 4	4.00	-2.06	5.00	19.00
1982 - 1982	Enero 1982	Octubre 1982	10	-8.89	-0.89	normal			-2.13	8.00	17.00
1987 - 1988	Octubre 1987	Mayo 1988	8	-6.96	-0.87	normal			-2.35	2.00	59.00
1988 - 1988	Nov. 1988	Dic. 1988	2	-1.14	-0.57	normal			-1.11	1.00	5.00
1989 - 1989	Mayo 1989	Julio 1989	3	-2.47	-0.82	normal			-1.38	3.00	4.00
1992 - 1993	Agosto 1992	Enero 1993	10	-6.66	-0.67	normal			-2.11	3.00	36.00
1994 - 1994	Febrero 1994	Abril 1994	3	-1.87	-0.62	normal			-1.30	1.00	8.00
1995 - 1996	Marzo 1995	Mayo 1996	15	-12.48	-0.83	normal			-2.63	10.00	10.00
1998 - 1999	Abril 1998	Mayo 1999	13	-15.47	-1.19	s. incipiente			-2.14	4.00	23.00
1999 - 2000	Agosto 1999	Mayo 2000	10	-12.11	-1.21	s. incipiente			-1.85	6.00	2.00
2000 - 2000	Sept. 2000	Octubre 2000	2	-1.37	-0.69	normal			-1.14	1.00	3.00
2001 - 2001	Febrero 2001	Febrero 2001	1	-1.03	-1.03	s. incipiente			-1.03	1.00	3.00
2001 - 2002	Sept. 2001	Enero 2002	5	-3.05	-0.61	normal			-1.25	3.00	6.00
2002 - 2003	Mayo 2002	Marzo 2003	11	-7.21	-0.66	normal			-1.78	4.00	3.00
2003 - 2003	Junio 2003	Octubre 2003	5	-3.18	-0.64	normal	-1.37	3.00	2.00		
2005 - 2006	Junio 2005	Abril 2006	11	-6.38	-0.58	normal	-1.15	1.00	19.00		
2008 - 2008	Marzo 2008	Junio 2008	4	-2.92	-0.73	normal	-1.15	1.00	22.00		
2008 - 2008	Nov. 2008	Dic. 2008	2	-1.34	-0.67	normal	-1.16	2.00	4.00		
							Normalidad Hídrica 14				

SPI A 1 MES											
Periodo	F. Inicio	F. Termino	Duración (D)	Severidad (S)	Intensidad (I)	Clasificación	Frecuencia (F)	Nt	P máximo	V imp.	Desfasamiento
1979 - 1980	Agosto 1979	Febrero 1980	7	-5.01	-0.72	normal	Sequia Moderada 1	10.00	-1.53	3.00	19.00
1980 - 1980	Junio 1980	Julio 1980	2	-1.66	-0.83	normal			-1.03	2.00	3.00
1982 - 1982	Junio 1982	Agosto 1982	3	-3.69	-1.23	s. incipiente			-1.75	2.00	22.00
1982 - 1982	Octubre 1982	Octubre 1982	1	-1.17	-1.17	s. incipiente			-1.17	1.00	1.00
1987 - 1987	Sept. 1987	Nov. 1987	3	-3.25	-1.08	s. incipiente			-1.87	1.00	58.00
1988 - 1988	Sept. 1988	Nov. 1988	3	-2.07	-0.69	normal			-1.29	2.00	9.00
1989 - 1989	Junio 1989	Julio 1989	2	-1.78	-0.89	normal			-1.29	2.00	6.00
1989 - 1989	Sept. 1989	Octubre 1989	2	-1.64	-0.82	normal			-1.01	2.00	1.00
1992 - 1992	Agosto 1992	Sept. 1992	2	-4.24	-2.12	s. moderada			-2.48	2.00	33.00
1995 - 1996	Octubre 1995	Febrero 1996	5	-3.04	-0.61	normal			-1.53	1.00	36.00
1997 - 1997	Agosto 1997	Agosto 1997	1	-1.62	-1.62	s. incipiente	-1.62	1.00	17.00		
							Sequia Incipiente 9				

1997 - 1997	Octubre 1997	Octubre 1997	1	-1.08	-1.08	s. incipiente	Normalidad Hídrica 8	-1.08	1.00	1.00
1998 - 1998	Junio 1998	Agosto 1998	3	-3.7	-1.23	s. incipiente		-1.75	2.00	7.00
1999 - 2000	Julio 1999	Febrero 2000	8	-4.76	-0.60	normal		-1.02	1.00	10.00
2000 - 2000	Sept. 2000	Sept. 2000	1	-1.51	-1.51	s. incipiente		-1.51	1.00	6.00
2001 - 2001	Julio 2001	Julio 2001	1	-1.45	-1.45	s. incipiente		-1.45	1.00	9.00
2001 - 2001	Sept. 2001	Nov. 2001	3	-1.47	-0.49	normal		-1.33	1.00	1.00
2002 - 2002	Junio 2002	Julio 2002	3	-3.07	-1.02	s. incipiente		-1.22	2.00	6.00

