



Centro de  
Relevamiento y  
Evaluación de  
Recursos Agrícolas y  
Naturales



UNC



OCPN



# Webinar 20



**La determinación de escenarios por sequía: experiencias en su aplicación al área de influencia del Organismo de Cuenca Pacífico Norte, México.**

**Dr. José Carlos Douriet Cárdenas**  
Vicepresidente AMH - Sinaloa

25 de junio del 2020



Centro de  
Relevamiento y  
Evaluación de Recursos  
Agrícolas y Naturales



UNC

CONAGUA  
COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA

OCPN



Facultad de Ciencias Agropecuarias

*Escuela para Graduados*



# DETERMINACIÓN DE ESCENARIOS POR SEQUÍA MEDIANTE ANÁLISIS MULTIVARIABLE TEMPORAL USANDO REDES NEURONALES EN MÉXICO

*Presentación de tesis Doctoral*  
*MC. José Carlos Douriet Cardenas*

## Comisión Asesora de Tesis

Director  
**Dr. Andrés Ravelo**  
UNC, Argentina

Codirector  
**Dr. Aldo Iván Ramírez Orozco**  
ITSM, Monterrey, NL, México

Asesor de la Comisión  
**Dr. Carlos Marcelo García**  
UNC, Argentina

## Tribunal Examinador de Tesis

**Dra. Cruz Elisa Torrecillas**  
UAS, México

**Dr. Antonio de la Casa**  
UNC, Argentina

**Dr. Carlos Marcelo García**  
UNC, Argentina





# Contenido

## SECCIÓN 1

Introducción

## SECCIÓN 2

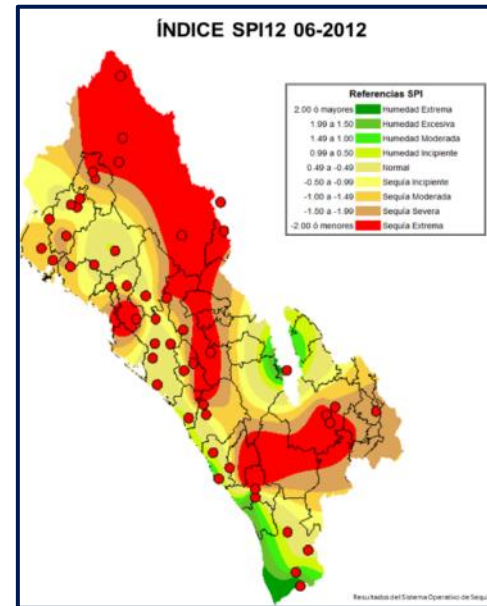
Materiales y Métodos

## SECCIÓN 3

Resultados y Discusión

## SECCIÓN 4

Conclusiones Generales



ESCENARIO  
METEOROLÓGICO

SEQUÍAS

ESCENARIO  
HIDROLÓGICO

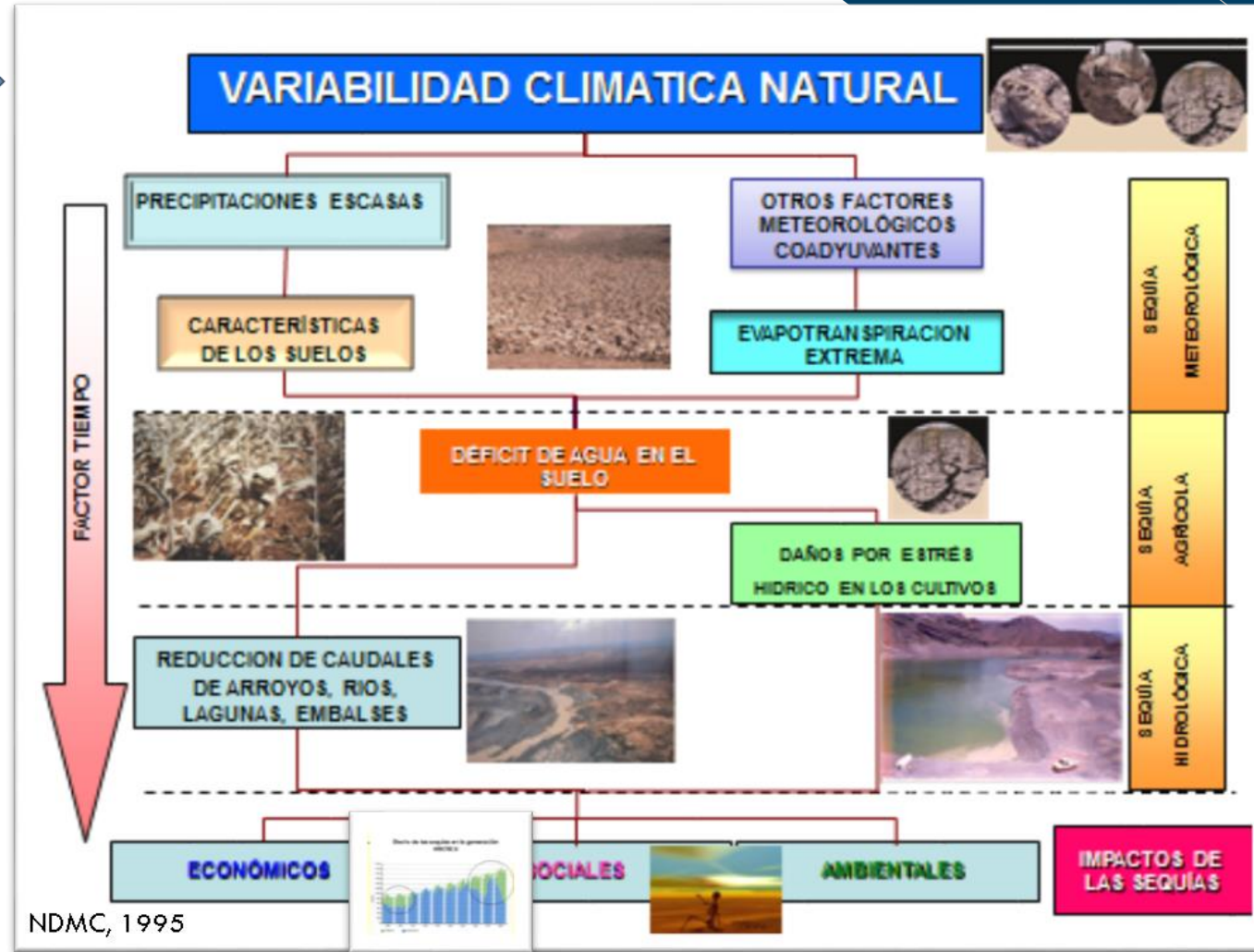


# Introducción

Fuente del agua: la lluvia



Incendios, desolación y desertificación



La sequía es un fenómeno natural tan complejo y devastador, que requiere de atención con soluciones de mitigación, prevención y adaptación con enfoque de la Gestión Integrada de cuencas (GIAC y GIACA).



# Problemática



23/01/2019 · SEQUÍA · 33 ♥ 1

Colombia podría obligar a pagar más a quienes desperdician agua en época de sequía



02/01/2019 · SEQUÍA · 48 ♥ 0

Kabul, amenazada por la sequía tras un grave descenso de las precipitaciones en 2018



30/11/2018 · AGRO · 111 ♥ 0

El bosque mediterráneo está seriamente afectado por el cambio climático y la sequía



29/11/2018 · AGRO · 104 ♥ 0

El cambio climático provoca que condiciones de calor y sequía se extiendan por el mundo



27/11/2018 · AGRO · 79 ♥ 0

La grave sequía en Afganistán empuja a las familias a casar a sus hijas por la dote



25/10/2018 · SEQUÍA · 126 ♥ 0

4.300 escuelas de Ciudad de México suspenden las clases por la escasez de agua



17/10/2018 · AGRO · 56 ♥ 0

La ONU asiste a 2,2 millones de afganos afectados por la sequía con 34,6 millones de dólares



16/10/2018 · AGRO · 171 ♥ 0

El suministro de cerveza, en peligro por las sequías y el cambio climático





# Condiciones Geográficas





# Disponibilidad



## ORGANISMOS DE CUENCA EN MEXICO

De acuerdo con los trabajos realizados por la CONAGUA, la INEGI y el INE, se han identificado 1,471 cuencas hidrográficas en el país, las cuales, para fines de publicación de la disponibilidad de aguas superficiales, se han agrupado y/o subdividido en 728 cuencas hidrológicas.

Las cuencas del país se encuentran organizadas en 37 regiones hidrológicas, y éstas a su vez están agrupadas en 13 Regiones Hidrológico-Administrativas.







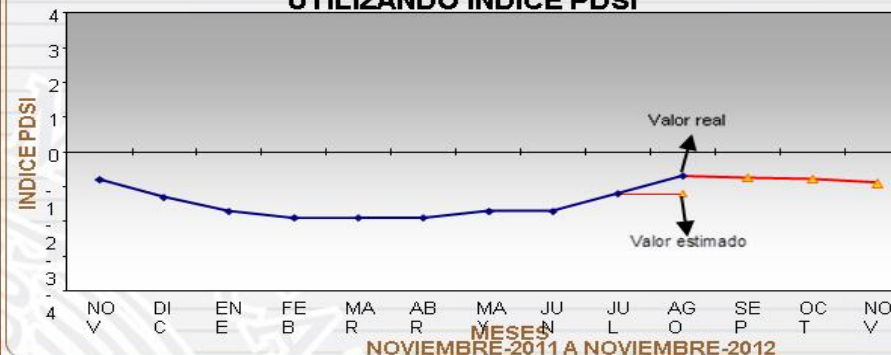
**SISTEMA OPERATIVO PARA EL MONITOREO, EVALUACIÓN Y PRONÓSTICO DE SEQUÍAS EN EL ÁMBITO DEL ORGANISMO DE CUENCA PACIFICO NORTE (OCPN / CNA)**



**PREMIA**

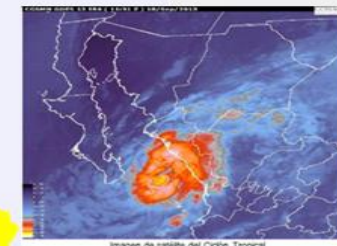
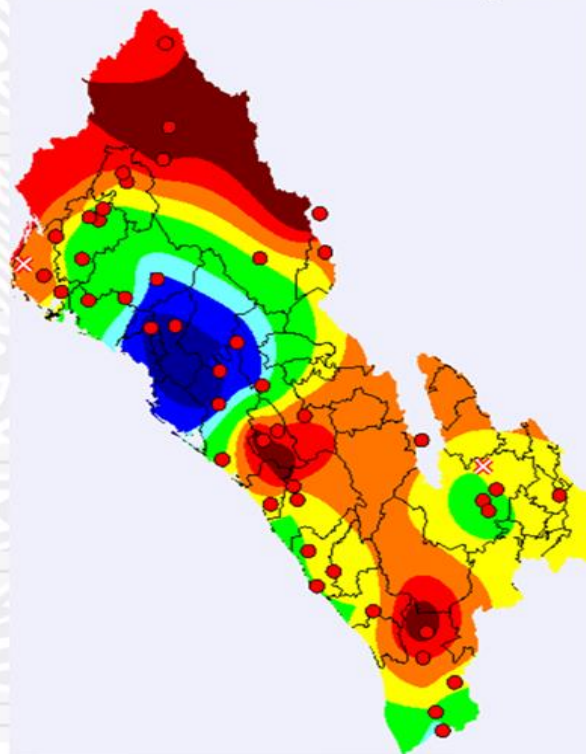
Proyecto de Fortalecimiento del Manejo Integrado del Agua

**ESTACION CULIACAN ESCENARIO SEP-OCT-NOV UTILIZANDO INDICE PDSI**



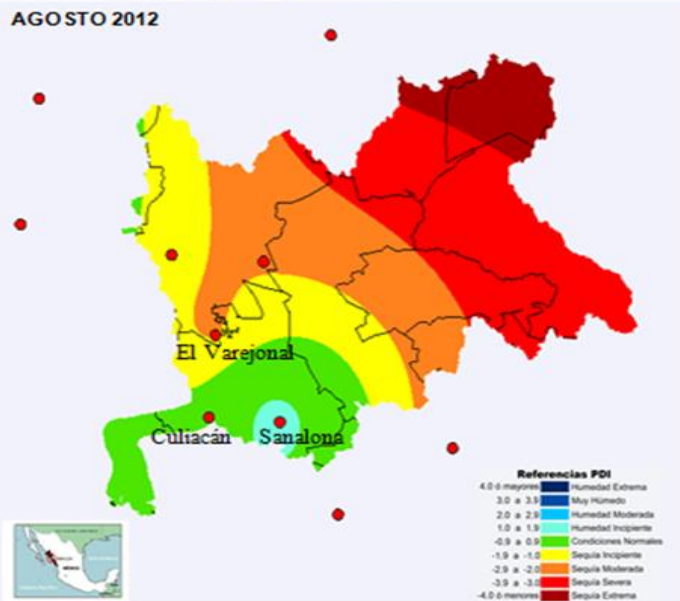
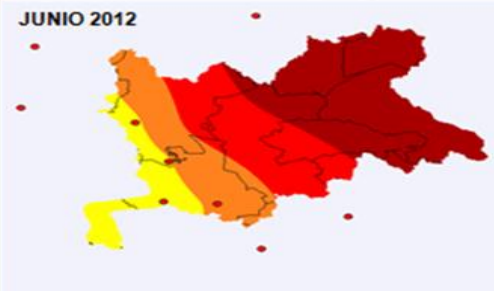
**Indice Palmer Mensual; SEPTIEMBRE**

- Referencias PDI**
- 4.0 ó mayores: Humedad Extrema
  - 3.0 a 3.9: Muy Húmedo
  - 2.0 a 2.9: Humedad Moderada
  - 1.0 a 1.9: Humedad Incipiente
  - 0.9 a 0.9: Condiciones Normales
  - 1.9 a -1.0: Sequía Incipiente
  - 2.9 a -2.0: Sequía Moderada
  - 3.9 a -3.0: Sequía Severa
  - 4.0 ó menores: Sequía Extrema



**Indice Palmer Mensual | Agosto de 2012**

Ubicación de la Cuenca del Río Culiacán



● Estaciones meteorológicas



# Contribución del Proyecto de Sequías en la gestión de los recursos hídricos en el OCPN.



## TECNICA

### 5 CURSOS TALLERES

- 1).- C Modelo de Pronostico de sequías (2007).
- 2).- Monitoreo, Evaluación y Pronostico en CARC (2008).
- 3).- Desarrollo de un Plan de Atención de Sequías (2009).

### 1 VISITA TECNICA

- 1).- CREA (Argentina, 2009).
- 2).- CREA (Argentina, 2011)

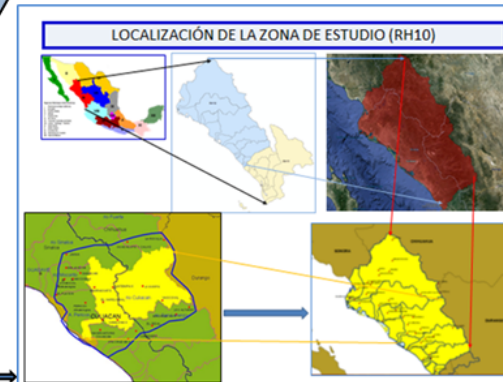


CAPACITACION  
OMM-FRH

COORDINACION  
INTERINSTITUCIONAL  
OMM-CONAGUA-IMTA

COOPERACION  
INSTITUCIONAL  
SAGARPA-JAPAC-UAS

CONFORMACION Y  
OPERACION  
GMEFS-OCPN



## ACADEMICA

### 2 Tesis de Maestría:

- 1 IMTA-CONACYT-CONAGUA-GIACA (CD).
- 2 UAS (GGA)

### 3 Trabajos Doctorales

- 2 IMTA (JE y JCDC)
- 1 UAS-ONU (ITA)
- 3 TESIS Licenciatura
- 1 LI-PS-OIEDRUS
- 2 IC-VO-CONAGUA
- 3 LM-G-UAS

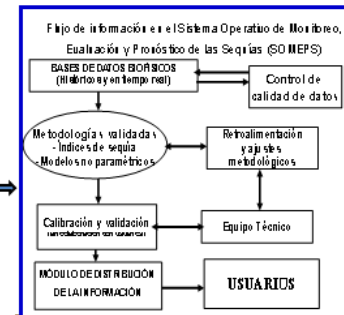


CASO DE APLICACION

CREACION Y OPERACION DEL  
SOS

DIFUSION  
BOLETIN, P WEB

MITIGACION DE SEQUIAS



**Esencia:** Informar para prevenir a la sociedad.

**Edición:** Mensual

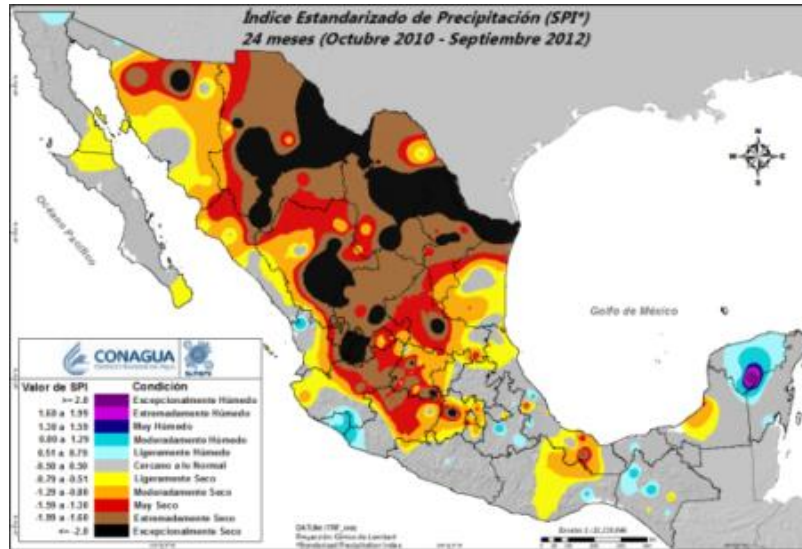
**Nombre:** Boletín de sequías del OCPN



# PARTICIPACIÓN EN EL PRONACOSE Y LOS PMPMS



Las sequías son recurrentes y se manifiesta con mayor incidencia en el norte del país (Magaña, 2000).



2011-2012: SEQUÍA HISTÓRICA, NACE EL PRONACOSE (DECRETO PRESIDENCIAL)

45ª. REUNIÓN ORDINARIA DEL GRUPO DE SEGUIMIENTO Y EVALUACIÓN DEL CONSEJO DE CUENCA RIOS FUERTES Y SINALOA



**PRONACOSE**  
Programa Nacional contra la sequía



Lineamientos de sequía

- (1) Monitoreo de la sequía (Alertamiento)
- (2) Acuerdos de Carácter General de inicio y término de la sequía (Actos de Autoridad para garantizar agua para consumo humano)
- (3) Programas (prever, prevenir y actuar oportunamente)
  - Cuenca(s)
  - Usuario(s)

(Torrecillas et al., 2013).

**Monitoreo:**

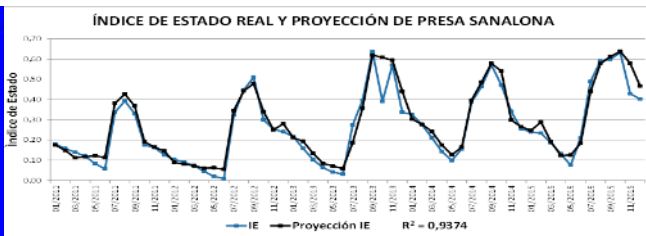
"Streamflow Drought Index" (**SDI**) o "Standardized Precipitation Index" (**SPI**).



# IMPORTANCIA DEL ESTUDIO

Este estudio permite realizar planes de atención de sequías basados en el monitoreo, evaluación, pronóstico, estimación de la vulnerabilidad y determinación de escenarios por sequías meteorológicas e hidrológicas temporales y espaciales en el OCPN, utilizando el SOS y diversas metodologías probadas, aplicando una metodología estadísticamente validada que integra un buen diagnóstico considerando a todos los factores que intervienen en la dinámica de la cuenca e impactan al ambiente y a la sociedad. **Creando condiciones para la estimación y gestión del riesgo de la población ante la ocurrencia del fenómeno** en sus diferentes fases de intensidad y duración, para que los tomadores de decisión apliquen e implanten las medidas preventivas y de mitigación.

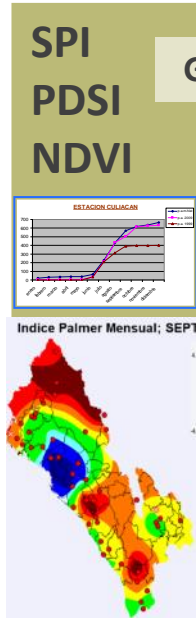
Por lo tanto, el establecimiento de una metodología para la determinación de escenarios por sequías hidrológicas, basado en el análisis multivariado temporal usando redes neuronales, aplicado por localidad, estación hidrométrica y/o presa en los Sistemas Hídricos, **contribuye a la gestión apropiada de los recursos hídricos como medida de prevención de riesgo y respuesta ante el desastre, y a la adaptación al cambio climático.**



## LOS PMPMS (www.conagua.gob.mx)



# IMPORTANCIA DEL ESTUDIO



GMEFS

Caracterizar,  
Monitorear,  
Evaluar y  
Analizar los  
escenarios  
probables de  
ocurrencia.

SOS

RN



Sequía Meteorológica



Sequía Hidrológica



Sequía Agrícola



Para mitigar los  
efectos de la **sequía**,  
la mejor manera es  
la prevención y  
adaptación.



Incendios, desolación y desertificación



CCRMQ

PRONOSTICOS DE  
SEQUÍAS  
METEOROLÓGICO E  
HIDROLÓGICO

## LOS PMPMS ([www.conagua.gob.mx](http://www.conagua.gob.mx))



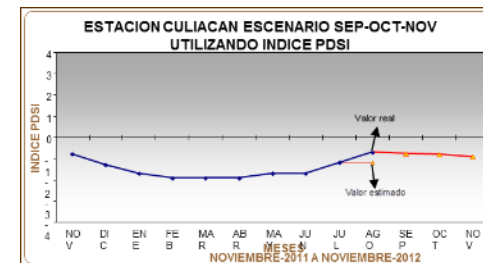
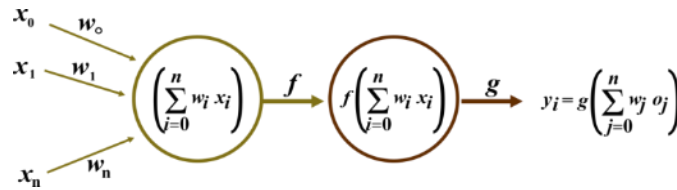
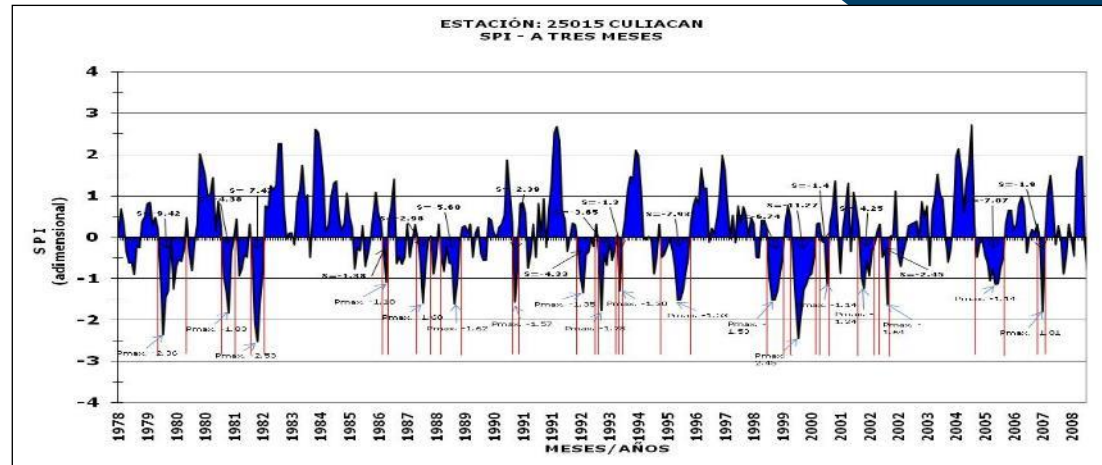
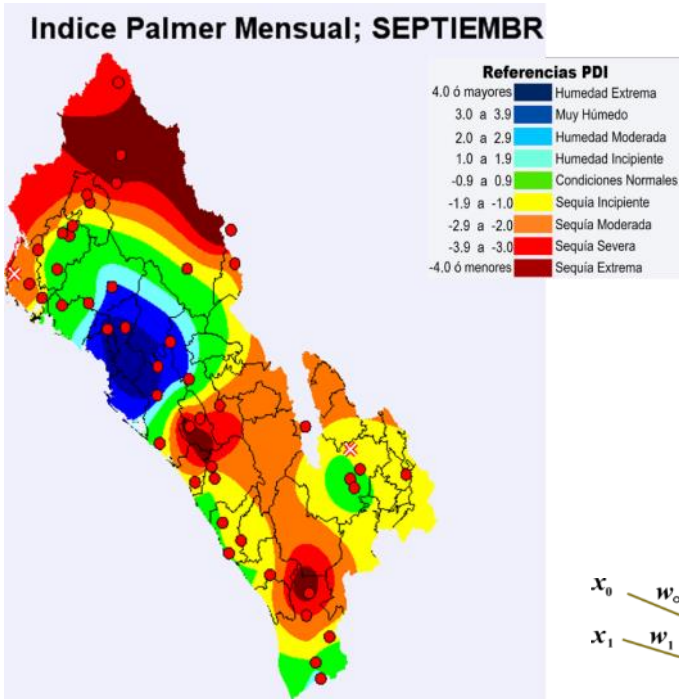


# Hipótesis

El análisis multivariado temporal mediante la aplicación de las redes neuronales contribuye a la determinación de escenarios por sequías, aportando elementos para estimar su vulnerabilidad y riesgo futuros ante el fenómeno.



# Objetivo General



Evaluar escenarios de sequías y su variabilidad temporal y espacial en el Organismo de Cuenca Pacífico Norte utilizando redes neuronales artificiales.



# Objetivos Específicos

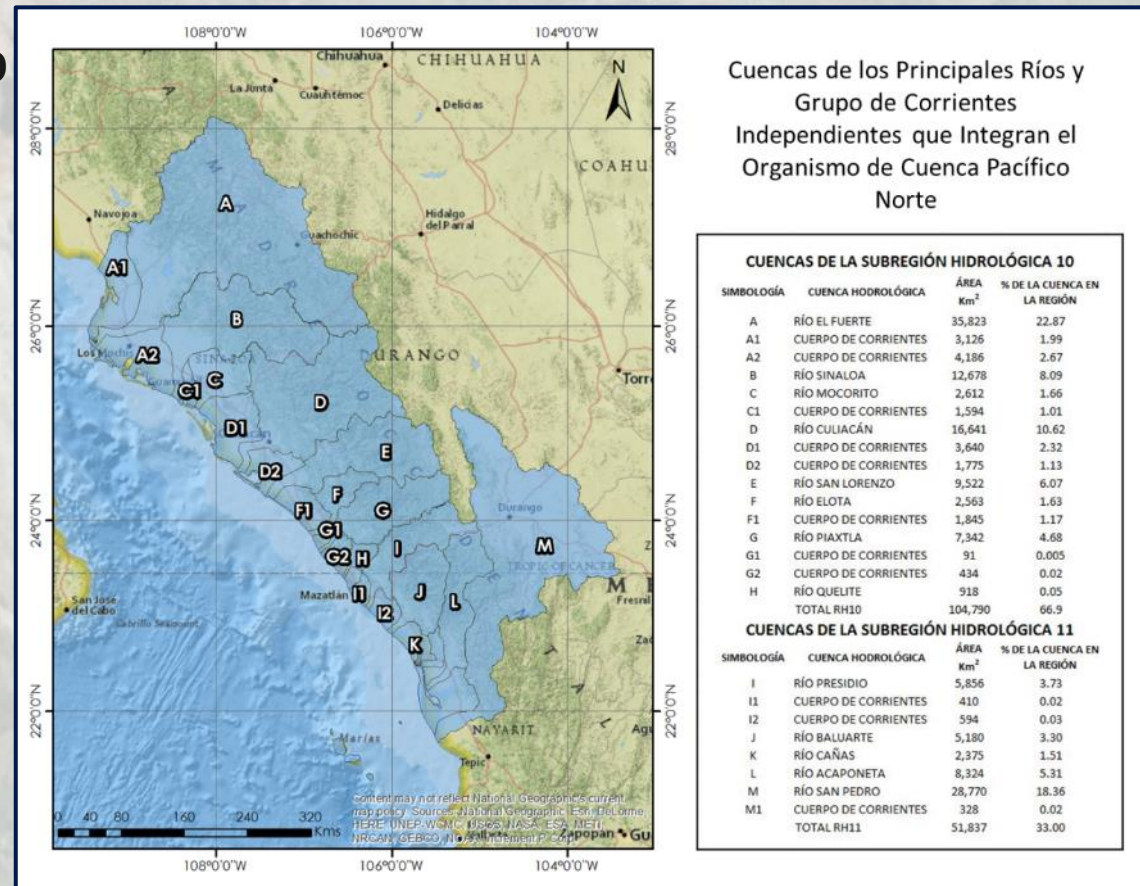
1. Monitorear temporal y espacialmente las sequías meteorológicas, mediante los índices puntuales (SPI y PDSI) y satelital (NDVI).
2. Analizar temporalmente las sequías hidrológicas, utilizando los índices SDI y de Estado (Ie), en las principales corrientes y presas existentes.
3. Determinar escenarios de sequías meteorológicas a 1, 2 y 3 meses mediante el pronóstico de índices de sequía usando redes neuronales.
4. Pronosticar los índices de sequía hidrológica, mediante las redes neuronales, para las principales corrientes y presas existentes.
5. Estimar la vulnerabilidad por sequía para diferentes escenarios, en las cuencas, Consejos de Cuenca y municipios.
6. Desarrollar una metodología para el análisis multivariado temporal y pronóstico de sequías hidrológicas, mediante el uso de redes neuronales, variables meteorológicas, volúmenes de escurrimiento e índices de sequía hidrológica (SDI).





# Materiales y Métodos

## LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO



## CUENCAS DE LOS PRINCIPALES RÍOS QUE CONFORMAN EL OCPN (13)





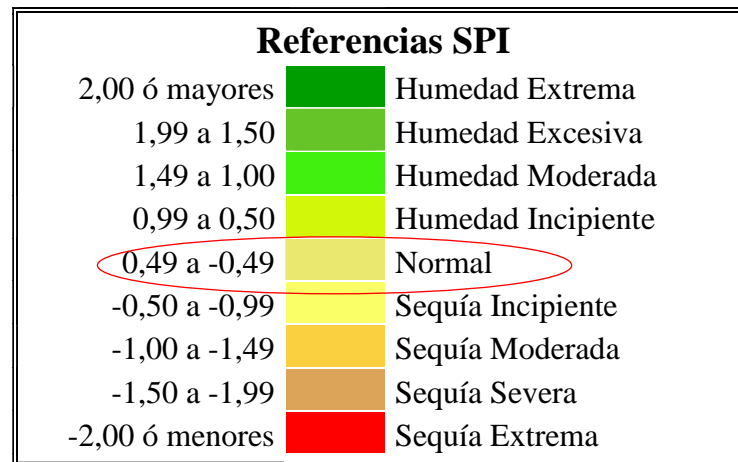
# Materiales y Métodos



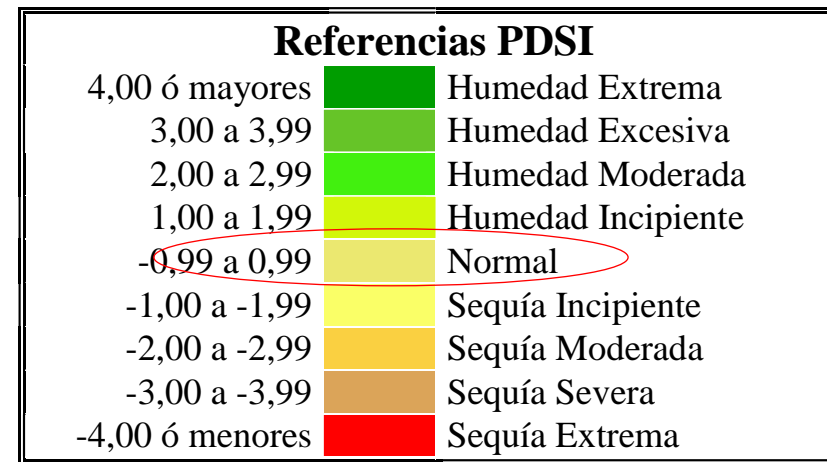
Estimación de los índices meteorológicos de sequía:  
SPI, PDSI, NDVI

ÍNDICE DE SEQUÍA	PROGRAMA	DESCRIPCIÓN
SPI	SPI.EXE-SOS	Índice estandarizado de precipitación (McKee et al ,1993)
PDSI	PDI.EXE-SOS	Índice de severidad de sequía de Palmer (Palmer, 1965)
NDVI	IDRISI-IDRISI	Índice normalizado de diferencia de vegetación (Ravelo, 2008)

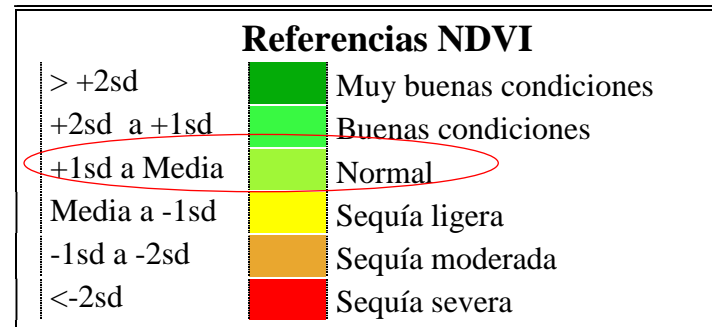
Indicadores de sequía



Hayes, 2000



Palmer, 1965





# Materiales y Métodos



Estimación de los índices hidrológicos de sequía: SDI,  $I_e$

INDICE DE SEQUÍA	PROGRAMA	DESCRIPCION
SDI	SDI.EXE	Índice de sequía de escurrimiento (Nalbantis, 2008)
$I_e$	$I_e$ .EXE	Índice de estado de las presas (MMAE, 2005)

Indicadores de sequía

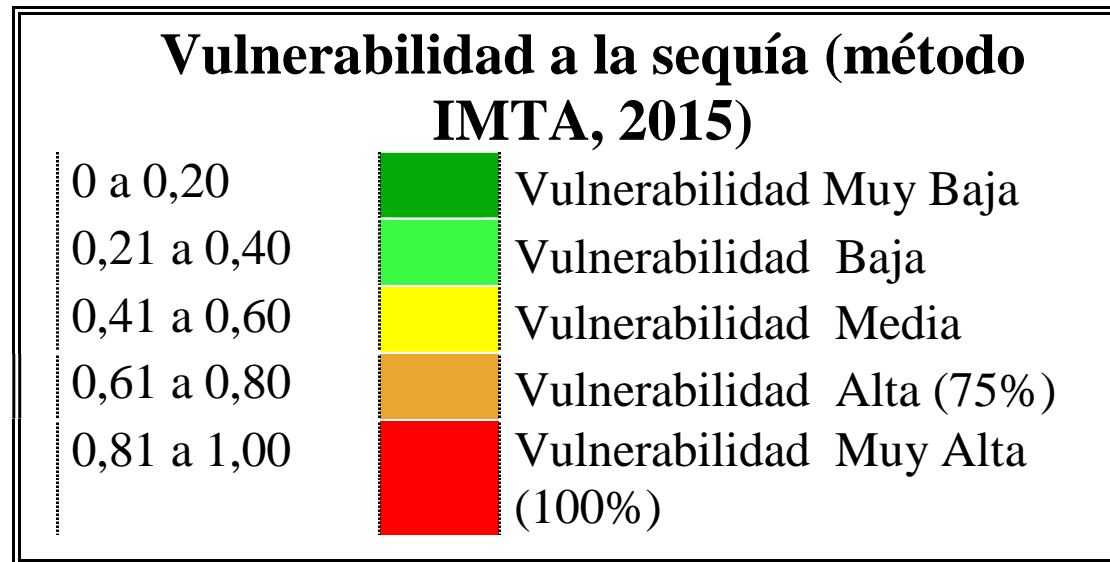
Estado	Descripción	Criterio	Probabilidad (%)
4	Humedad Extrema	$SDI \geq 4,0$	2,3
3	Humedad Intensa	$3,0 < SDI < 4,0$	4,4
2	Humedad Moderada	$2,0 < SDI < 3,0$	9,2
1	Humedad Ligera	$1,0 < SDI < 2,0$	34,1
0	Normal	$-1,0 < SDI < 1,0$	50
1	Sequía Ligera	$-2,0 < SDI < -1,0$	34,1
2	Sequía Moderada	$-3,0 < SDI < -2,0$	9,2
3	Sequía Intensa	$-4,0 < SDI < -3,0$	4,4
4	Sequía Extrema	$SDI \leq -4,0$	2,3

NALBALTIS, 2008

Valor del índice	Nivel	Situación
$I_e > 0,50$	Verde	Estable o de normalidad
$0,50 \geq I_e > 0,30$	Amarillo	Prealerta
$0,30 \geq I_e > 0,15$	Naranja	Alerta
$I_e \leq 0,15$	Rojo	Emergencia

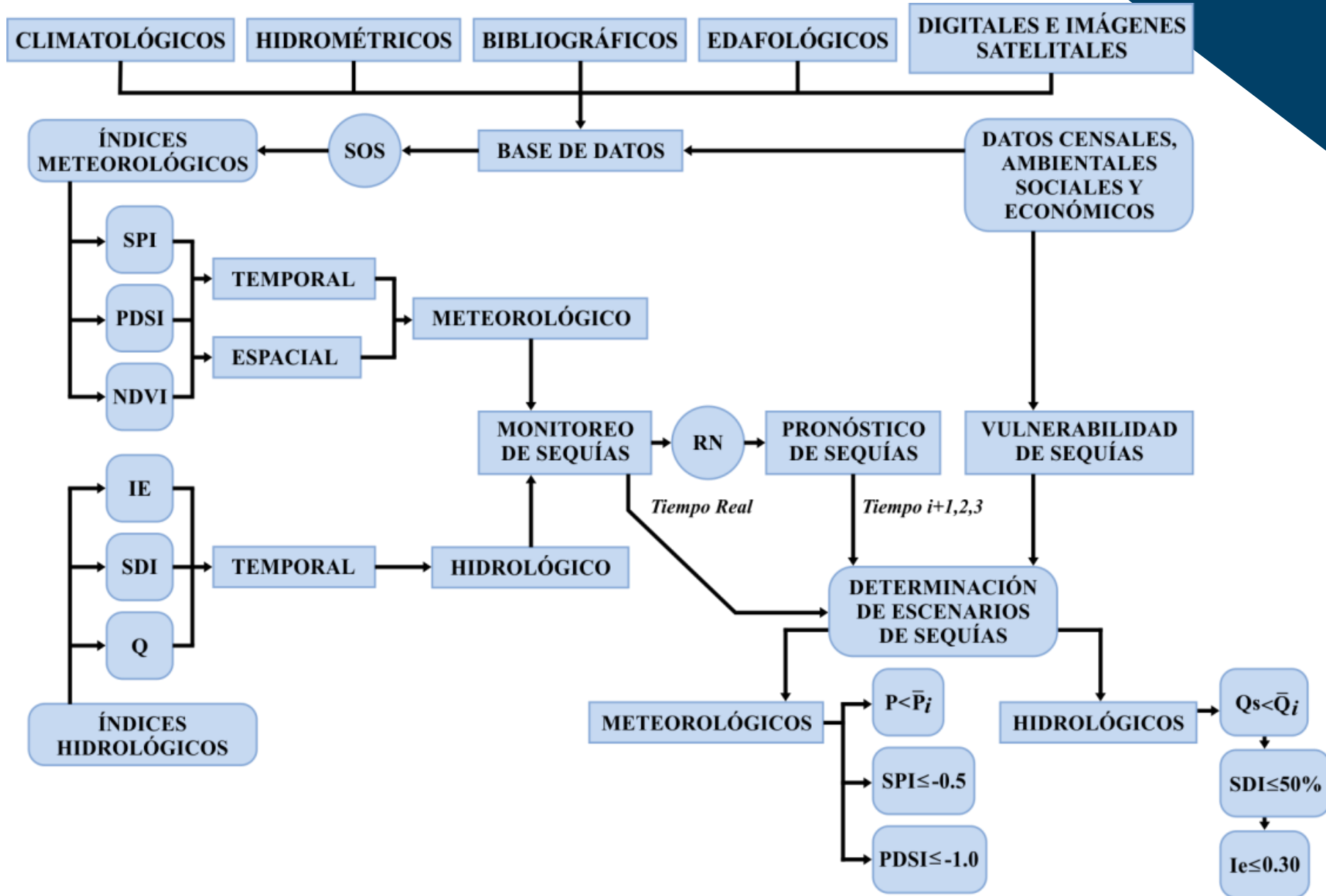
ORTEGA, 2016

## Indicador de vulnerabilidad a la sequía

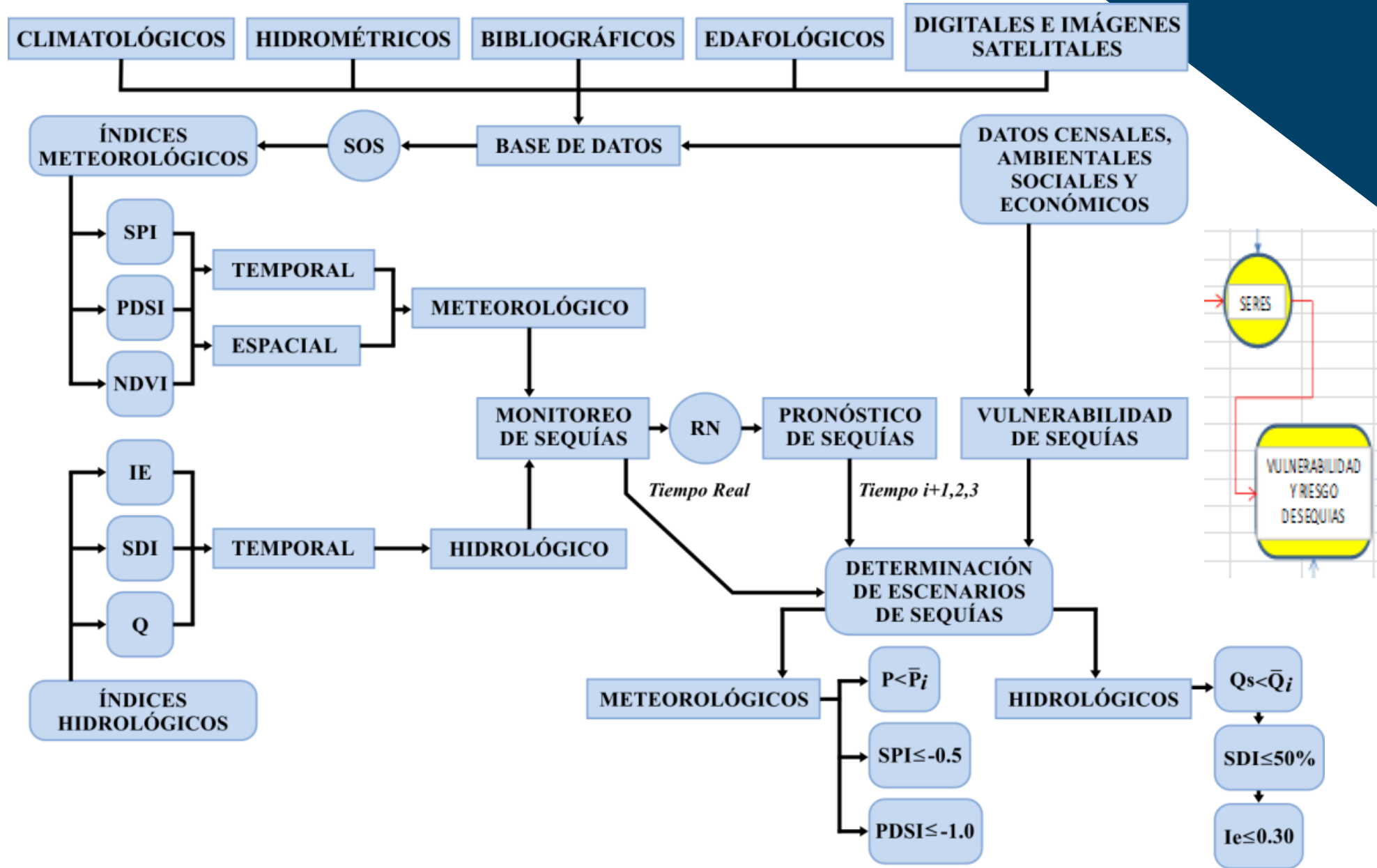




# Materiales y Métodos



# Materiales y Métodos

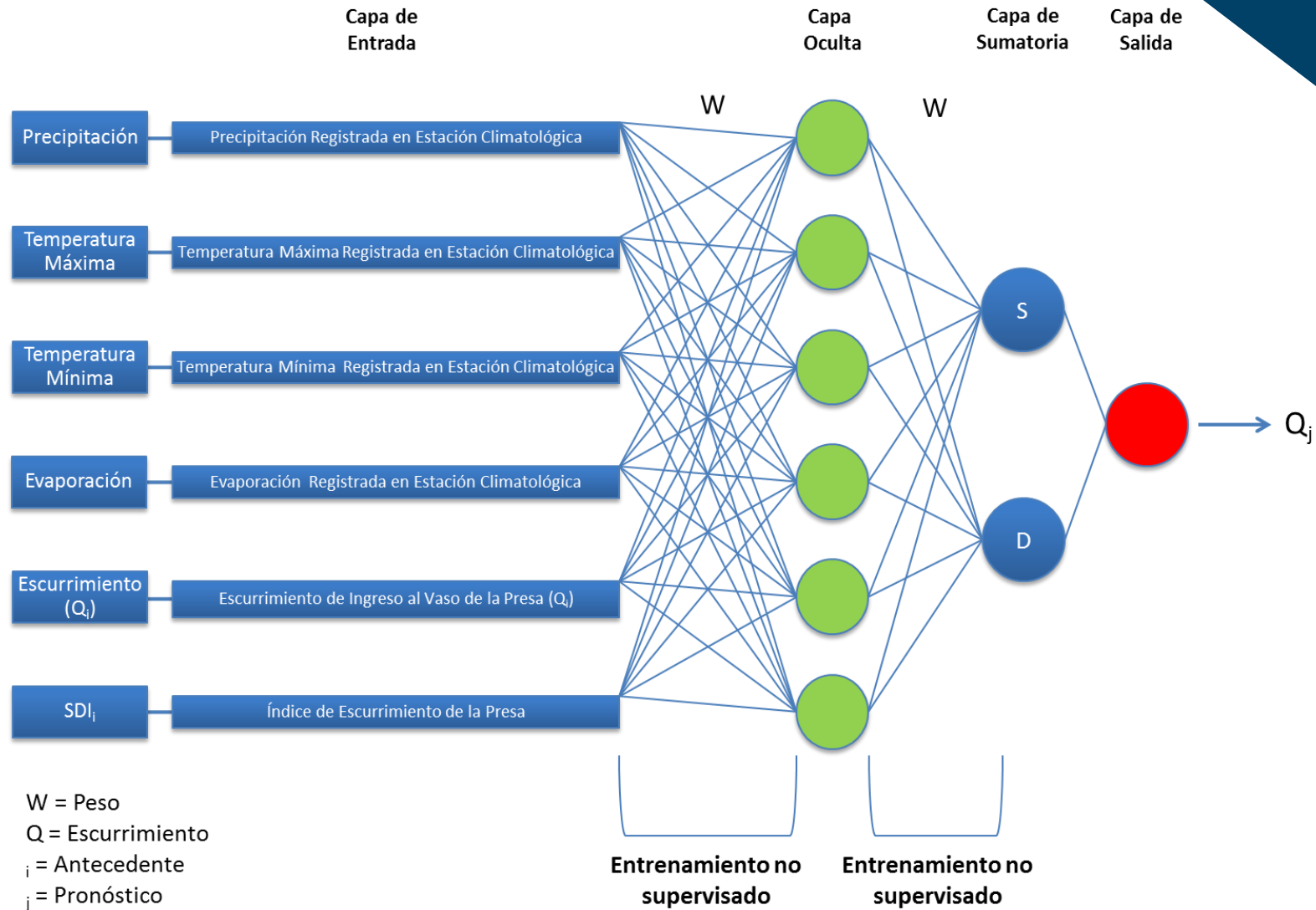




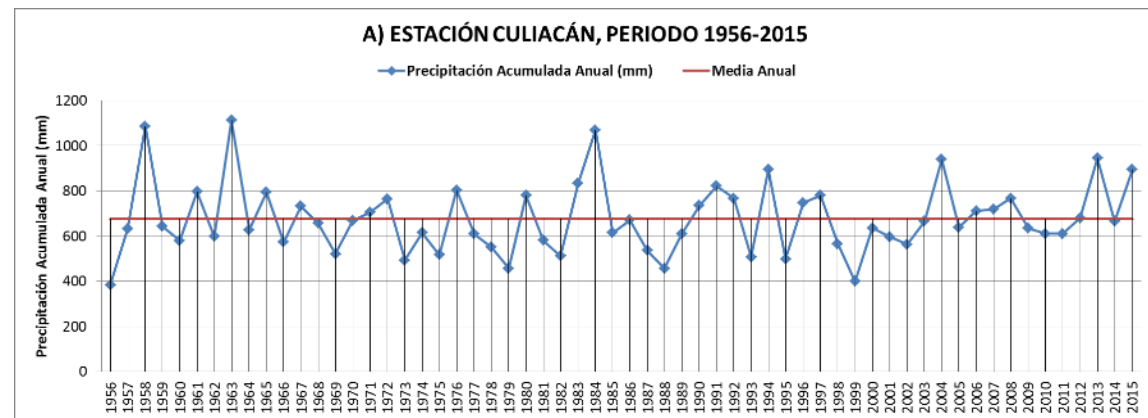
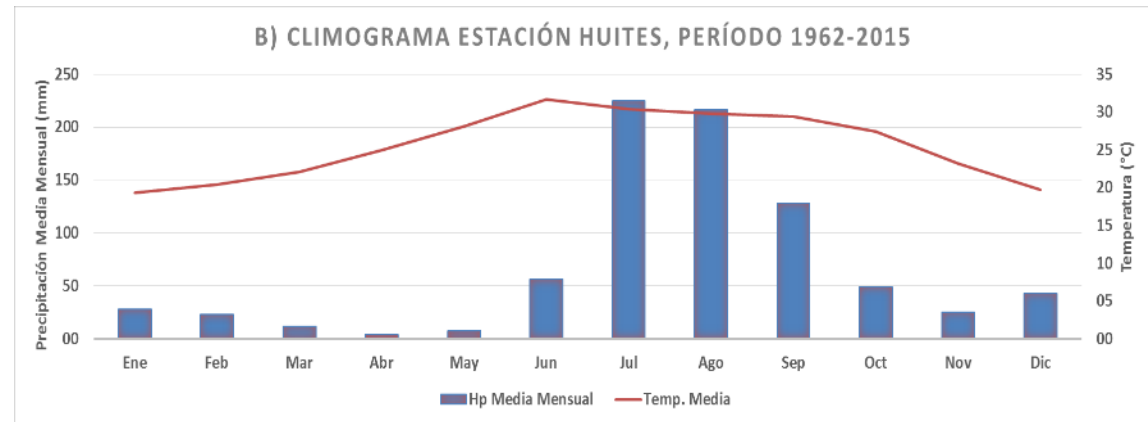
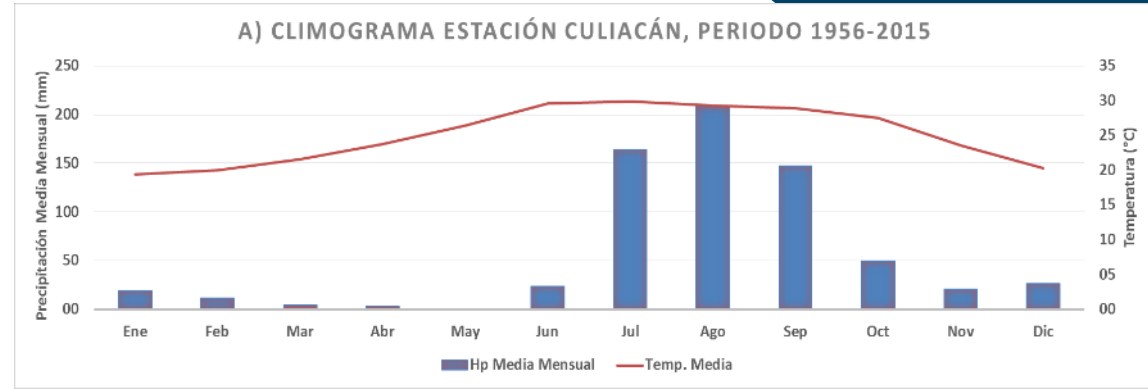
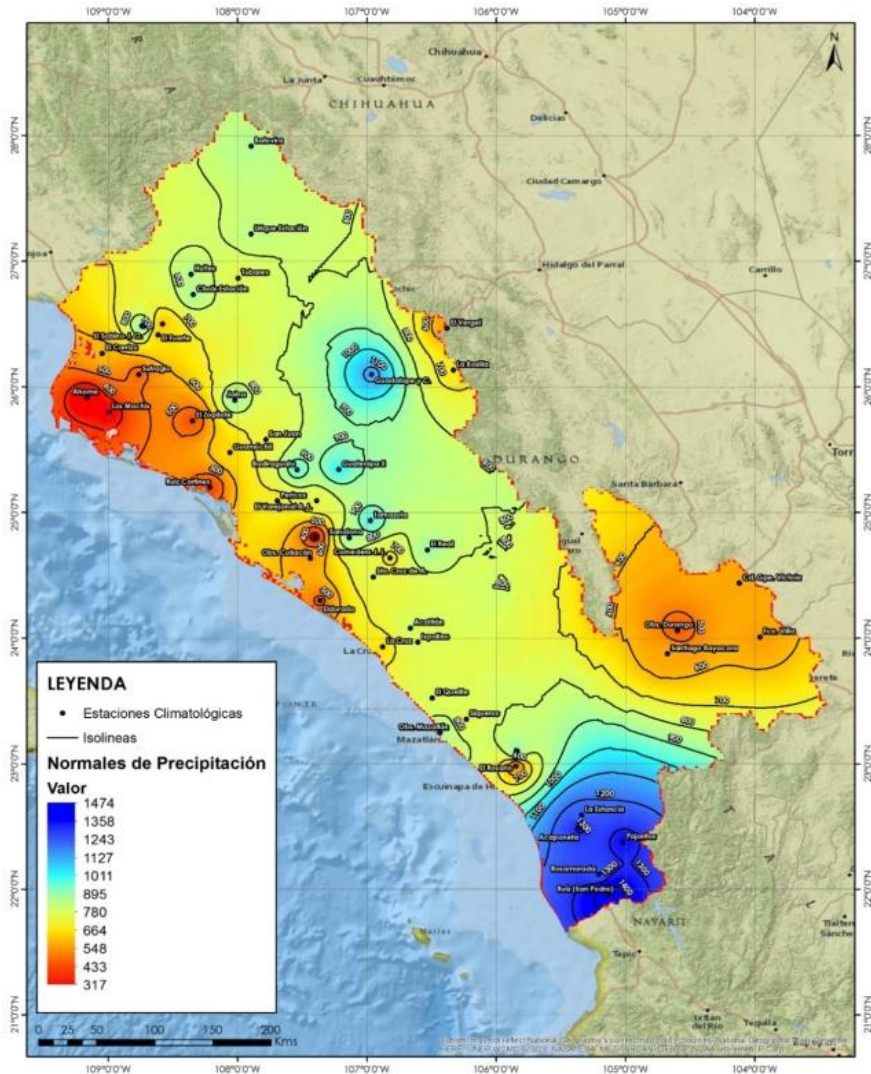
# Materiales y Métodos



Pronóstico de Sequías Hidrológicas Usando Redes Neuronales



# Resultados y Discusión

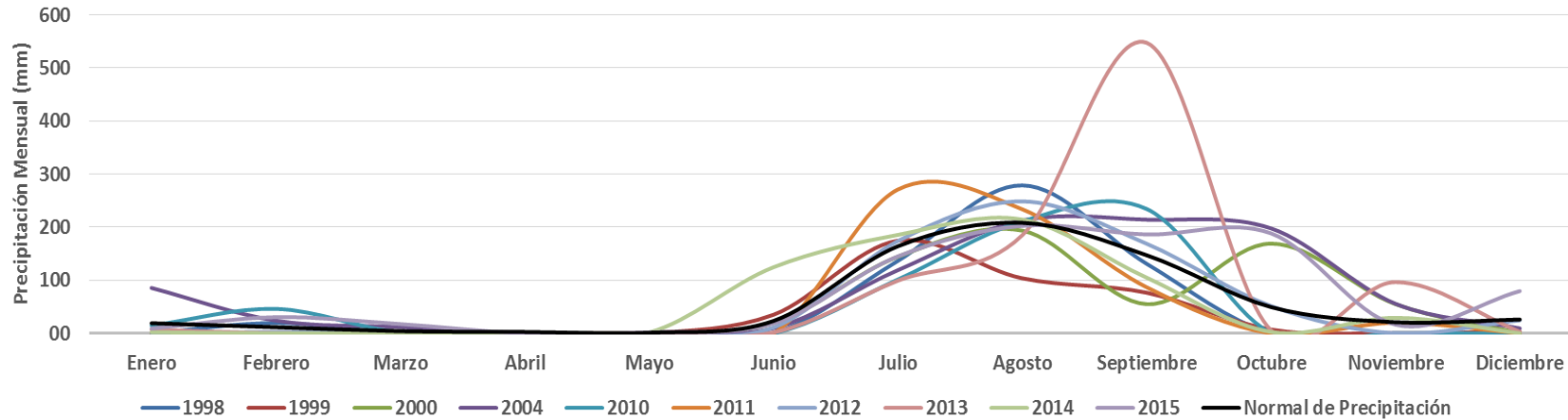




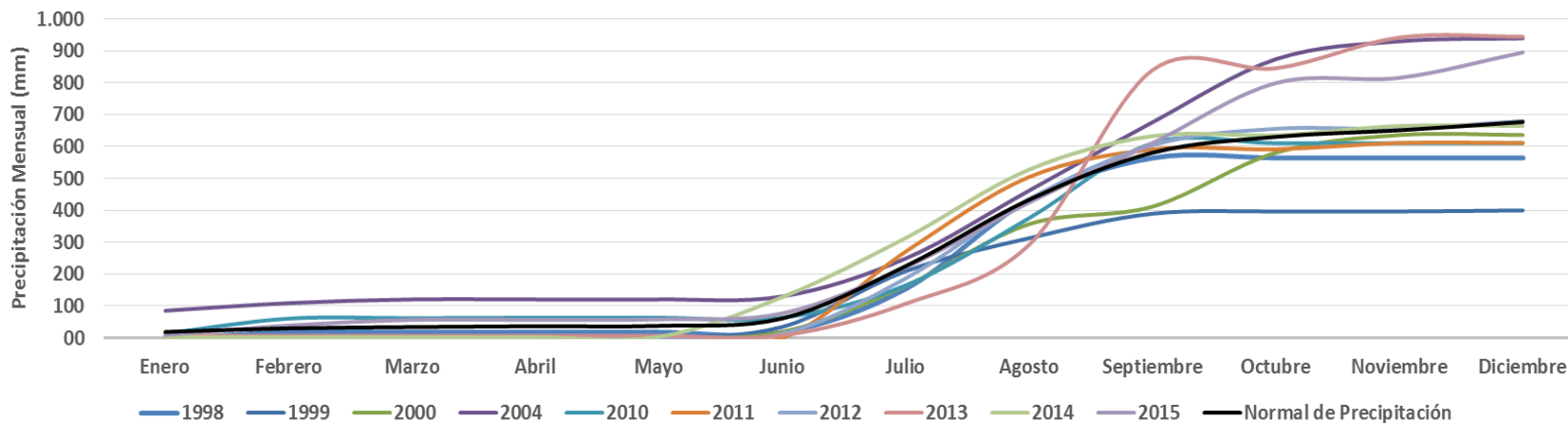
# Resultados y Discusión



A) VARIABILIDAD DE PRECIPITACIÓN MENSUAL  
ESTACIÓN CULIACÁN



B) PRECIPITACIÓN MENSUAL ACUMULADA  
ESTACIÓN CULIACÁN



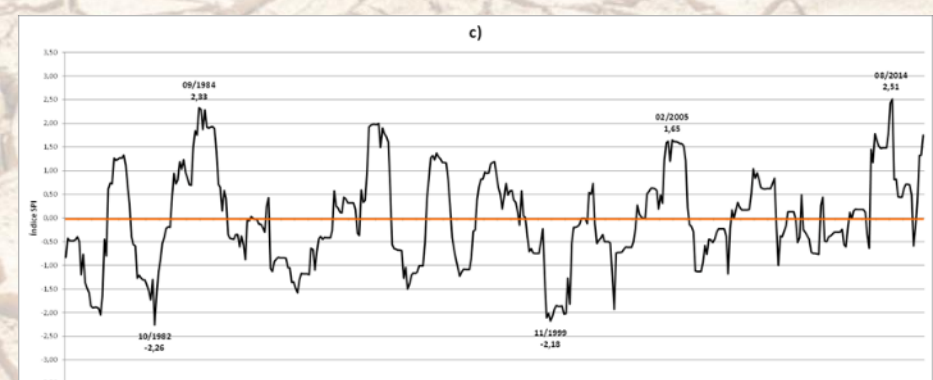
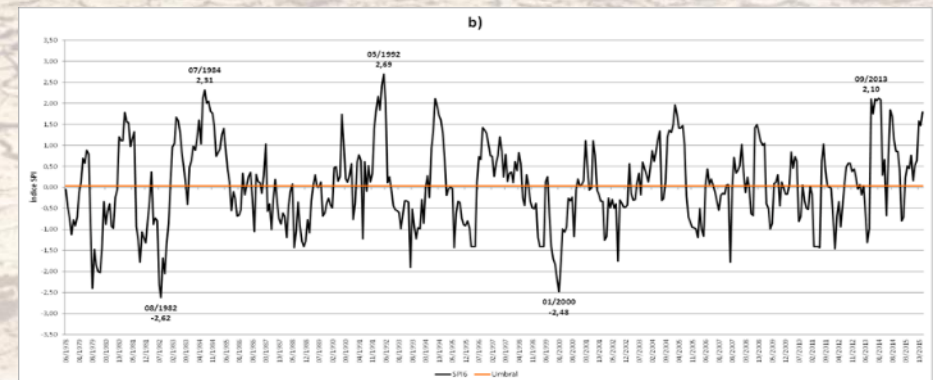
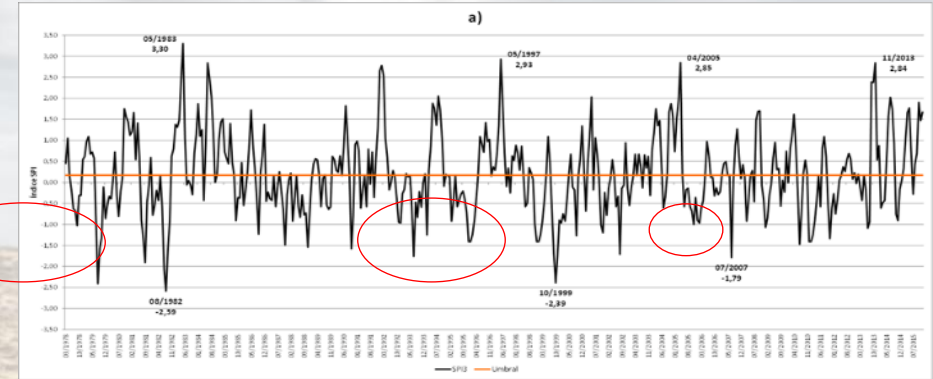
# Resultados y Discusión



Valores de SPI para la estación Culiacán

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media
1978			0,45	1,05	0,16	-0,18	-0,63	-0,67	-1,03	-0,31	-0,31	0,54	-0,09
1979	0,62	0,97	1,09	0,67	0,72	0,57	-0,86	-2,41	-1,56	-1,32	-0,11	-0,86	-0,21
1980	-0,55	-0,33	-0,39	0,05	0,72	-0,31	-0,81	-0,22	0,11	1,75	1,55	1,44	0,25
1981	1,12	1,20	1,66	0,54	1,41	0,60	-0,89	-1,33	-1,91	-0,46	-0,06	0,59	0,21
1982	-0,78	-0,5	-0,19	-0,43	0,16	-0,58	-2,08	-2,59	-1,60	-0,90	0,62	0,80	-0,68
1983	1,38	1,31	1,48	2,46	3,30	1,04	-0,06	0,04	-0,07	-0,29	0,70	1,15	1,04
1984	1,87	1,10	1,25	-0,43	0,93	2,84	2,49	2,04	1,18	0,00	0,19	1,02	1,21
1985	1,43	1,51	0,73	0,58	0,44	1,40	0,48	0,16	-0,91	-0,36	-0,37	0,47	0,46
1986	-0,55	-0,20	0,18	0,89	1,72	0,90	0,33	-0,34	-1,23	0,23	0,62	1,38	0,33
1987	-0,45	-0,23	-0,39	-0,43	0,16	-0,58	-0,10	0,25	-0,21	-0,64	-1,49	-0,29	-0,37
1988	0,06	0,22	-0,92	-0,43	0,16	-0,58	-0,83	-0,30	-0,77	-0,73	-1,54	-0,71	-0,53
1989	0,05	0,44	0,56	0,54	0,16	-0,58	0,09	0,18	-0,54	-0,64	-0,58	0,62	0,03
1990	0,54	0,29	0,24	0,63	0,16	0,84	1,82	1,08	0,16	-1,58	-0,80	0,90	0,36
1991	0,98	0,75	-0,61	-0,17	0,16	-0,58	0,79	-0,04	0,72	-0,36	0,59	1,30	0,29
1992	2,65	2,78	2,53	1,05	0,59	-0,18	0,00	0,28	0,11	-0,38	-0,95	-0,97	0,63
1993	-0,27	-0,17	0,21	0,13	0,16	-0,58	-1,76	-0,47	-0,83	-0,22	-0,59	-0,01	-0,37
1994	0,20	-1,25	0,29	0,86	1,88	1,75	1,36	2,05	1,72	1,03	-0,09	0,19	0,83
1995	0,16	0,13	-0,92	-0,43	0,16	-0,58	-0,42	-0,28	-0,21	-0,41	-0,72	-1,41	-0,41
1996	-1,41	-1,25	-0,92	-0,43	0,16	1,09	0,92	0,72	1,42	0,97	1,02	0,15	0,20
1997	0,37	0,29	0,69	1,35	2,93	1,89	0,68	-0,10	0,34	-0,25	0,63	0,52	0,78
1998	0,88	0,69	0,29	0,86	0,16	-0,58	-0,49	0,35	0,23	0,07	-0,99	-1,41	0,00
1999	-1,41	-1,25	-0,92	-0,43	0,16	1,09	0,45	-0,63	-1,70	-2,39	-1,74	-0,90	-0,81
2000	-0,97	-0,75	-0,92	-0,43	0,16	0,67	-0,11	-0,18	-1,27	0,13	0,56	1,34	-0,15
2001	0,35	-0,68	0,47	1,08	2,03	-0,18	1,06	0,65	0,08	-1,01	-1,20	-0,24	0,20
2002	-0,78	-0,14	0,08	0,54	0,16	-0,58	-0,33	-1,71	-0,14	-0,07	0,94	-0,12	-0,18
2003	-0,55	-0,14	0,14	0,67	0,16	0,67	0,37	-0,13	0,65	0,34	0,62	-0,31	0,21
2004	0,77	1,16	1,75	1,35	1,47	0,33	-0,61	-0,34	0,22	1,67	1,87	1,55	0,93
2005	0,73	1,52	1,96	2,85	0,16	-0,58	-0,17	-0,14	-0,57	-0,68	-1,00	-0,36	0,31
2006	-0,90	-0,97	-0,61	-0,43	0,16	0,97	0,63	0,12	0,12	-0,32	-0,13	-0,29	-0,14
2007	-0,22	0,20	0,45	0,49	0,16	0,18	-1,79	0,02	0,87	1,27	0,62	0,09	0,20
2008	0,42	0,13	-0,92	-0,43	0,16	0,28	-0,46	1,48	1,69	1,70	-0,07	-0,42	0,30
2009	-1,07	-0,85	-0,31	-0,05	0,59	0,95	0,30	0,33	-0,57	0,05	-0,23	0,74	-0,01
2010	-0,01	0,81	1,10	1,62	0,83	-0,18	-1,47	-0,68	0,22	0,53	0,19	-1,41	0,13
2011	-1,41	-1,25	-0,92	-0,43	0,16	-0,58	0,82	1,09	0,61	-0,51	-1,34	-0,61	-0,36
2012	-0,27	-0,75	-0,39	0,05	0,16	0,37	0,26	0,54	0,69	0,55	0,08	0,23	0,13
2013	-0,03	0,19	-0,14	-0,43	0,16	-0,18	-1,09	-0,94	2,39	2,37	2,84	0,53	0,47
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media
2014	0,87	-0,61	-0,48	-0,43	0,59	1,57	2,02	1,74	0,92	-0,76	-0,91	-0,16	0,36
2015	0,05	0,33	1,00	1,66	1,77	0,70	-0,28	0,43	0,69	1,90	1,47	1,67	0,95
Media	0,10	0,13	0,23	0,43	0,67	0,35	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18	0,17
Mínima	-1,41	-1,25	-0,92	-0,43	0,16	-0,58	-2,08	-2,59	-1,91	-2,39	-1,74	-1,41	-0,81
Máxima	2,65	2,78	2,53	2,85	3,30	2,84	2,49	2,05	2,39	2,37	2,84	1,67	1,21

- Humedad Extrema
- Humedad Excesiva
- Humedad Moderada
- Humedad Incipiente
- Normal
- Sequía Incipiente
- Sequía Moderada
- Sequía Severa
- Sequía Extrema

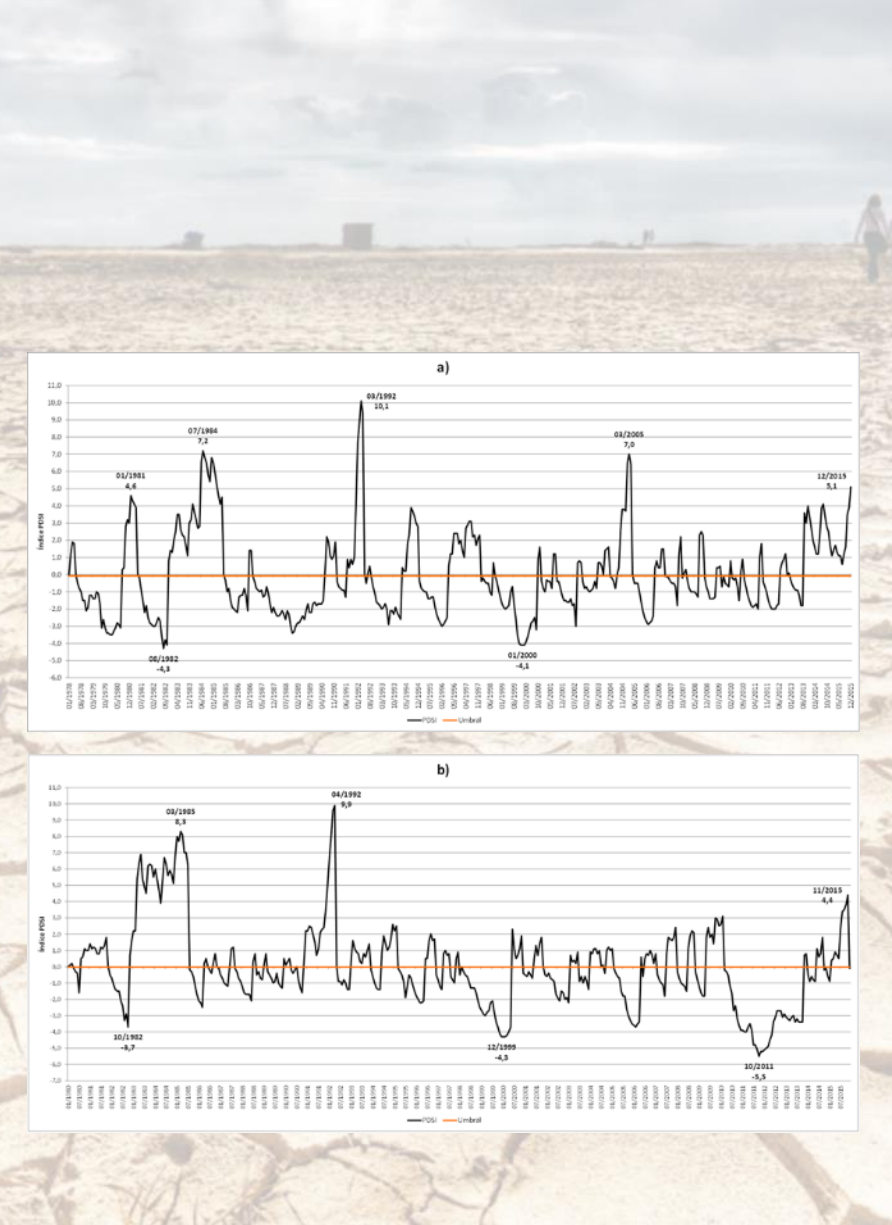
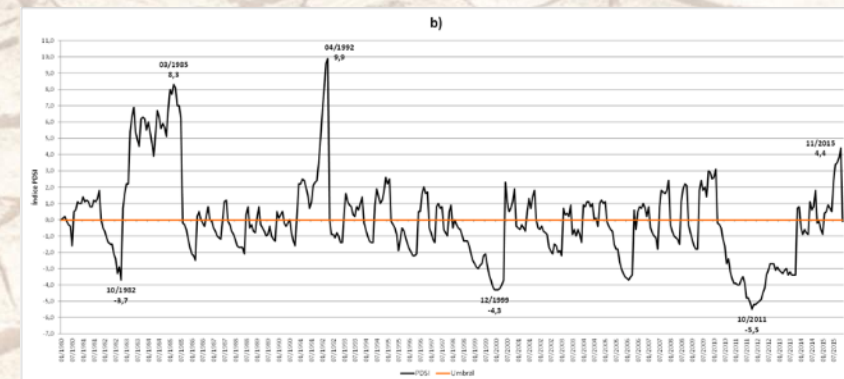
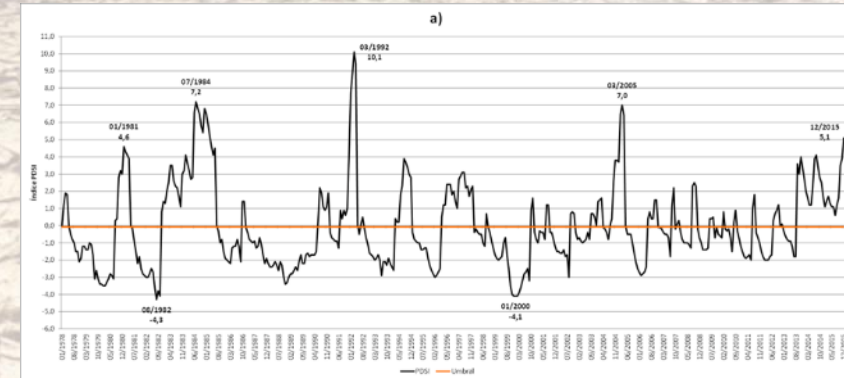




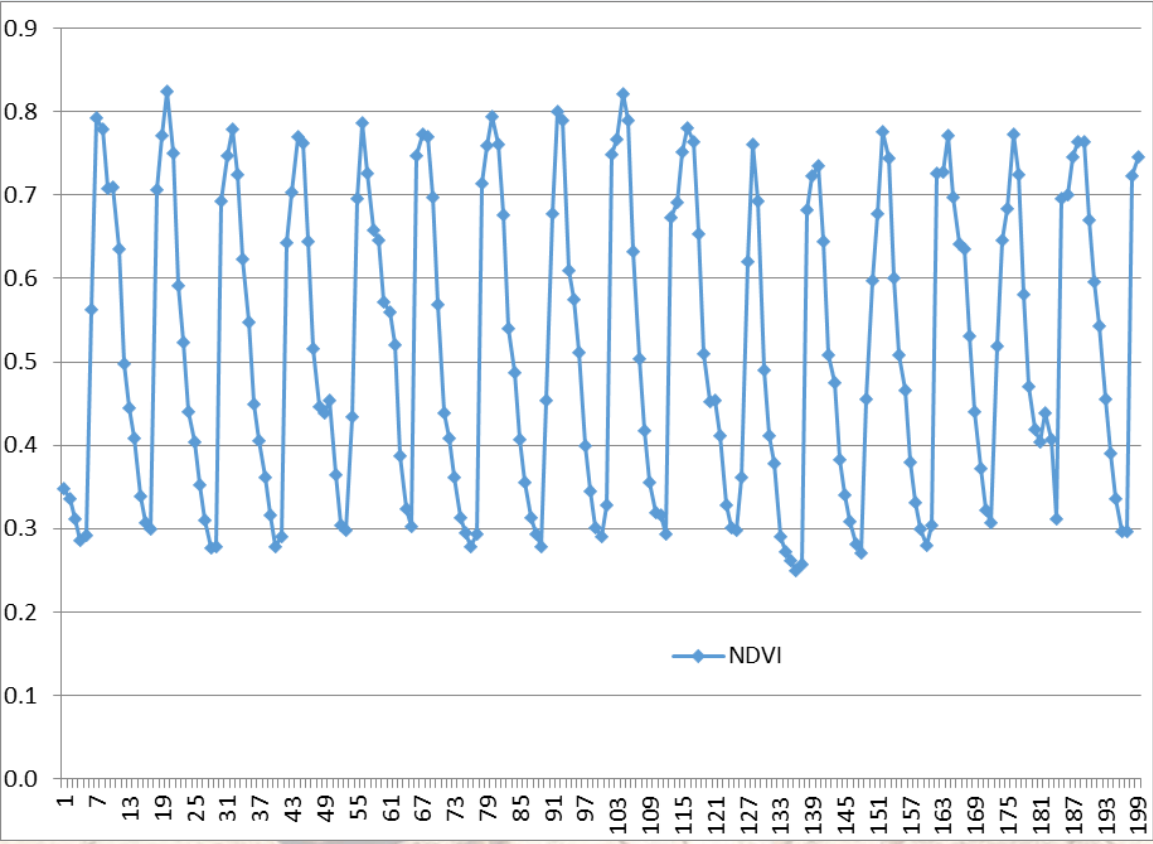
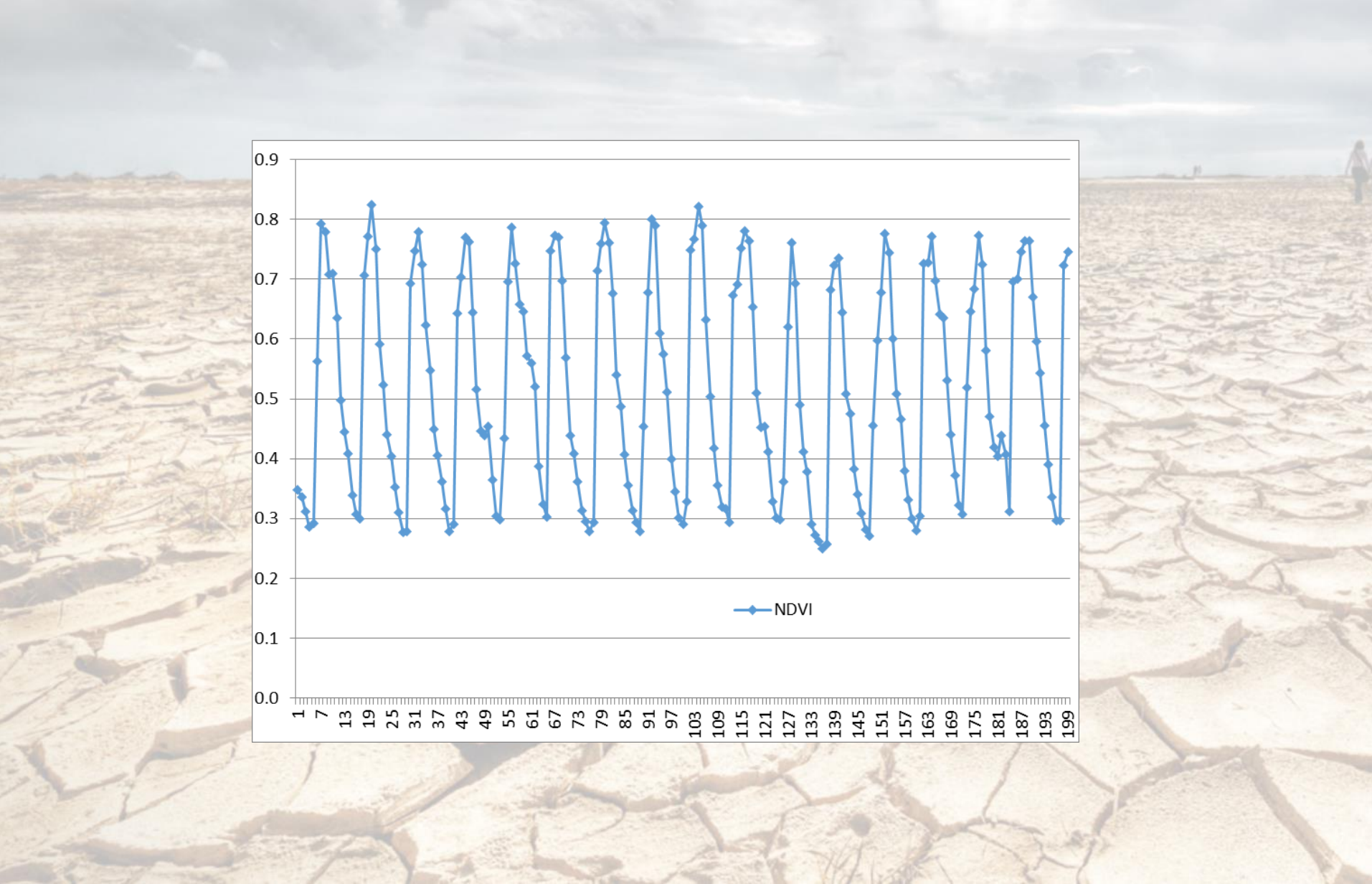
# Resultados y Discusión

- Humedad Extrema
- Humedad Excesiva
- Humedad Moderada
- Humedad Incipiente
- Normal
- Sequía Incipiente
- Sequía Moderada
- Sequía Severa
- Sequía Extrema

Estación Climatológica Culiacán													
PDSI													
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media
1978	0,0	1,2	1,9	1,8	0,0	-0,5	-0,8	-1,0	-1,5	-1,5	-2,1	-1,9	-0,4
1979	-1,2	-1,2	-1,4	-1,4	-1,0	-1,1	-1,7	-3,1	-2,6	-3,1	-3,4	-3,4	-2,1
1980	-3,5	-3,5	-3,3	-3,1	-2,8	-2,9	-3,1	0,3	0,4	2,8	3,2	3,0	-1,0
1981	4,6	4,3	4,1	3,9	0,0	-0,2	-0,9	-1,5	-2,2	-1,8	-2,5	-2,8	0,4
1982	-2,9	-3,0	-3,0	-2,8	-2,5	-2,7	-3,6	-4,3	-3,8	-4,1	0,8	1,4	-2,5
1983	1,3	2,0	2,5	3,5	3,5	2,6	2,3	2,2	1,7	1,1	3,0	3,2	2,4
1984	4,1	3,6	3,2	2,7	2,8	6,6	7,2	6,8	6,5	5,8	5,4	6,8	5,1
1985	6,5	5,9	5,2	4,6	4,1	4,5	0,0	-0,3	-1,0	-0,8	-1,5	-1,9	2,1
1986	-2,0	-2,1	-2,2	-1,3	-1,2	-1,2	-0,8	-1,2	-2,1	1,4	1,4	-0,1	-1,0
1987	-0,4	-0,8	-0,9	-1,0	-0,9	-1,3	-1,2	-0,7	-1,1	-1,7	-2,2	-1,9	-1,2
1988	-2,2	-2,4	-2,4	-2,3	-2,1	-2,3	-2,6	-2,1	-2,3	-3,0	-3,4	-3,3	-2,5
1989	-3,0	-2,8	-2,8	-2,6	-2,4	-2,6	-2,1	-1,7	-2,2	-2,2	-1,7	-1,6	-2,3
1990	-1,8	-1,7	-1,7	-1,7	-1,5	0,2	2,2	1,9	1,1	0,9	1,1	1,9	0,1
1991	-0,4	-0,7	-0,8	-0,9	-0,9	-1,3	0,9	0,4	0,9	0,6	1,0	3,9	0,2
1992	7,7	8,8	10,1	9,4	0,0	-0,5	0,1	0,5	-0,2	-0,7	-1,1	-1,6	2,7
1993	-1,7	-1,8	-2,0	-1,9	-1,7	-2,0	-2,9	-2,1	-2,1	-2,3	-1,9	-2,2	-2,1
1994	-2,4	-2,6	0,4	0,2	0,2	1,8	2,3	3,9	3,7	3,4	3,0	2,8	1,4
1995	-0,4	-0,8	-0,9	-1,0	-1,0	-1,4	-1,4	-1,3	-1,3	-1,9	-2,3	-2,6	-1,4
1996	-2,8	-3,0	-2,9	-2,7	-2,5	0,5	1,2	1,2	2,4	2,4	2,4	1,8	-0,2
1997	2,0	1,4	1,0	2,7	2,9	3,1	3,1	2,2	2,3	1,7	2,1	2,3	2,2
1998	-0,4	-0,2	-0,4	-0,5	-0,5	-1,0	-1,2	0,7	-0,1	-0,4	-0,9	-1,3	-0,5
1999	-1,7	-1,9	-2,0	-1,9	-1,8	-1,0	-0,7	-1,7	-2,5	-3,5	-4,0	-4,1	-2,2
2000	-4,1	-4,1	-3,9	-3,6	-3,2	-2,8	-2,7	-2,5	-3,2	0,9	1,6	-0,4	-2,3
2001	-0,8	-1,0	-0,3	-0,4	-0,4	-0,8	1,2	1,2	-0,4	-0,4	-0,8	-1,2	-0,3
2002	-1,5	-1,5	-1,6	-1,6	-1,4	-1,8	-1,7	-3,0	0,7	0,8	0,7	-0,4	-1,0
2003	-0,8	-0,7	-0,9	-1,0	-0,9	-0,8	-0,4	-0,8	0,7	0,7	0,5	0,0	-0,4
2004	1,4	1,5	1,6	-0,1	-0,2	-0,4	-0,8	0,0	0,4	2,6	3,8	3,8	1,1
2005	3,7	6,5	7,0	6,4	0,0	-0,5	-0,5	-0,5	-1,0	-1,6	-2,1	-2,5	1,2
2006	-2,7	-2,9	-2,8	-2,7	-2,4	0,4	0,8	0,4	0,4	1,5	1,5	-0,1	-0,7
2007	-0,1	-0,2	-0,4	-0,5	-0,5	-0,7	-1,8	1,1	2,2	-0,2	0,1	0,3	-0,1
2008	-0,4	-0,8	-1,0	-1,0	-1,0	-1,1	-1,3	2,3	2,5	2,3	-0,2	-0,7	0,0
2009	-1,0	-1,4	-1,4	-1,4	-1,3	0,4	0,4	0,5	-0,7	-0,1	-0,5	-0,6	-0,6
2010	-0,7	0,8	-0,2	-0,3	-0,2	-0,7	-1,5	0,2	0,9	-0,3	-0,7	-1,2	-0,3
2011	-1,5	-1,8	-1,9	-1,8	-1,7	-2,0	1,0	1,8	-0,4	-0,7	-1,0	-1,5	-1,0
2012	-1,8	-2,0	-2,0	-2,0	-1,8	-1,7	0,3	0,7	0,9	1,2	0,0	0,1	-0,7
2013	-0,3	-0,6	-0,8	-0,9	-0,9	-1,2	-1,8	-1,8	3,6	3,0	4,0	3,4	0,5
2014	2,7	2,0	1,6	1,2	1,2	2,3	3,9	4,1	3,4	2,8	2,5	1,7	2,5
2015	1,1	1,4	1,7	1,3	1,1	1,1	0,6	1,2	1,6	3,5	3,9	5,1	2,0
Media	-0,2	-0,2	-0,1	-0,1	-0,6	-0,3	-0,2	0,1	0,1	0,2	0,3	0,1	-0,1
Mínima	-4,1	-4,1	-3,9	-3,6	-3,2	-2,9	-3,6	-4,3	-3,8	-4,1	-4,0	-4,1	-2,5
Máxima	7,7	8,8	10,1	9,4	4,1	6,6	7,2	6,8	6,5	5,8	5,4	6,8	5,1



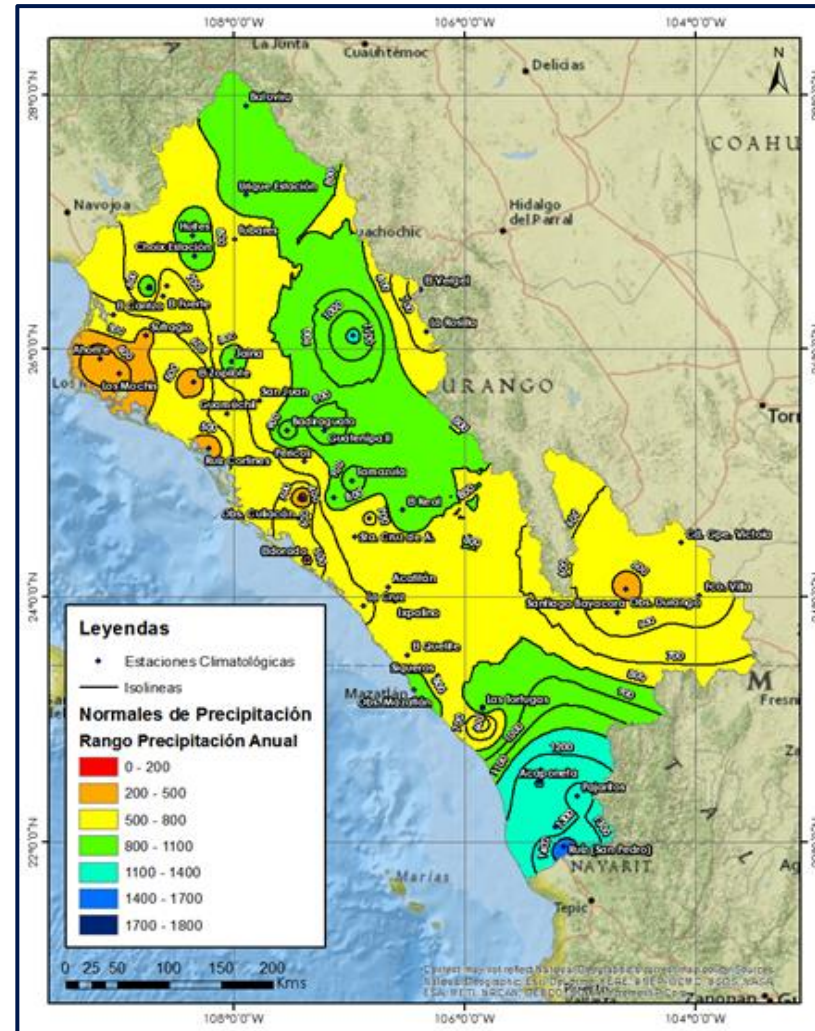
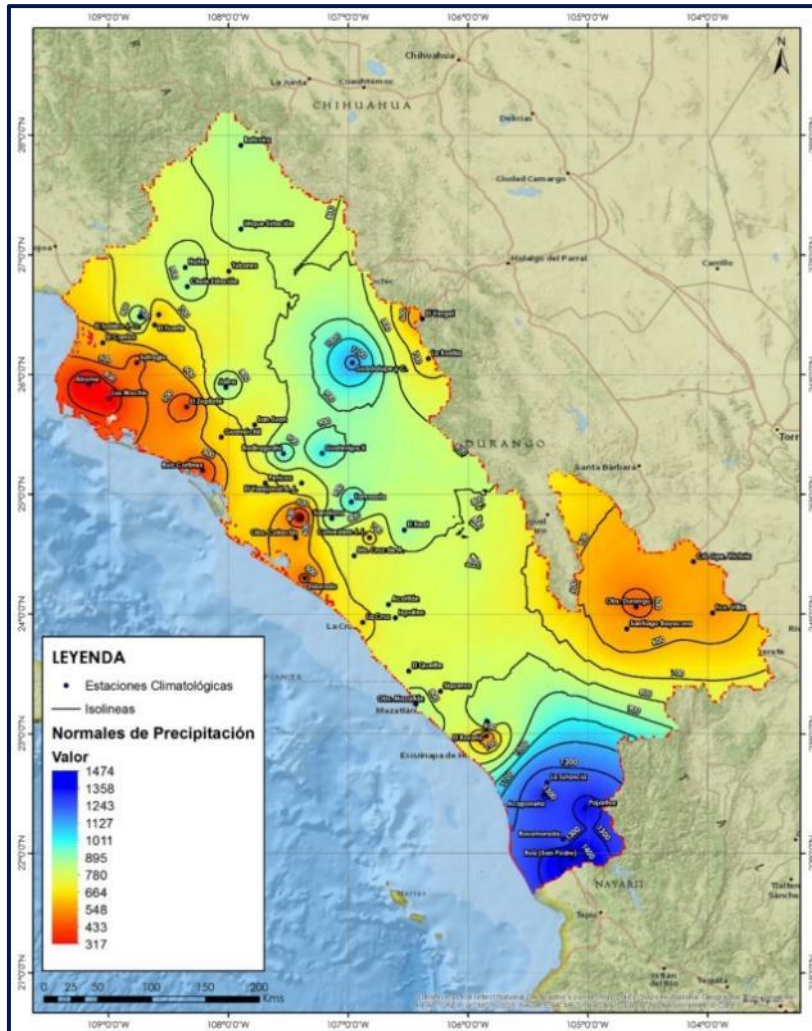
# Resultados y Discusión





# Resultados y Discusión

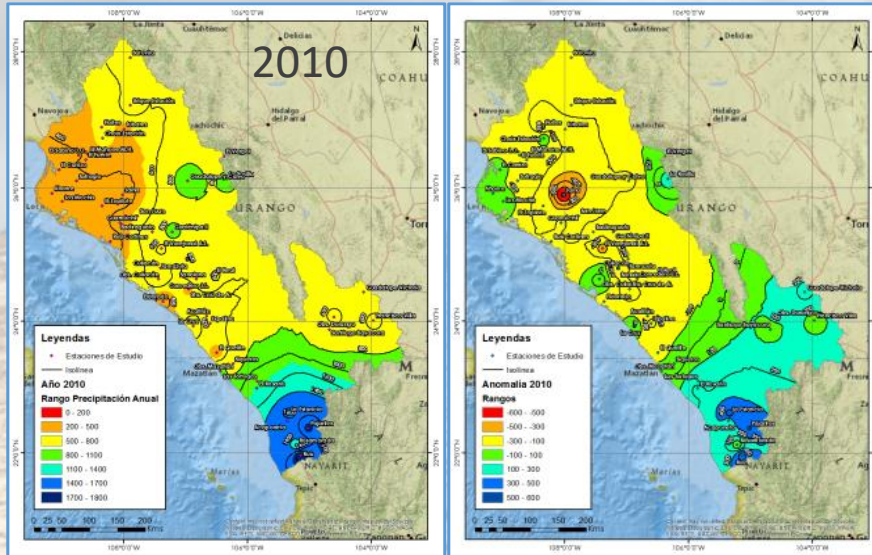
## ISOYETAS DE NORMALES DE PRECIPITACIÓN ANUAL





# Resultados y Discusión

Isoyetas de precipitación acumulada anual y sus anomalías  
 Período 2010-2013



Figuras 3.9. Isoyetas de: a) Un año con sequía incipiente (2010) y b) sus anomalías de

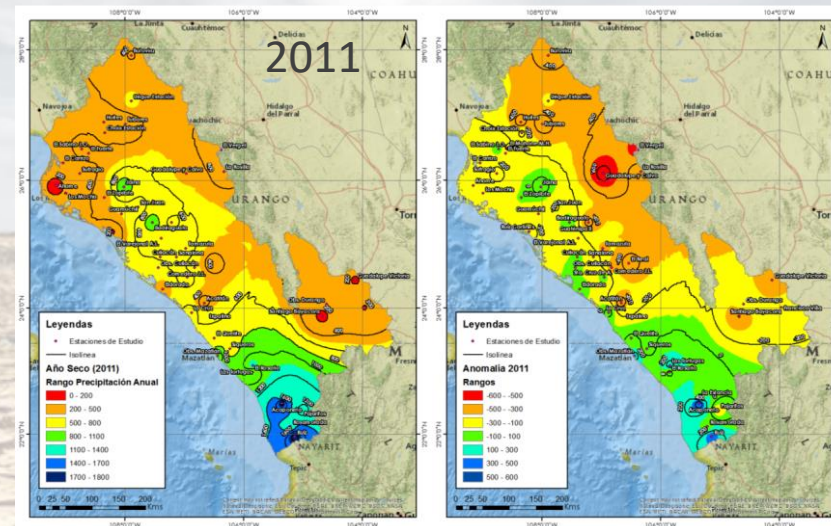


Figura 3.10. Isoyetas de: a) un año con sequía muy intensa y presencia de helada al principios del mes de febrero (2011) y b) sus anomalías.

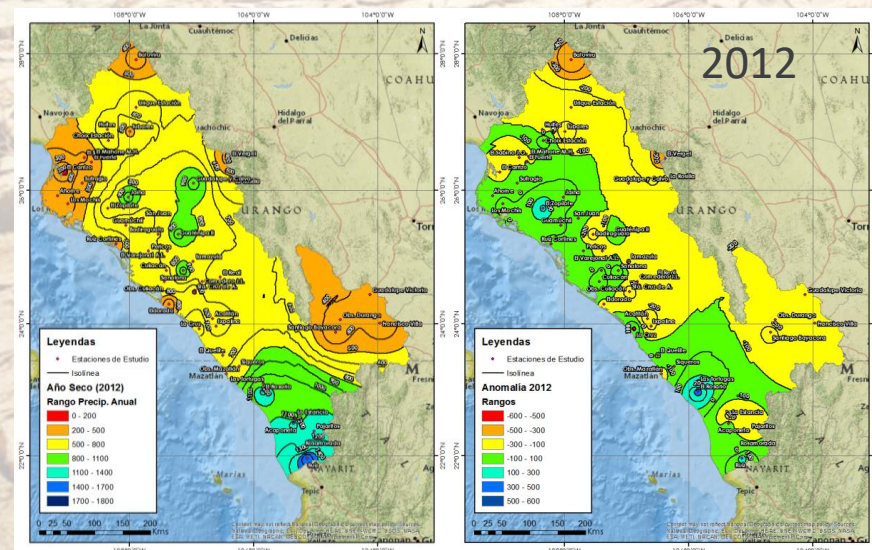


Figura 3.11. Isoyetas de: a) un año con sequía reciente (2012) y b) sus anomalías.

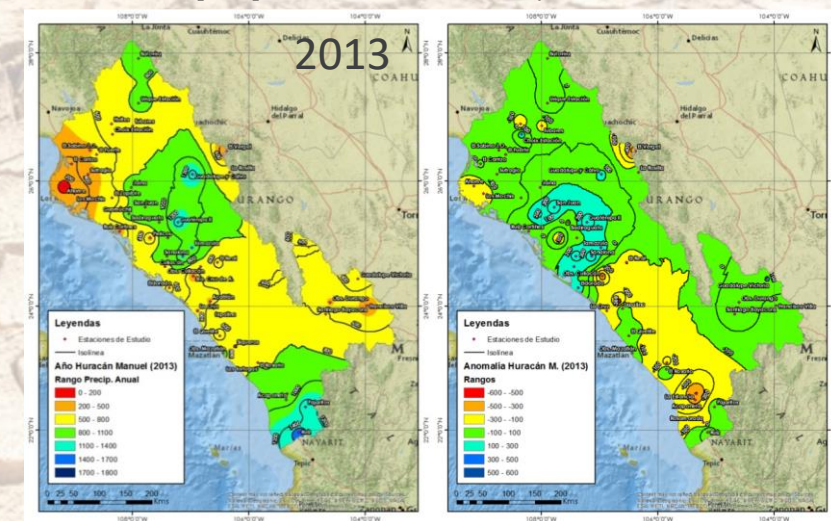


Figura 3.12. Isoyetas de: a) un año inicialmente seco con la presencia del huracán Manuel (2013) y b) sus anomalías.



# Resultados y Discusión

## Isoyetas de precipitación acumulada anual y sus anomalías: Período 2014-2015

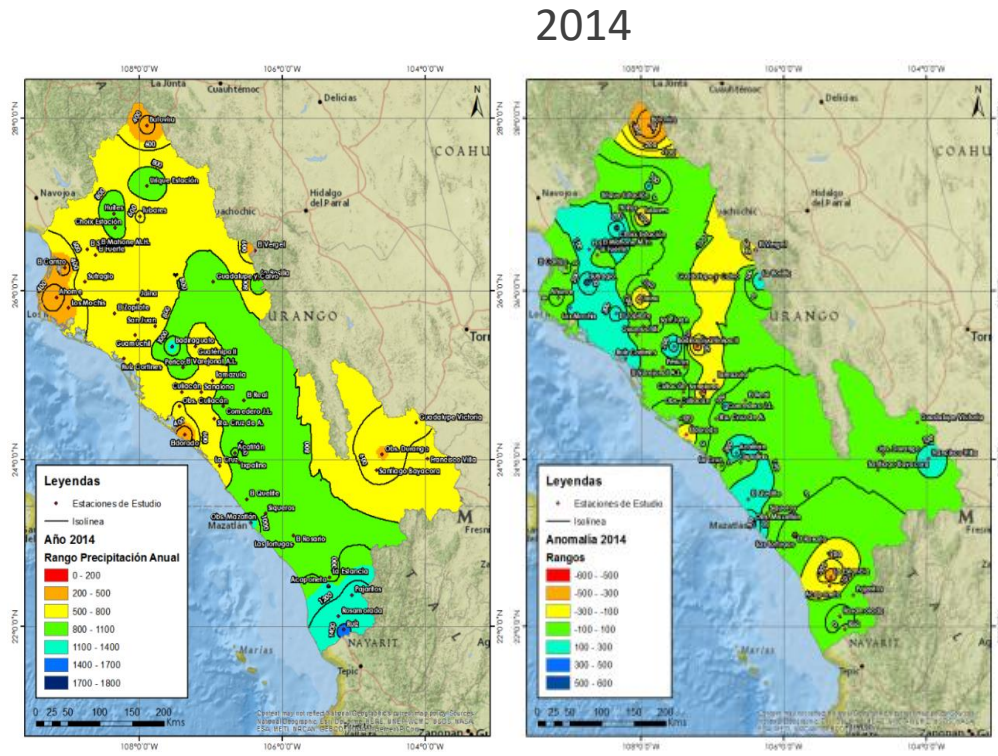


Figura 3.13. Isoyetas de: a) un año de normal a húmedo reciente (2014) y b) sus anomalías.

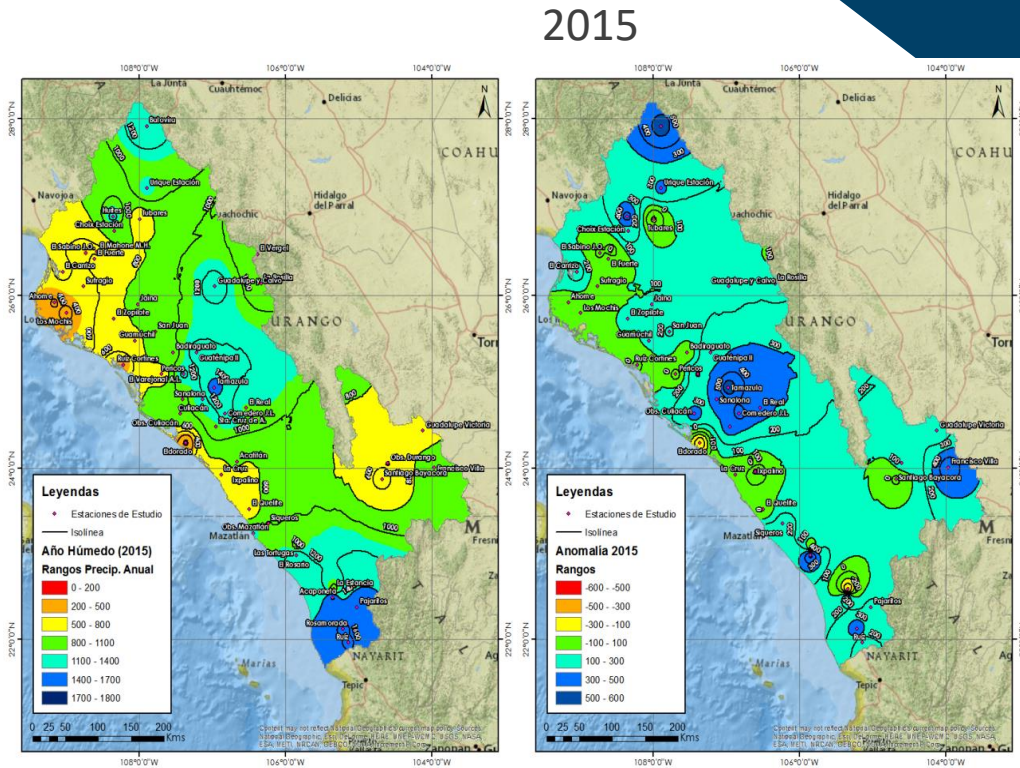


Figura 3.14. Isoyetas de: a) un año húmedo reciente (2015) con la presencia del fenómeno de El Niño y b) sus anomalías.

# Resultados y Discusión

Evolución de la sequía: período julio-octubre 2011

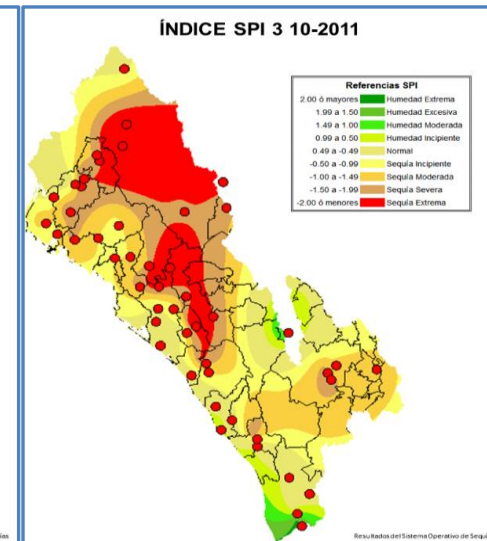
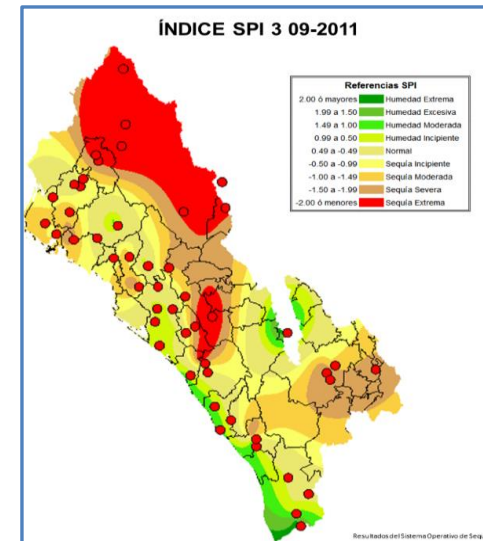
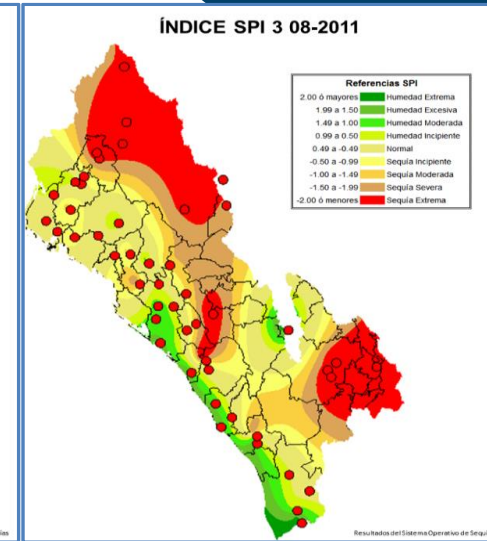
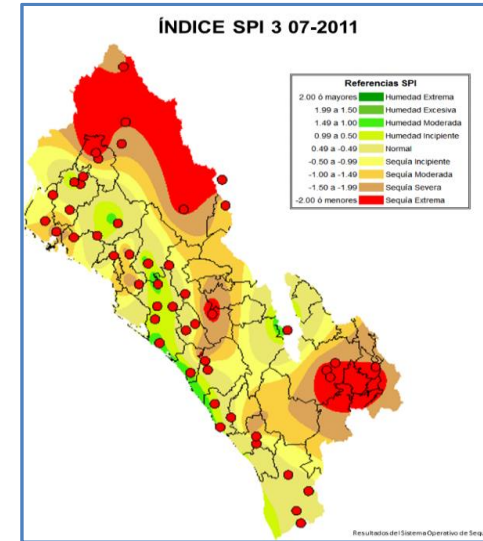
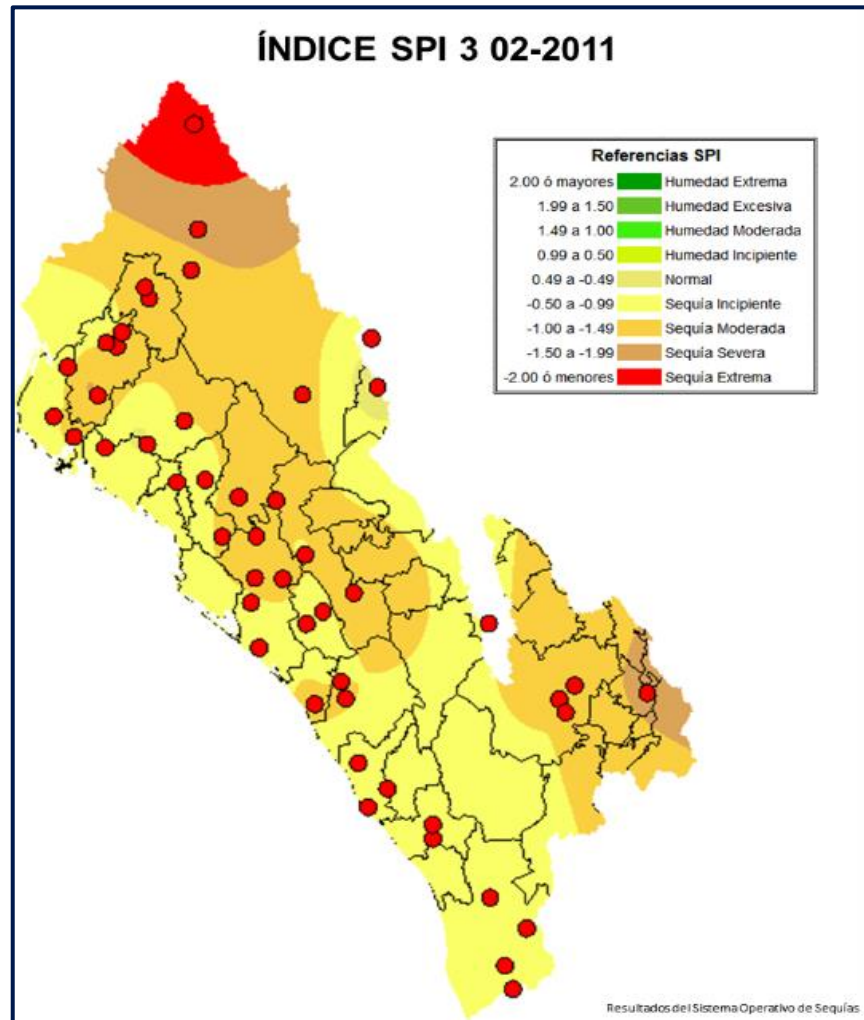


Figura 3.16.: Mapas de evolución de la sequía en el OCPN, durante el período julio-octubre de 2011; según el Índice de Precipitación Estandarizado de 3 meses (SPI3).



# Resultados y Discusión

Evolución de la sequía:  
Índice SPI 3 para el mes  
de septiembre, período  
2012-2015

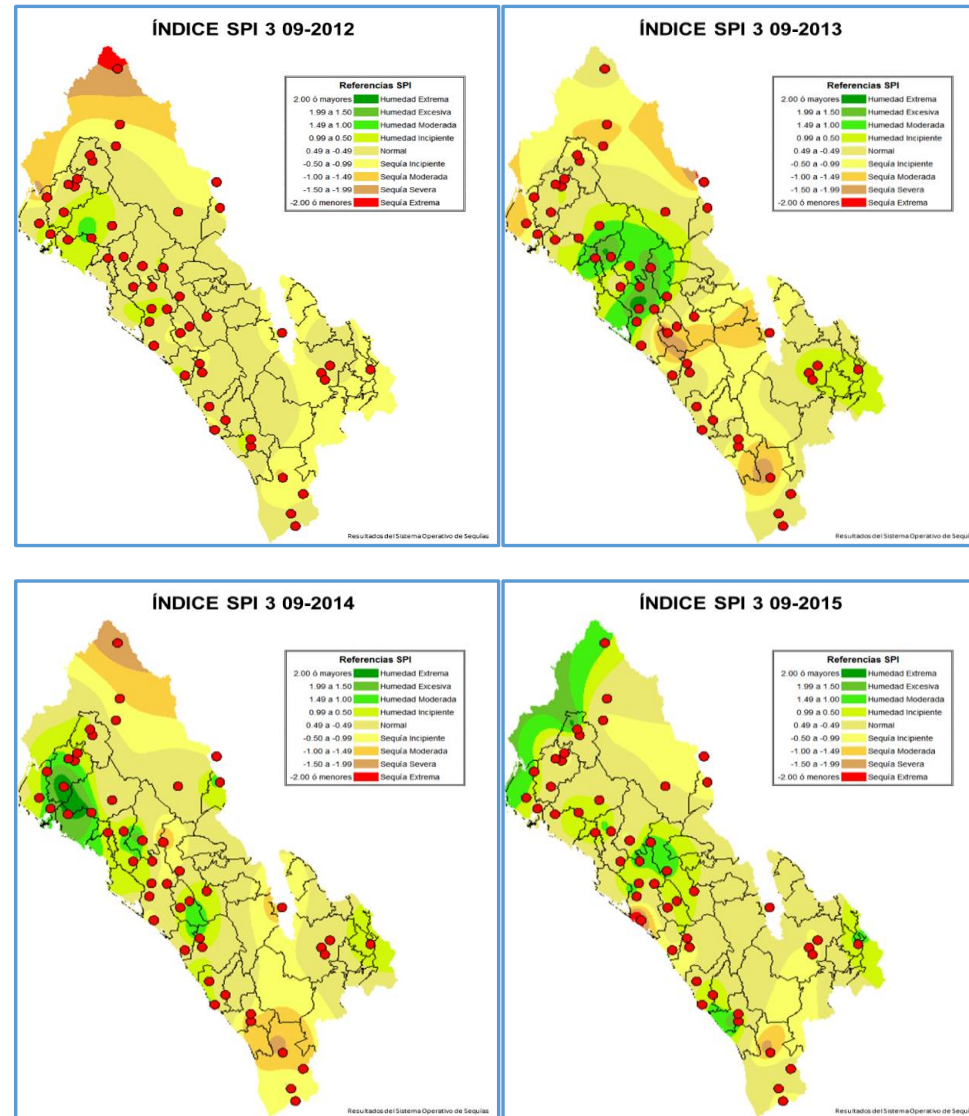


Figura 3.17. Mapas de evolución de la sequía en el OCPN, para el mes de septiembre en los años 2012, 2013, 2014 y 2015 estimado a partir del SPI3.

# Resultados y Discusión

Evolución de la sequía: Índice PDSI para el mes de septiembre, período 2012-2015

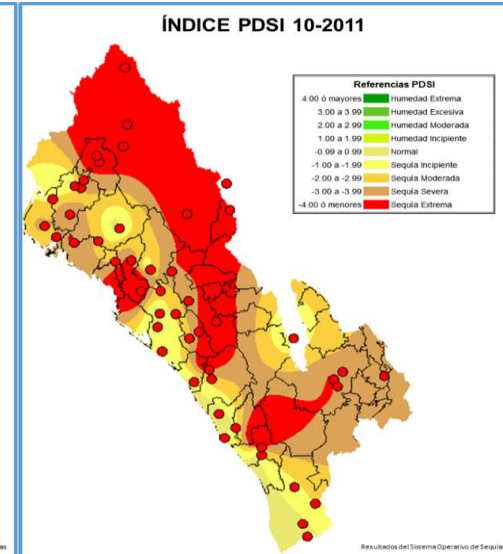
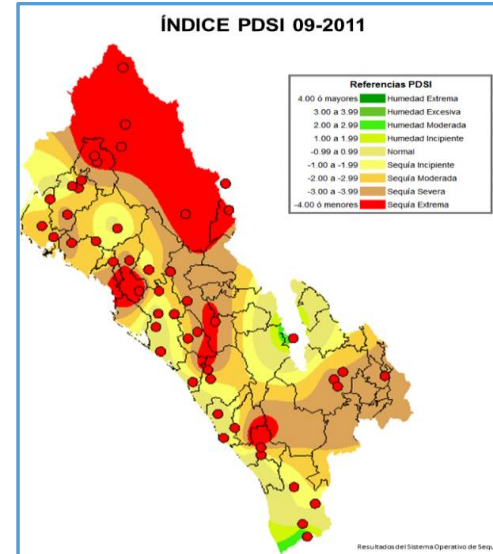
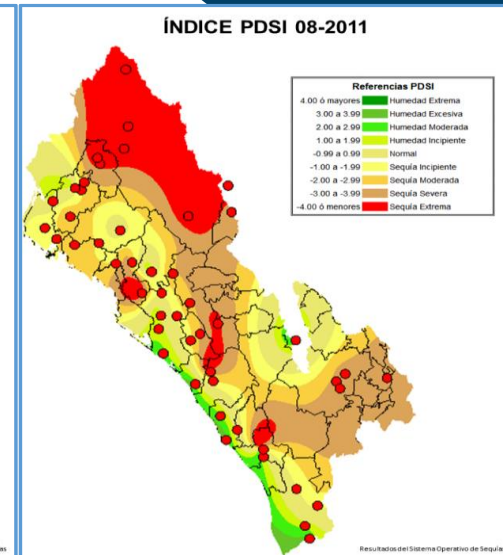
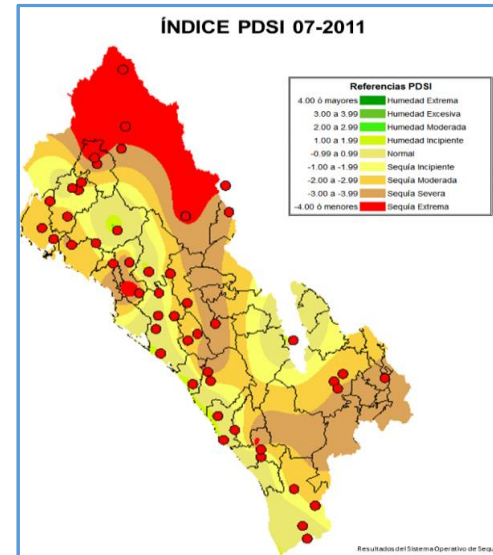
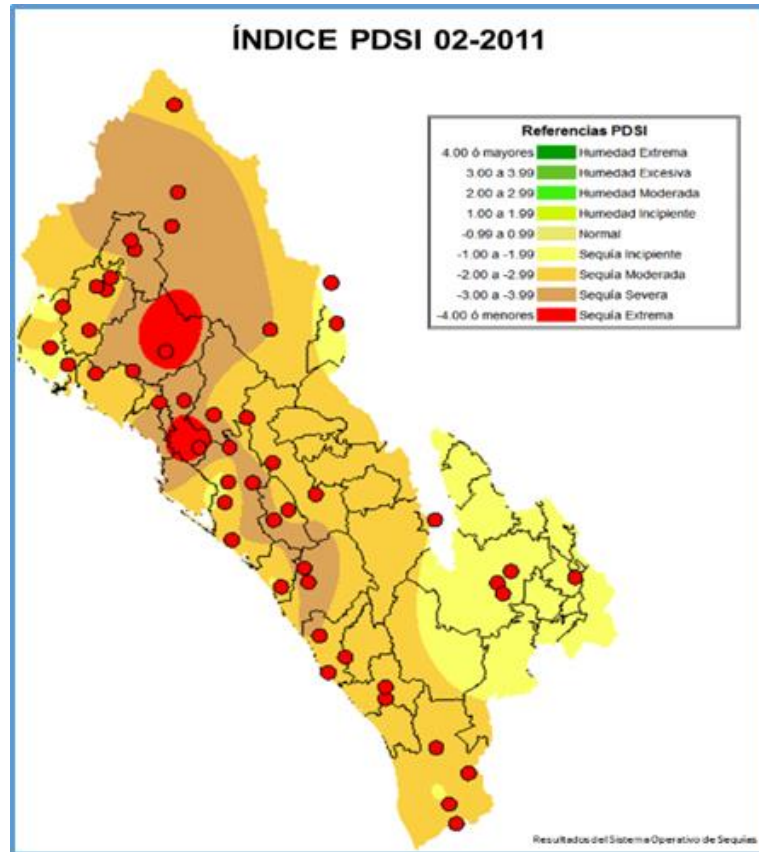


Figura 3.19. Mapas de evolución de la sequía del Índice de Severidad de Sequía de Palmer (PDSI) en el OCPN para el período julio-octubre de 2011.



# Resultados y Discusión

Evolución de la sequía: Índice NDVI para el mes de septiembre, período 2010-2015

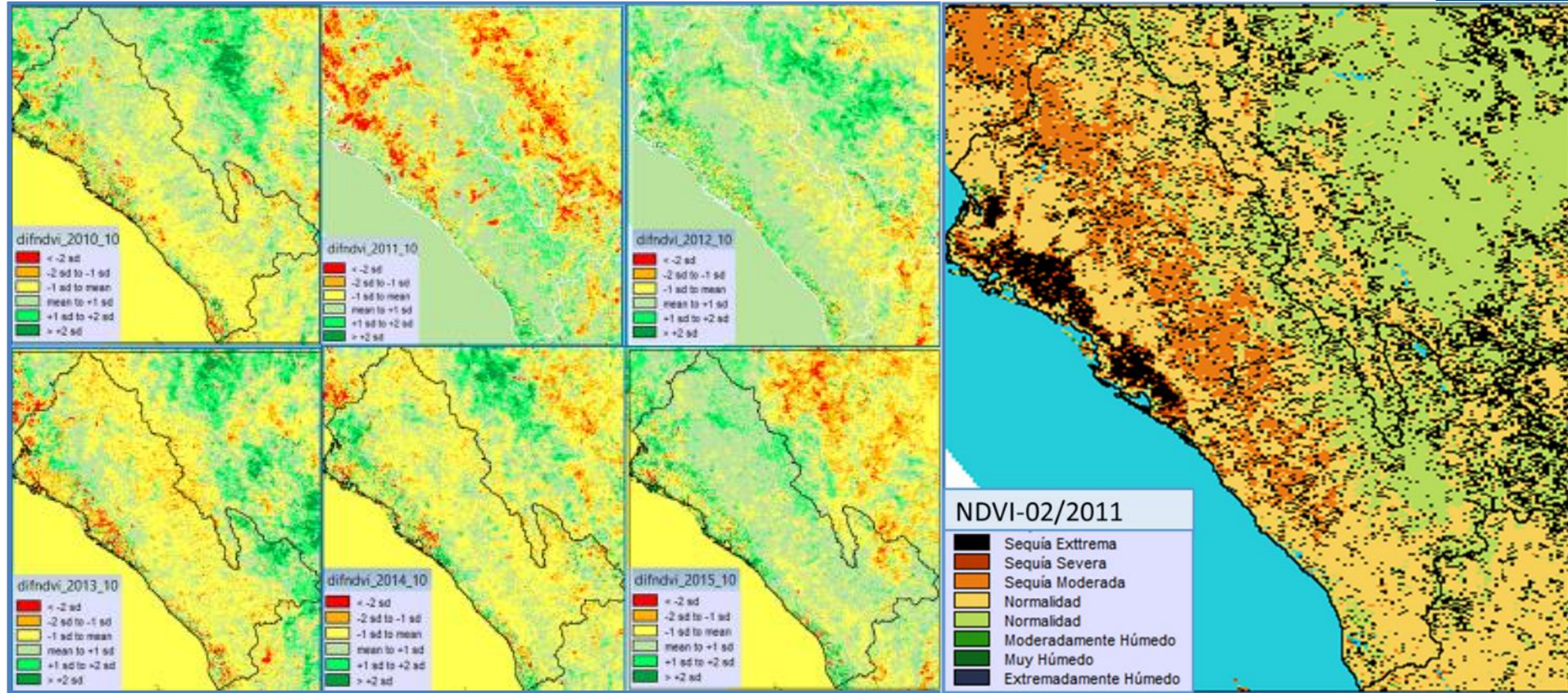
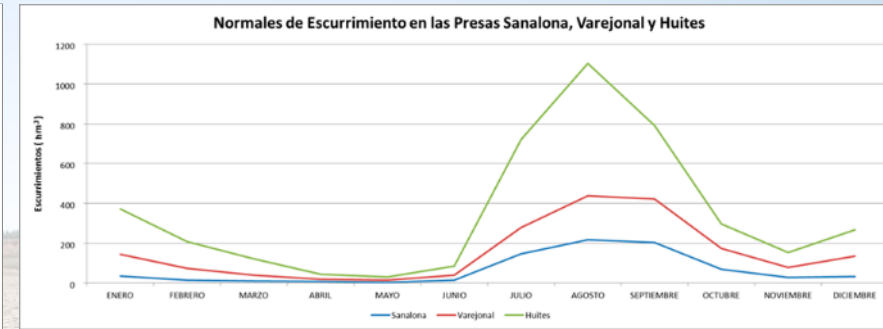
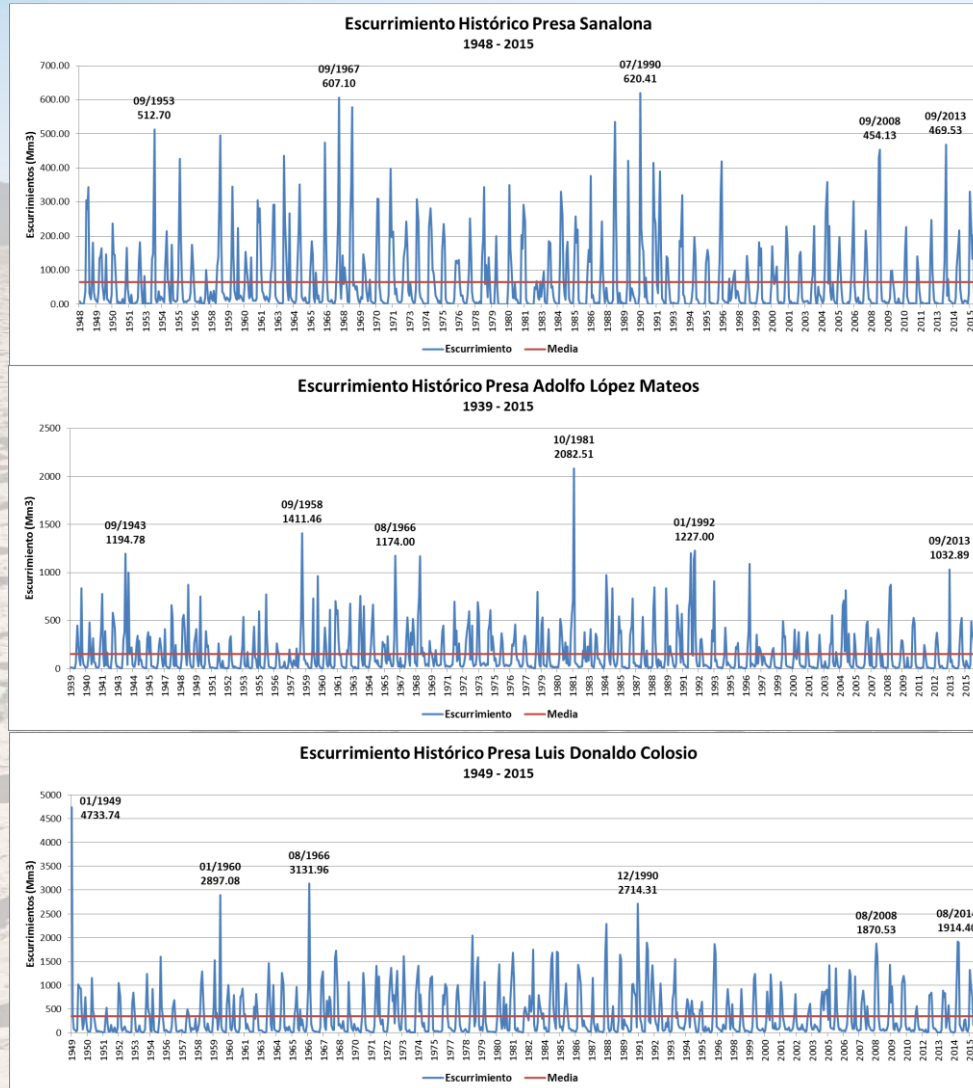


Figura 3.21: Variabilidad espacial de la sequía en el OCPN mediante el NDVI, correspondiente al mes de septiembre de los años: 2010, 2011, 2012, 2013, 2014 y 2015.



# Resultados y Discusión



Variación mensual de escurrencios históricos de ingreso a las presas Sanalona, Adolfo López Mateos y Luis Donaldo Colosio.

Figura 3.23. Variación mensual de escurrencios históricos de ingreso a las presas Sanalona, Adolfo López Mateos y Luis Donaldo Colosio.

# Resultados y Discusión

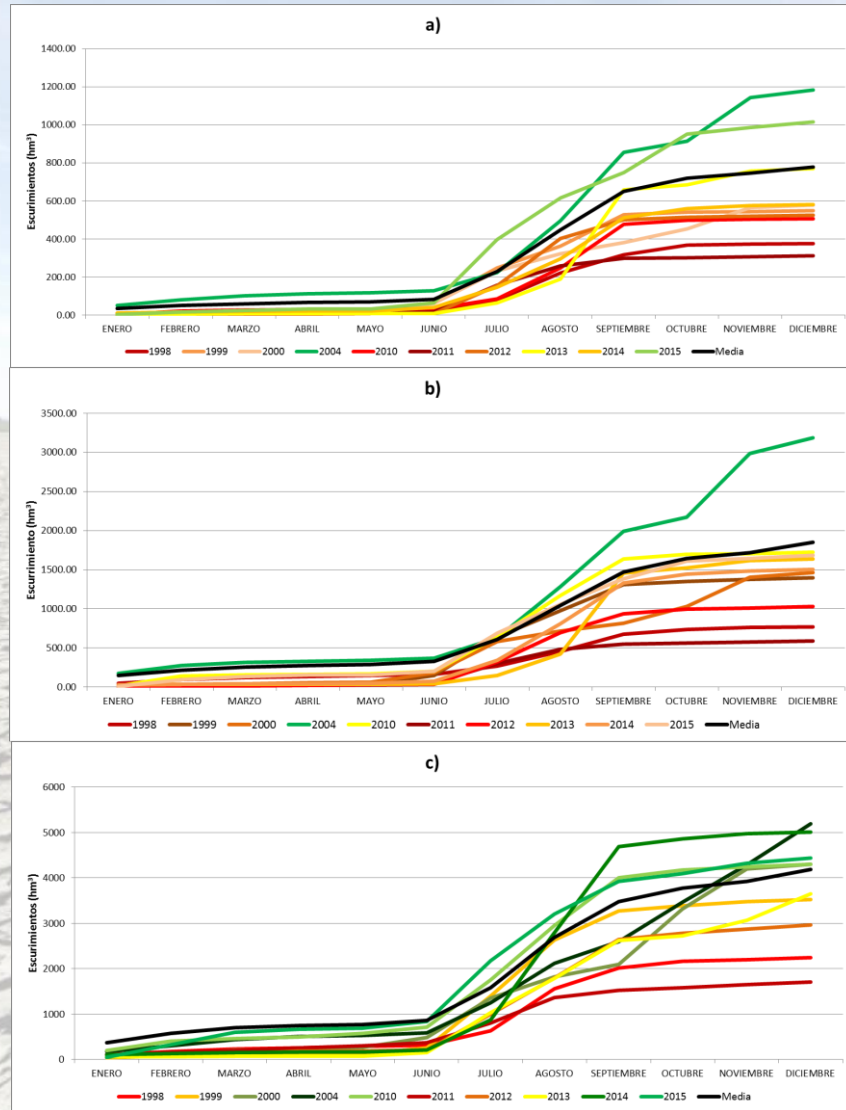


Figura 3.25. Escurreamiento acumulado mensual en las presas a) Sanalona, b) Adolfo López Mateos y c) Luis Donaldo Colosio.

## Escurreimiento acumulado mensual Vs SPI 12

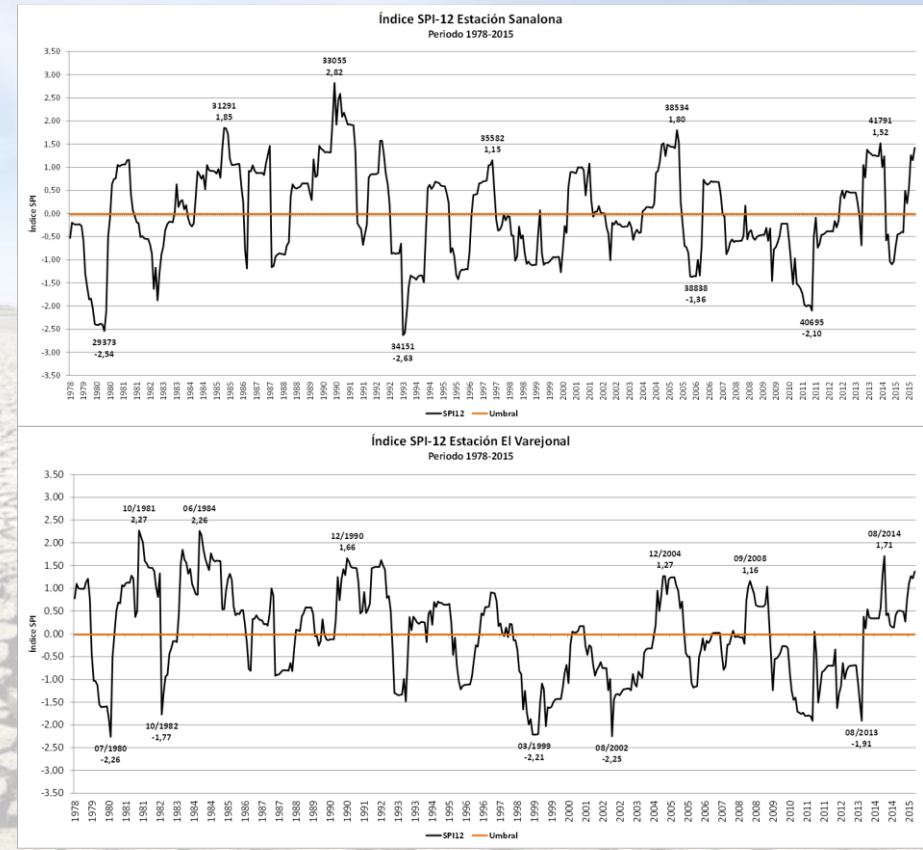
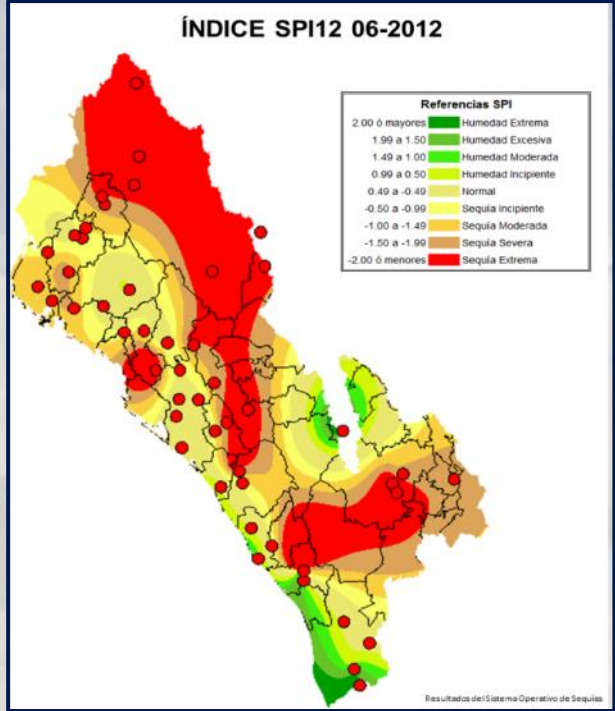


Figura 3.26. Valores del SPI12 de la Estación Sanalona y la Estación Varejónal, en el periodo 1978-2015



# Resultados y Discusión



PRESA SANALONA JUNIO DE 2012

# Resultados y Discusión

Variación de los índices de Escurrimiento SDI e le de las presas Sanalona, Varejonal y Huites

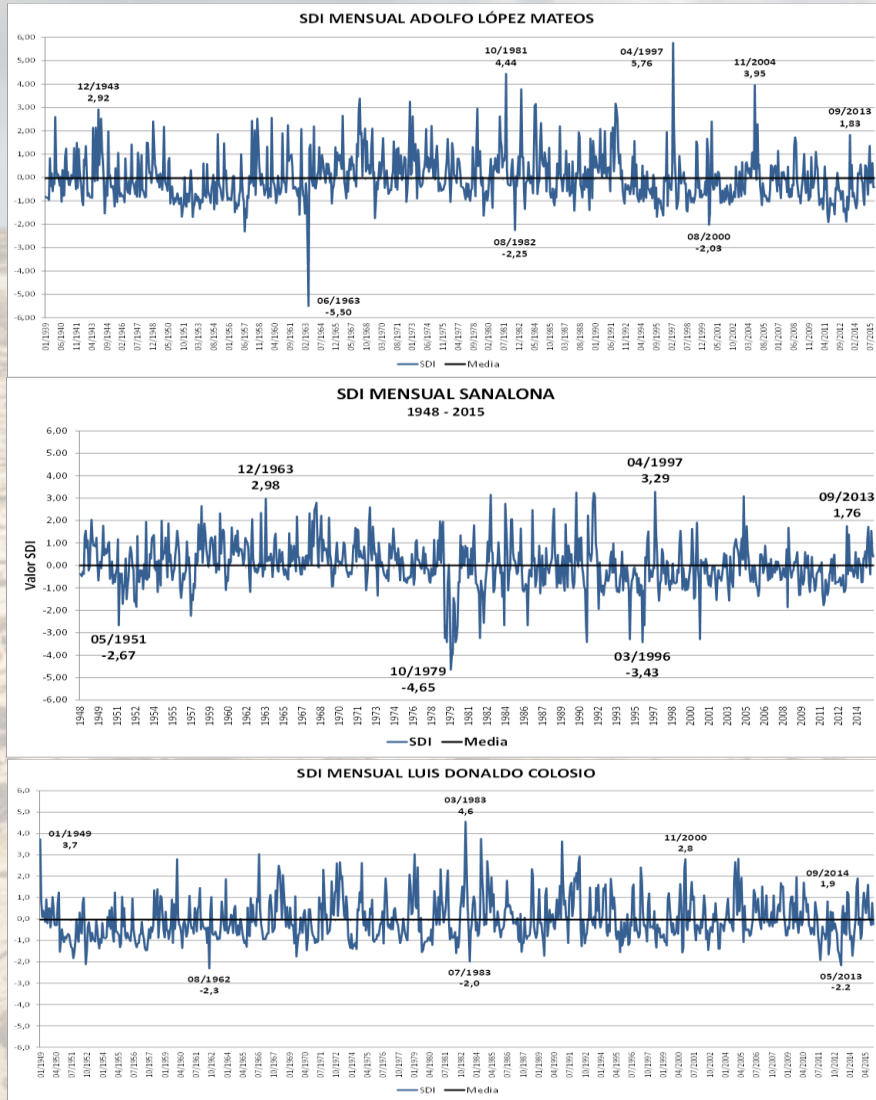


Figura 3.28. Variación del índice de escurrimiento de sequía (SDI) mensual, en Sanalona, Varejonal y Huites.

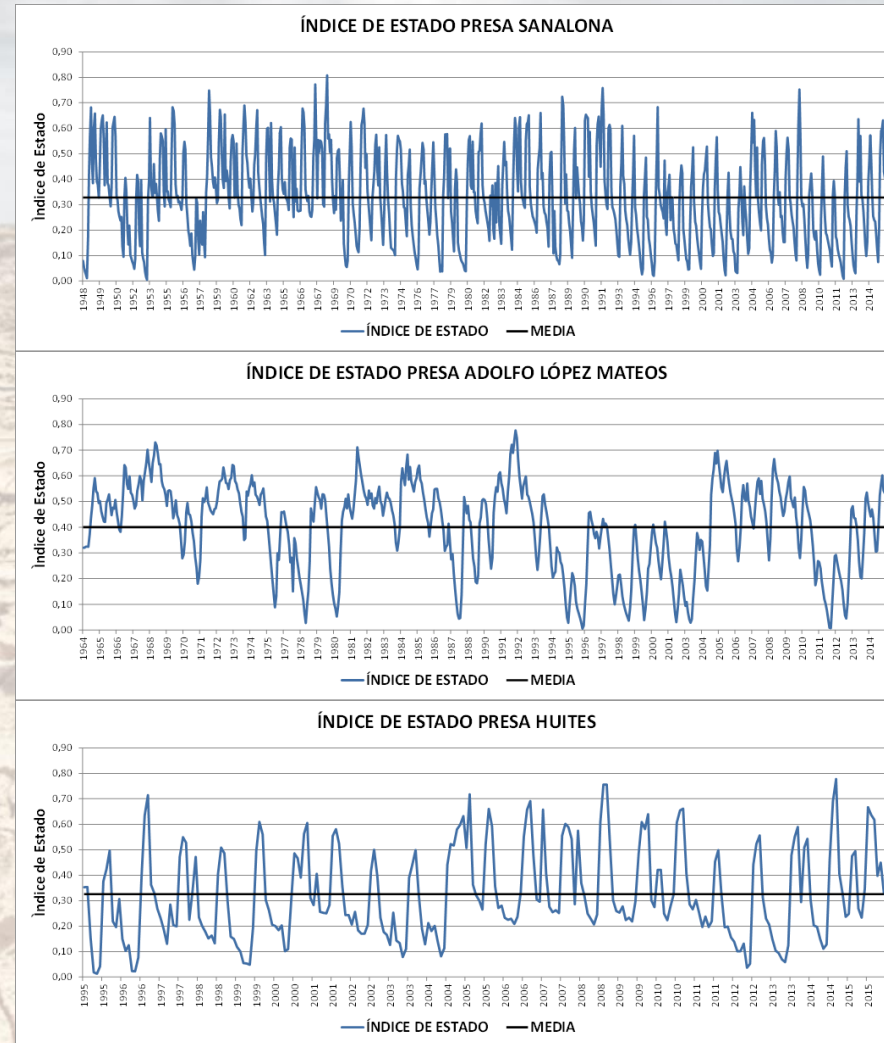
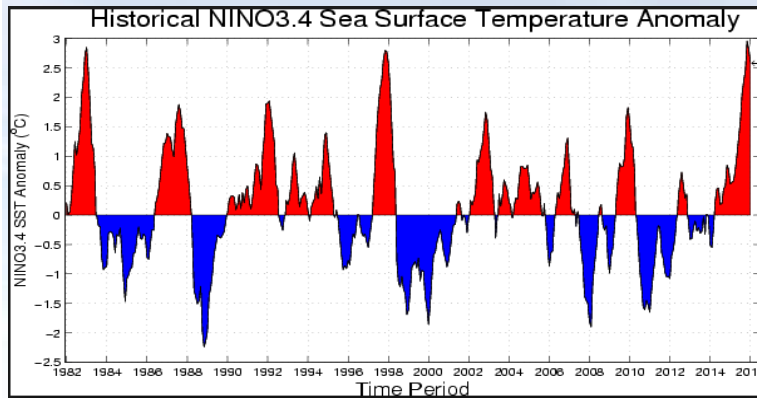


Figura 3.29. Variación del índice de Estado de Presas (Ie) en las presas Sanalona, Varejonal y Huites.



# Resultados y Discusión



UBICACIÓN HISTÓRICA DEL EVENTO	DURACIÓN DEL EVENTO LA NIÑA																								INTENSIDAD
	AÑO 1												AÑO 2												
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
1984																								Fuerte	
1988																								Fuerte	
1995																								Debil	
1998																								Fuerte	
2000																								Fuerte	
2007																								Fuerte	
2010																								Moderado	
2012																								Moderado	

Tabla 3.7: Valores de  $R^2$  de variables e índices meteorológicos Vs anomalías de El Niño en estaciones climatológicas del OCPN, período 1982-2015.

Valor de $R^2$ de variables e índices meteorológicos Vs las Anomalías de El Niño						
Índices Meteorológicos	Estación Climatológica					
	Culiacán	El Comedero	El Varejonal	Guamúchil	Huites	Sanalona
Precipitación	0,00813	0,00646	0,00632	0,00244	0,01276	0,00542
PDSI	0,07447	0,09891	0,06230	0,02252	0,05903	0,05939
SPI 3	0,06816	0,05515	0,06612	0,02557	0,09550	0,06200

Tabla 3.8: Valores de  $R^2$  de variables e índices hidrológicos Vs anomalías de El Niño en estaciones climatológicas del OCPN, período 1982-2015.

Valor de $R^2$ de las variables e índices hidrológicos Vs las Anomalías de El Niño							
Índices Hidrológicos	Presas						
	ALM	AB	EB	GDO	JLP	LDC	SAN
Escorrimento	0,00831	0,00243	0,00155	0,00628	0,01081	0,00553	0,00274
SDI	0,03307	0,00152	0,01378	0,03305	0,03097	0,02165	0,01886

Nomenclatura: ALM (Adolfo López Mateos), AB (Aurelio Benassini), EB (Eustaquio Buelna), GDO (Gustavo Díaz Ordaz), JLP (José López Portillo), LDC (Luis Donald Colosio) y SAN (Sanalona)

# Resultados y Discusión



Tabla 3.9. Pronóstico del SPI3 a 1, 2 y 3 meses de la estación Varejonal, año 2015.

Estación El Varejonal					
Año	Mes	Índice SPI 3			
2015	Enero	Mes	Febrero	Marzo	Abril
		Pronóstico	0,03	0,15	0,23
		Observado	-0,10	0,58	1,18
	Febrero	Mes	Marzo	Abril	Mayo
		Pronóstico	0,65	0,60	0,28
		Observado	1,18	1,77	1,49
	Marzo	Mes	Abril	Mayo	Junio
		Pronóstico	1,13	0,72	0,35
		Observado	1,77	1,49	0,73
	Abril	Mes	Mayo	Junio	Julio
		Pronóstico	1,17	0,60	0,24
		Observado	1,49	0,73	0,55
	Mayo	Mes	Junio	Julio	Agosto
		Pronóstico	0,90	0,38	0,21
		Observado	0,73	0,55	1,09
	Junio	Mes	Julio	Agosto	Septiembre
		Pronóstico	0,30	0,37	0,60
		Observado	0,55	1,09	1,33
	Julio	Mes	Agosto	Septiembre	Octubre
		Pronóstico	0,36	0,39	0,27
		Observado	1,09	1,33	1,11

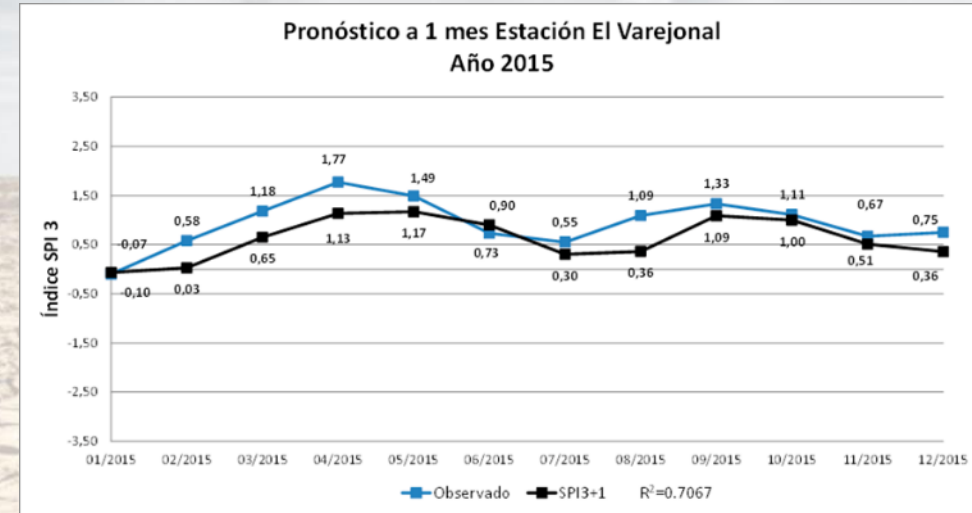


Tabla 3.10. Coeficiente de determinación ( $R^2$ ), coeficiente de concordancia (d) y errores absoluto medio (MAE), cuadrático medio (MRSE) y por ciento del cuadrático medio (%MRSE) entre valores calculados y pronosticados del SPI3 mensual para las localidades Culiacán, Sanalona, El Varejonal y Huites para el año 2015 (n=12).

Fecha	Índice SPI 3 Estación El Varejonal				Índice SPI 3 Estación Culiacán				Índice SPI 3 Estación Sanalona				Índice SPI 3 Estación Huites			
	Obs.	SPI3+1	SPI3+2	SPI3+3	Obs.	SPI3+1	SPI3+2	SPI3+3	Obs.	SPI3+1	SPI3+2	SPI3+3	Obs.	SPI3+1	SPI3+2	SPI3+3
ene-15	-0,10	-0,07	0,22	0,40	0,05	0,33	-0,02	-0,04	-0,01	-0,08	-0,30	0,04	0,04	-0,47	0,50	0,36
feb-15	0,58	0,03	0,03	0,31	0,32	0,11	0,42	0,15	0,52	0,04	-0,03	-0,26	0,20	-0,02	-0,55	0,42
mar-15	1,18	0,65	0,15	0,13	1,00	-0,05	-0,23	0,09	1,51	0,63	0,09	0,02	0,72	0,63	0,20	-0,15
abr-15	1,77	1,13	0,60	0,23	1,64	0,78	-0,16	-0,31	2,22	1,44	0,59	0,08	1,32	0,56	0,50	0,22
may-15	1,49	1,17	0,72	0,28	1,77	1,49	0,73	-0,19	2,79	1,78	1,11	0,39	1,27	1,20	0,45	0,32
jun-15	0,73	0,90	0,60	0,35	0,70	1,40	1,14	0,43	1,01	1,95	0,95	0,52	0,55	1,02	0,93	0,25
jul-15	0,55	0,30	0,38	0,24	-0,28	0,28	0,94	0,73	1,14	0,10	1,07	0,15	1,71	0,20	0,65	0,57
ago-15	1,09	0,36	0,37	0,21	0,42	-0,41	0,09	0,62	0,43	0,36	-0,28	0,34	2,05	1,53	0,00	0,48
sep-15	1,33	1,09	0,39	0,60	0,66	0,48	-0,18	0,30	0,40	0,47	0,40	0,05	2,19	1,72	1,60	0,13
oct-15	1,11	1,00	0,93	0,27	1,89	0,88	0,67	0,18	0,62	0,19	0,28	0,37	1,44	1,39	1,01	0,95
nov-15	0,67	0,51	0,42	0,47	1,48	1,36	0,64	0,43	1,07	0,58	-0,01	0,14	1,33	0,90	0,91	0,53
dic-15	0,75	0,36	0,18	0,18	1,69	1,07	1,04	0,40	1,29	0,92	0,50	-0,04	0,72	0,98	0,56	0,61
CDE	$R^2$	0,7067	0,2324	0,0271	$R^2$	0,3947	0,0183	0,1958	$R^2$	0,5346	0,4180	0,0415	$R^2$	0,5346	0,4180	0,0415
	d	0,8157	0,5447	0,4147	d	0,7371	0,4261	0,3551	d	0,7867	0,6043	0,4454	d	0,7867	0,6043	0,4454
	MAE	0,3440	0,5671	0,7070	MAE	0,5581	0,8152	0,9149	MAE	0,5518	0,7187	0,9405	MAE	0,5518	0,7187	0,9405
	RMSE	0,4049	0,6638	0,8096	RMSE	0,6447	0,9565	1,1356	RMSE	0,6560	0,9264	1,1976	RMSE	0,6560	0,9264	1,1976
	%RMSE	43,5788	71,4417	87,1361	%RMSE	68,2192	101,2190	120,1713	%RMSE	60,6039	85,5804	110,6371	%RMSE	60,6039	85,5804	110,6371



# Resultados y Discusión



Tabla 3.11. Pronóstico del Índice de Severidad de Sequía de Palmer (PDSI) a 1, 2 y 3 meses de la estación Varejonal, año 2015.

Estación El Varejonal					
Año	Mes	Índice PDSI			
2015	Enero	Mes	Febrero	Marzo	Abril
		Pronostico	-1.07	-1.12	-1.10
		Observado	0.90	1.20	1.00
	Febrero	Mes	Marzo	Abril	Mayo
		Pronostico	0.94	0.90	0.97
		Observado	1.20	1.00	0.80
	Marzo	Mes	Abril	Mayo	Junio
		Pronostico	1.19	1.27	1.29
		Observado	1.00	0.80	1.00
	Abril	Mes	Mayo	Junio	Julio
		Pronostico	0.98	0.96	1.10
		Observado	0.80	1.00	1.00
	Mayo	Mes	Junio	Julio	Agosto
		Pronostico	0.75	0.86	0.85
		Observado	1.00	1.00	2.00
	Junio	Mes	Julio	Agosto	Septiembre
		Pronostico	1.08	1.07	1.06
		Observado	1.00	2.00	2.30
	Julio	Mes	Agosto	Septiembre	Octubre
		Pronostico	1.03	1.05	1.05
		Observado	2.00	2.30	2.30
	Agosto	Mes	Septiembre	Octubre	Noviembre
		Pronostico	2.05	2.00	2.01
		Observado	2.30	2.30	2.40
Septiembre	Mes	Octubre	Noviembre	Diciembre	
	Pronostico	2.23	2.24	2.14	
	Observado	2.30	2.40	2.70	
Octubre	Mes	Noviembre	Diciembre	Enero	
	Pronostico	2.42	2.44	2.49	
	Observado	2.40	2.70	-0.30	
Noviembre	Mes	Diciembre	Enero	Febrero	
	Pronostico	2.39	2.46	2.51	
	Observado	2.70	-0.30	-0.60	
Diciembre	Mes	Enero	Febrero	Marzo	
	Pronostico	2.58	2.49	2.43	
	Observado	-0.30	-0.60	-0.50	

Tabla 3.12: Coeficiente de determinación ( $R^2$ ), coeficiente de concordancia (d) y errores y errores absoluto medio (MAE), cuadrático medio (MRSE), d y porcentaje del cuadrático medio (%MRSE) entre valores calculados y pronosticados del PDSI mensual para las localidades Culiacán, Sanalona, El Varejonal y Huites para el año 2015 (n=12).

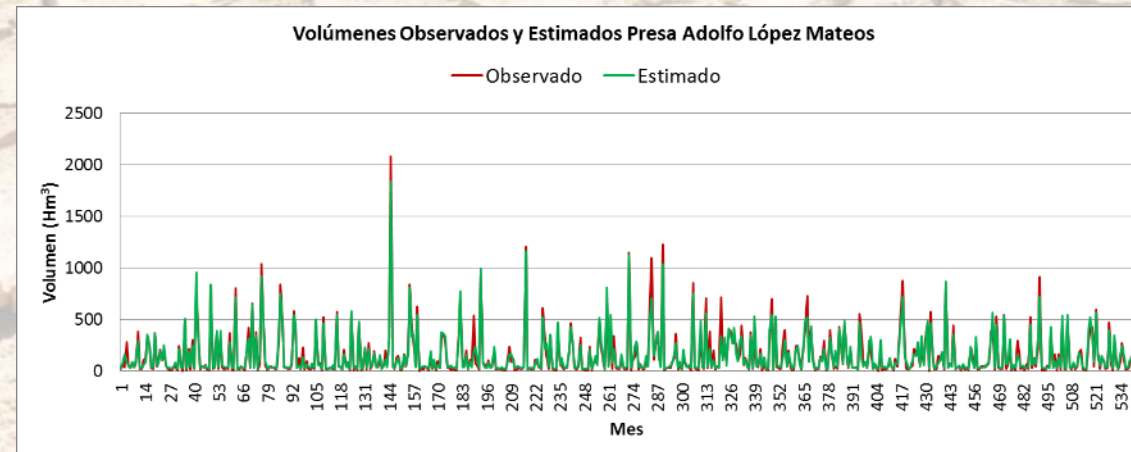
Fecha	Índice PDSI Estación El Varejonal				Índice PDSI Estación Culiacán				Índice PDSI Estación Sanalona				Índice PDSI Estación Huites			
	Obs.	PDSI+1	PDSI+2	PDSI+3	Obs.	PDSI+1	PDSI+2	PDSI+3	Obs.	PDSI+1	PDSI+2	PDSI+3	Obs.	PDSI+1	PDSI+2	PDSI+3
ene-15	-1.10	-0.85	-0.21	-0.43	1.10	-0.84	1.99	2.11	-2.20	-1.94	-1.42	-1.39	-0.90	-0.65	-0.66	-0.33
feb-15	0.90	-1.07	-0.82	-0.21	0.40	-1.69	-1.37	1.79	0.80	-2.11	-1.75	-1.32	0.40	-0.89	-0.77	-0.67
mar-15	1.20	0.94	-1.12	-0.92	0.80	0.38	-1.83	-1.54	2.20	1.18	-1.83	-1.56	0.50	0.23	-1.07	-0.78
abr-15	1.00	1.19	0.90	-1.10	0.60	0.86	0.28	-1.90	1.90	2.58	1.38	-1.57	0.90	0.17	0.09	-1.03
may-15	0.80	0.98	1.27	0.97	0.40	0.61	0.87	0.13	2.20	1.82	2.53	1.08	0.70	0.90	0.13	-0.08
jun-15	1.00	0.75	0.96	1.29	0.50	0.15	0.46	0.71	2.50	2.22	1.68	2.57	0.50	0.72	0.88	0.00
jul-15	1.10	1.08	0.86	1.10	0.00	0.51	0.11	0.49	3.00	2.41	2.08	2.09	2.40	0.26	0.62	0.85
ago-15	2.10	1.03	1.07	0.85	0.60	-0.22	0.37	0.00	2.30	2.87	2.34	1.76	3.40	2.10	0.08	0.63
sep-15	2.30	2.05	1.05	1.06	1.10	0.56	-0.48	0.15	2.40	1.92	2.56	2.06	3.50	3.58	2.06	-0.20
oct-15	2.30	2.23	2.00	1.05	3.50	1.05	0.42	-0.76	3.50	2.21	1.57	2.26	3.80	3.80	3.96	2.49
nov-15	2.40	2.42	2.24	2.01	3.90	4.01	1.07	0.38	3.30	2.97	1.99	1.29	4.40	4.11	3.93	4.06
dic-15	2.70	2.39	2.44	2.14	5.10	3.99	4.17	0.98	3.90	3.18	2.57	1.77	-0.10	4.53	4.37	4.08
ene-16	-0.30	2.58	2.46	2.49	4.60	5.09	4.15	4.19	3.40	3.62	2.84	1.86	0.31	4.66	4.55	1.86
feb-16	-0.60	-0.34	2.49	2.51	3.90	3.98	4.70	3.96	2.80	3.07	3.36	2.58	-1.09	0.20	4.77	2.58
mar-16	-0.50	-0.39	-0.22	2.43	3.70	3.49	3.64	4.31	2.70	2.52	2.72	3.04	-0.97	-1.02	-0.66	3.04
CDE	$R^2$	0.4407	0.0720	0.0004	$R^2$	0.7889	0.6082	0.2616	$R^2$	0.7284	0.4655	0.4242	$R^2$	0.4918	0.1341	0.0028
	d	0.8197	0.5792	0.3880	d	0.9185	0.8461	0.6912	d	0.8983	0.7552	0.6814	d	0.8427	0.6534	0.4730
	MAE	0.5387	0.9940	1.3312	MAE	0.7730	1.0793	1.5155	MAE	0.6781	1.0562	1.3756	MAE	0.8289	1.5113	2.0687
	RMSE	0.9596	1.4007	1.6694	RMSE	1.0745	1.4815	2.0714	RMSE	0.9523	1.4853	1.7610	RMSE	1.4364	2.1503	2.6895
	%MRSE	94,0813	137,3274	163,6648	%MRSE	53,3711	73,5838	102,8817	%MRSE	41,1650	64,2057	76,1218	%MRSE	126,0042	188,6193	235,9215

# Resultados y Discusión

Tabla 3.13: Coeficiente de determinación ( $R^2$ ), coeficiente de concordancia de Willmott (d) y errores absoluto medio (MAE), cuadrático medio (RMSE), y porciento del cuadrático medio (%RMSE) entre valores calculados y pronosticados de los volúmenes mensuales de ingreso a la presa Sanalona para el año 2015 (n=12).

**Coefficientes de determinación y errores (CDE) de los diferentes modelos de redes neuronales utilizados para Pronósticos Hidrológicos en La Cuenca del Río Tamazula**

CDE	Multilayer Perceptron (1 Layer)	Multilayer Perceptron (2 Layer)	Modular Neural Network	Generalized Feed Forward
$R^2$	0,542171907	0,928662884	0,768426477	0,900118239
d	0,674225011	0,973575416	0,901128437	0,925129004
MAE	50,66053842	20,89384833	35,19934267	49,15773783
RMSE	86,91458247	31,29715596	54,63757679	52,70163672
%RMSE	102,5611389	36,93133958	64,47355486	62,18910256

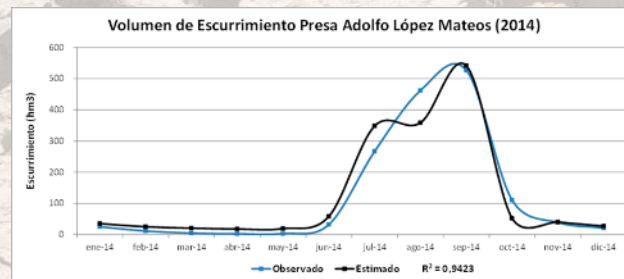
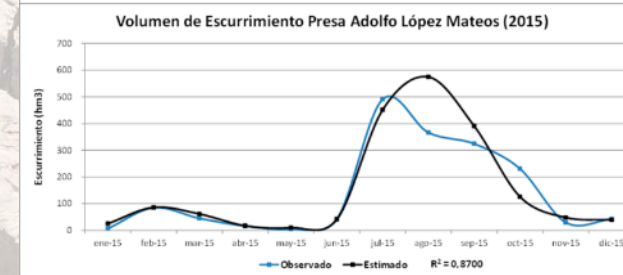
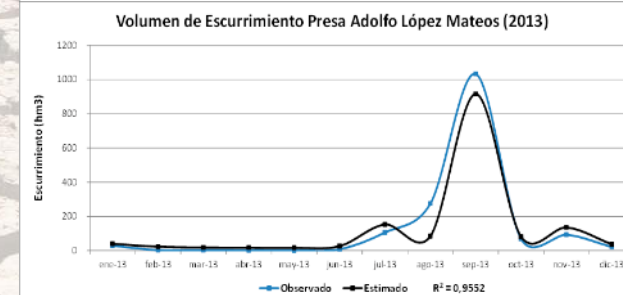
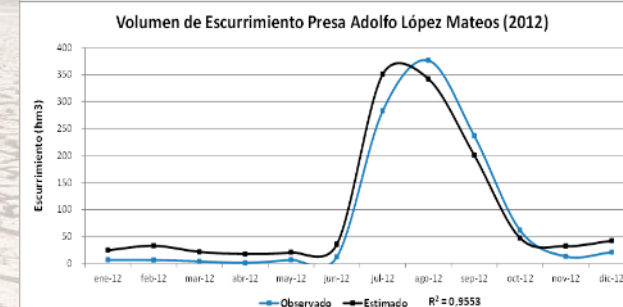
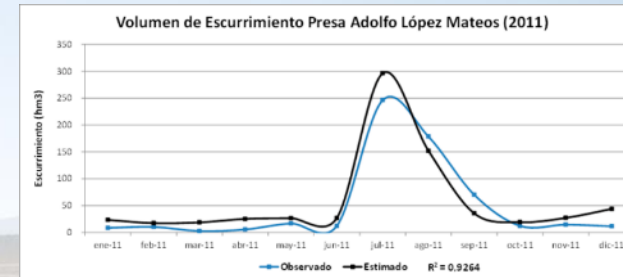




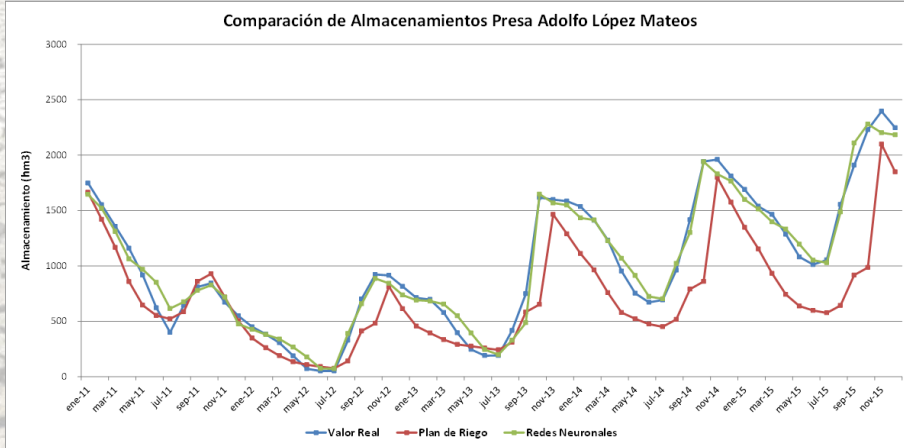
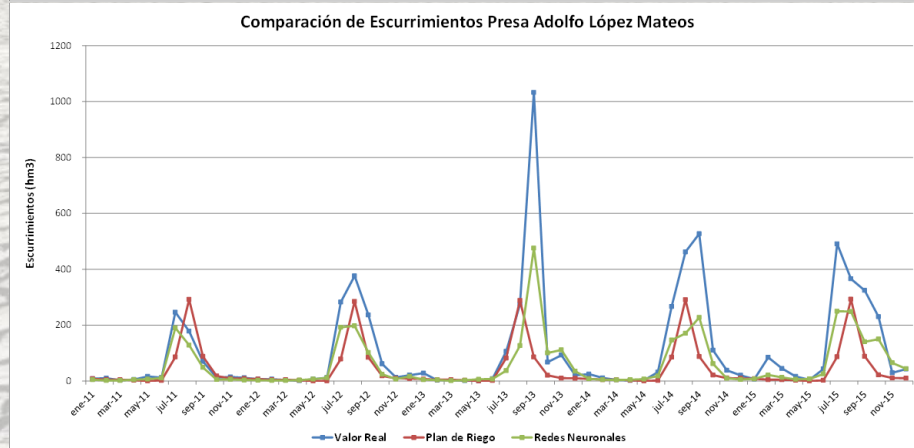
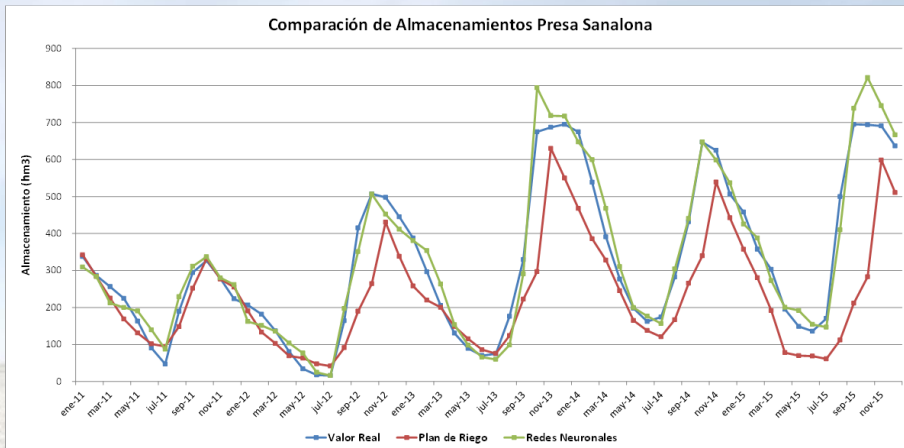
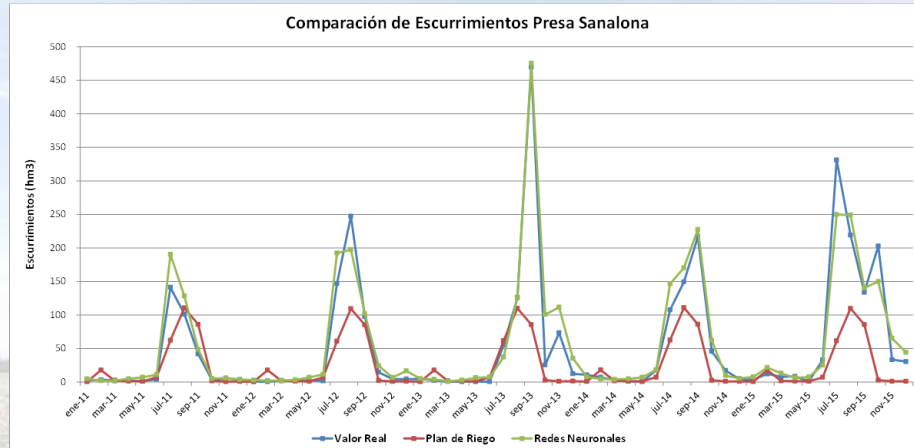
# Resultados y Discusión

Tabla 3.14: Valores de producción de escurrimiento Q (hm<sup>3</sup>/mes) mediante la Red Neuronal Multilayer Perceptron de 2 capas en la presa El Varejonal para el período 2011-2015 y sus respectivos criterios de correlación y de estimación de errores (R<sup>2</sup>, d, MAE, MRSE y %MRSE) entre valores calculados y pronosticados (n=12, para cada año).

Volumen de Escurrecimiento Presa Adolfo López Mateos										
Fecha	Año 2011		Año 2012		Año 2013		Año 2014		Año 2015	
	Observado	Estimado	Observado	Estimado	Observado	Estimado	Observado	Estimado	Observado	Estimado
Enero	8,49	23,42	6,79	24,68	28,44	39,56	24,84	34,99	6,92	25,23
Febrero	10,35	17,35	6,51	33,03	2,84	22,56	11,08	24,73	84,79	86,29
Marzo	2,68	18,66	4,02	21,71	2,94	18,06	4,28	20,43	44,99	61,42
Abril	5,57	25,31	1,30	17,65	1,36	17,27	2,09	17,45	16,31	17,13
Mayo	16,75	26,62	6,64	20,67	0,77	16,37	2,86	18,95	4,65	9,90
Junio	12,32	26,95	12,23	35,57	7,82	25,78	31,93	58,11	43,11	41,0
Julio	246,29	296,38	282,83	350,58	106,01	152,77	266,96	348,24	491,01	451,65
Agosto	178,41	152,04	376,45	342,07	274,52	84,42	462,18	358,43	366,11	574,59
Septiembre	70,07	35,52	236,66	200,73	1.032,89	915,90	527,07	541,60	324,34	390,35
Octubre	12,21	19,21	61,61	47,33	67,71	80,83	110,26	52,05	230,59	125,73
Noviembre	14,61	27,22	13,14	32,27	92,81	135,26	38,45	39,82	29,57	48,22
Diciembre	11,57	43,92	21,02	42,33	20,66	36,48	20,74	26,64	42,67	39,30
CDE	R <sup>2</sup>	0,996	R <sup>2</sup>	0,933	R <sup>2</sup>	0,968	R <sup>2</sup>	0,983	R <sup>2</sup>	0,929
	d	0,974	d	0,981	d	0,990	d	0,990	d	0,974
	MAE	8,895	MAE	11,942	MAE	14,852	MAE	9,394	MAE	20,894
	RMSE	16,592	RMSE	20,270	RMSE	25,941	RMSE	14,311	RMSE	31,297
	%RMSE	63,833	%RMSE	46,311	%RMSE	40,399	%RMSE	29,537	%RMSE	36,931



# Resultados y Discusión

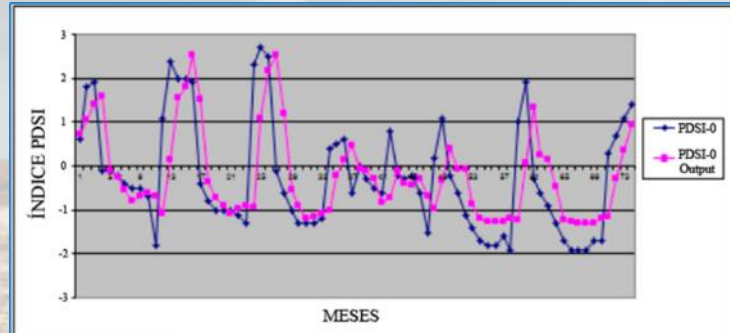


**Figura 3.53:** Volúmenes de ingreso mensuales  $Q$  ( $\text{hm}^3$ ) observados (Azul) vs estimados mediante la Red Neuronal Multilayer Perceptron de 2 capas (Verde) y la Función de Distribución de Probabilidad al 98% (Rojo), para las presas a) Sanalona y b) El Varejonal, período 2011-2015.

**Figura 3.54:** Volúmenes de almacenamiento al primer día de cada mes  $V$  ( $\text{hm}^3$ ) observados (Azul) vs estimados utilizando los pronósticos obtenido mediante Redes Neuronales (Verde) y la FDP al 98% (Rojo), para las presas a) Sanalona y b) El Varejonal, período 2011-2015.



# Resultados y Discusión

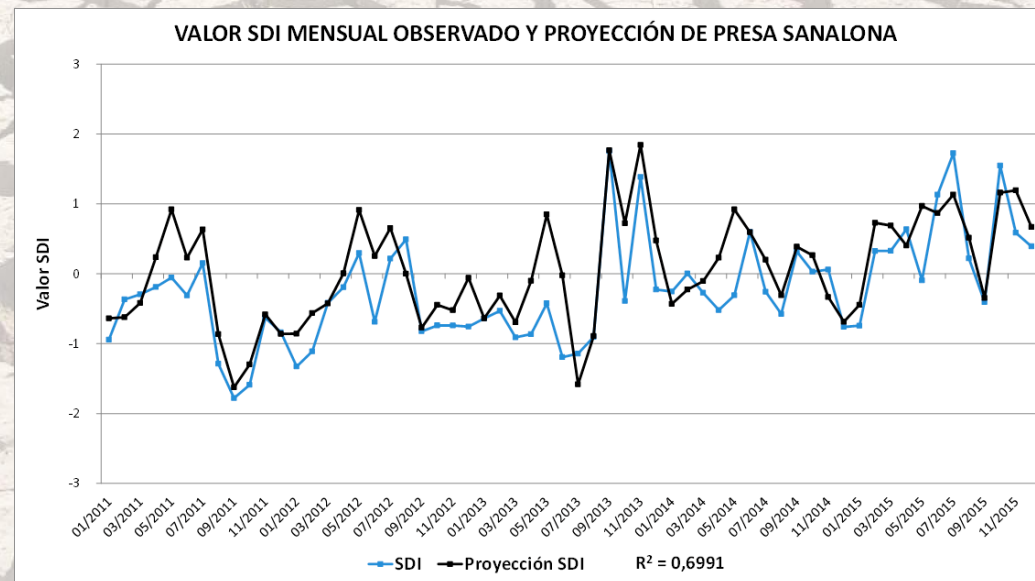
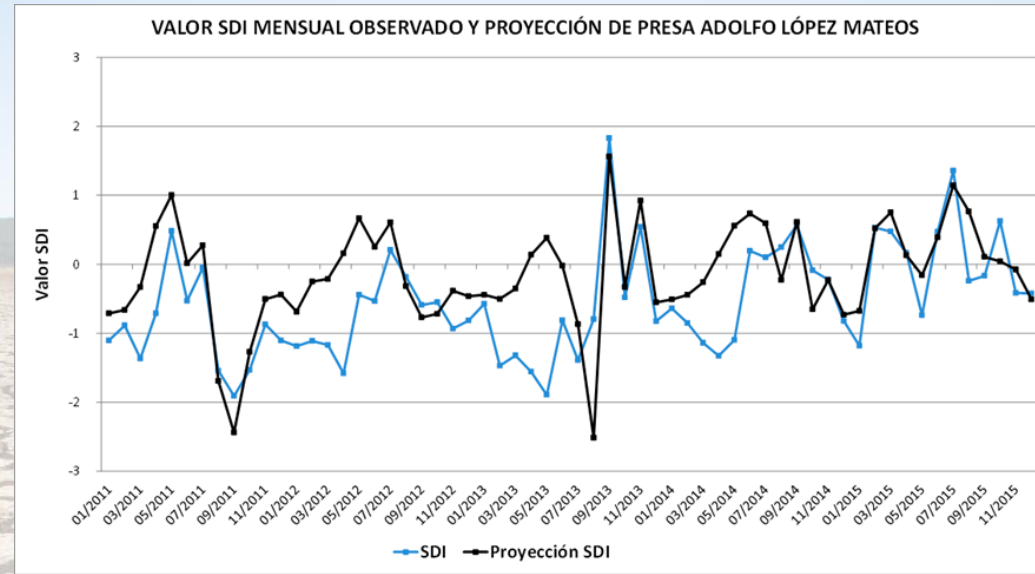


1.03347925	MSE
15.6759521	MSRE
0.34064699	CE
0.37442013	R2
0.77088119	d
4.30754727	MS4E
0.74815409	MAE
1.01660191	RMSE
-432.347999	%RMSE

Se observa en la Figura que no existe una buena correlación entre los volúmenes de ingreso estimados con respecto a los pronosticados mediante Redes Neuronales Univariadas. En la tabla los errores estimados mediante diversos métodos lo confirman.

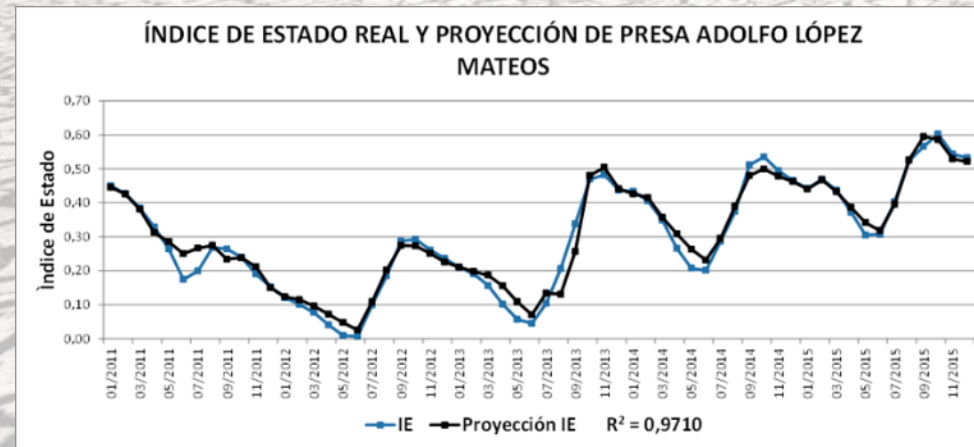
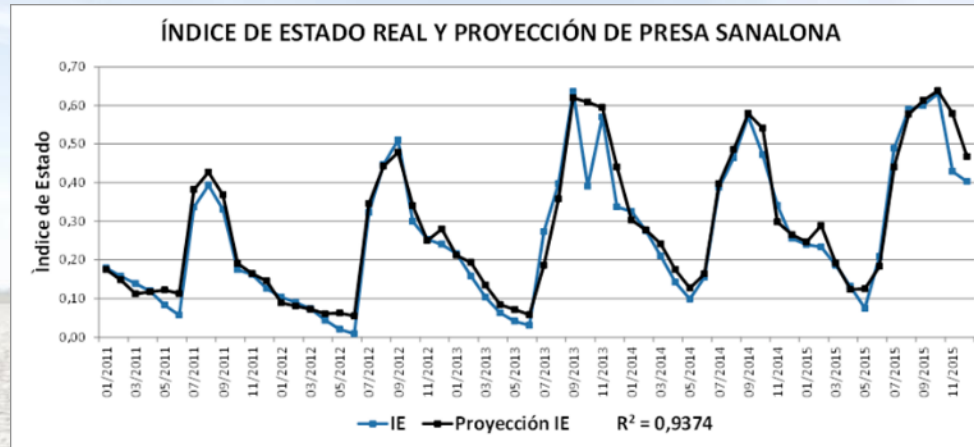
Proyecciones SDI de Presas									
Fecha	Presas El Varejonal		Presas Sanalona		Fecha	Presas El Varejonal		Presas Sanalona	
	Observado	Proyección	Observado	Proyección		Observado	Proyección	Observado	Proyección
ene-11	-1.10	-0.71	-0.94	-0.64	oct-13	-0.48	-0.33	-0.39	0.72
feb-11	-0.89	-0.66	-0.37	-0.62	nov-13	0.54	0.92	1.39	1.84
mar-11	-1.37	-0.33	-0.29	-0.42	dic-13	-0.82	-0.55	-0.23	0.48
abr-11	-0.71	0.55	-0.19	0.23	ene-14	-0.64	-0.51	-0.26	-0.43
may-11	0.48	1.00	-0.05	0.92	feb-14	-0.85	-0.44	0.00	-0.22
jun-11	-0.53	0.01	-0.31	0.23	mar-14	-1.14	-0.26	-0.27	-0.11
jul-11	-0.05	0.27	0.15	0.64	abr-14	-1.33	0.15	-0.52	0.23
ago-11	-1.54	-1.69	-1.29	-0.86	may-14	-1.10	0.56	-0.31	0.92
sep-11	-1.91	-2.44	-1.78	-1.63	jun-14	0.19	0.73	0.60	0.59
oct-11	-1.53	-1.27	-1.59	-1.30	jul-14	0.10	0.59	-0.26	0.20
nov-11	-0.87	-0.51	-0.63	-0.58	ago-14	0.25	-0.23	-0.57	-0.31
dic-11	-1.10	-0.44	-0.84	-0.86	sep-14	0.57	0.61	0.32	0.39
ene-12	-1.19	-0.69	-1.33	-0.86	oct-14	-0.09	-0.65	0.03	0.26
feb-12	-1.11	-0.25	-1.11	-0.56	nov-14	-0.22	-0.23	0.06	-0.33
mar-12	-1.17	-0.21	-0.42	-0.42	dic-14	-0.82	-0.73	-0.76	-0.69
abr-12	-1.58	0.16	-0.19	0.01	ene-15	-1.18	-0.68	-0.74	-0.44
may-12	-0.44	0.67	0.30	0.91	feb-15	0.53	0.52	0.33	0.73
jun-12	-0.53	0.25	-0.69	0.25	mar-15	0.48	0.75	0.33	0.69
jul-12	0.21	0.61	0.22	0.65	abr-15	0.16	0.13	0.64	0.41
ago-12	-0.18	-0.32	0.49	0.00	may-15	-0.74	-0.16	-0.09	0.97
sep-12	-0.59	-0.77	-0.82	-0.77	jun-15	0.47	0.39	1.13	0.87
oct-12	-0.55	-0.72	-0.74	-0.44	jul-15	1.36	1.15	1.73	1.13
nov-12	-0.93	-0.38	-0.74	-0.52	ago-15	-0.24	0.76	0.22	0.52
dic-12	-0.82	-0.46	-0.76	-0.06	sep-15	-0.17	0.11	-0.41	-0.35
ene-13	-0.57	-0.44	-0.64	-0.64	oct-15	0.63	0.04	1.55	1.16
feb-13	-1.47	-0.50	-0.53	-0.31	nov-15	-0.42	-0.08	0.59	1.19
mar-13	-1.32	-0.35	-0.91	-0.69	dic-15	-0.42	-0.51	0.39	0.67
abr-13	-1.56	0.14	-0.86	-0.10					
may-13	-1.89	0.38	-0.42	0.85					
jun-13	-0.81	-0.02	-1.19	-0.02					
jul-13	-1.39	-0.87	-1.14	-1.58					
ago-13	-0.80	-2.51	-0.90	-0.89					
sep-13	1.83	1.56	1.76	1.77					
					CDE	R <sup>2</sup>	0.4043	R <sup>2</sup>	0.6991
						d	0.7567	d	0.8817
						MAE	0.5813	MAE	0.4050
						RMSE	0.7666	RMSE	0.5190
						%RMSE	-137.8286	%RMSE	-218.0199

# Resultados y Discusión



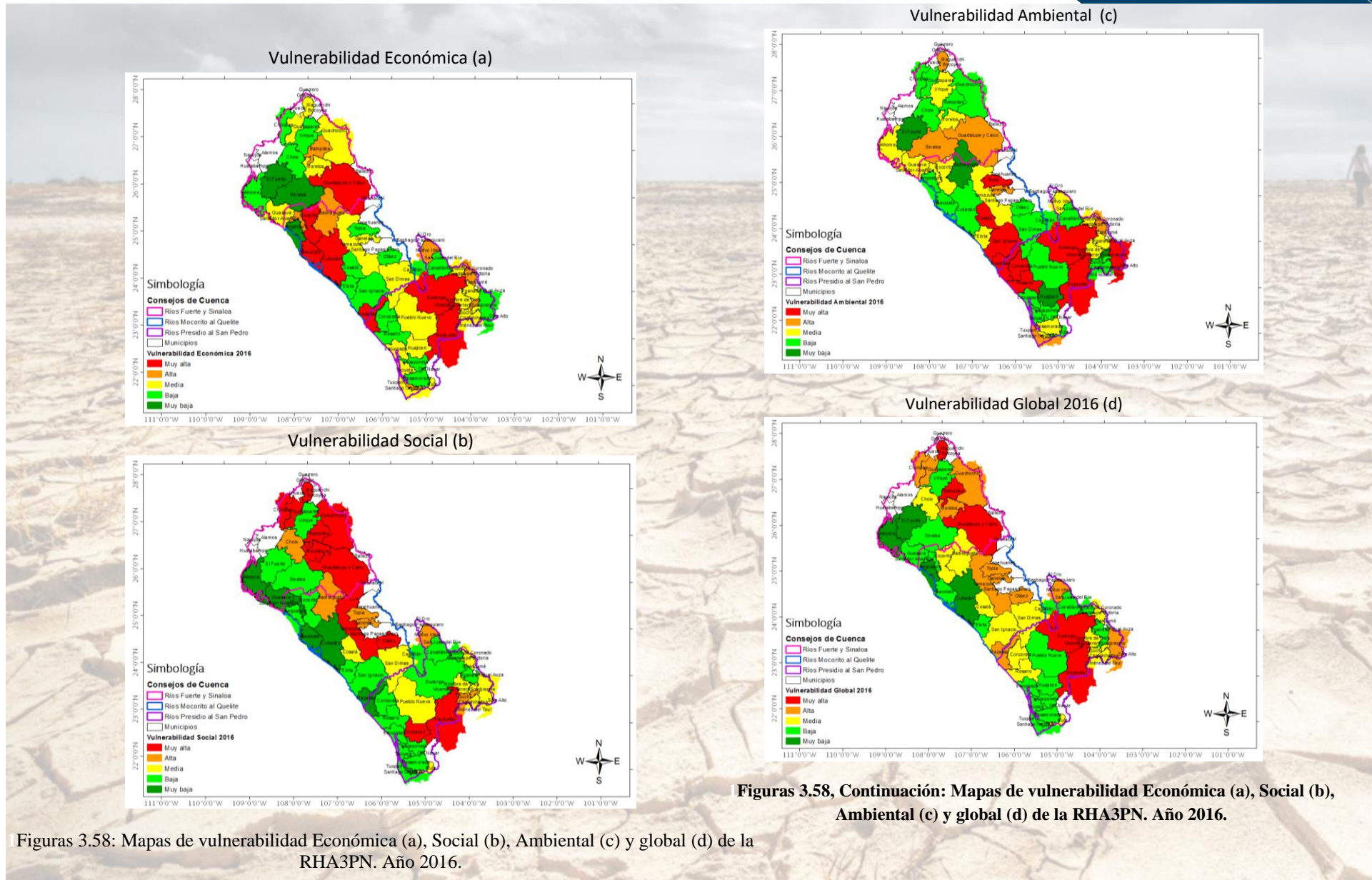


# Resultados y Discusión



Proyecciones IE de Presas									
Fecha	Presa El Varejonal		Presa Sanalona		Fecha	Presa El Varejonal		Presa Sanalona	
	Observado	Proyección	Observado	Proyección		Observado	Proyección	Observado	Proyección
ene-11	0,45	0,45	0,18	0,17	oct-13	0,47	0,48	0,39	0,61
feb-11	0,43	0,43	0,16	0,15	nov-13	0,48	0,50	0,57	0,59
mar-11	0,38	0,38	0,14	0,11	dic-13	0,44	0,44	0,34	0,44
abr-11	0,33	0,31	0,12	0,12	ene-14	0,43	0,43	0,33	0,30
may-11	0,26	0,28	0,08	0,12	feb-14	0,41	0,42	0,28	0,28
jun-11	0,17	0,25	0,06	0,11	mar-14	0,35	0,36	0,21	0,24
jul-11	0,20	0,27	0,34	0,38	abr-14	0,27	0,31	0,14	0,17
ago-11	0,27	0,27	0,39	0,43	may-14	0,21	0,26	0,10	0,13
sep-11	0,26	0,23	0,33	0,37	jun-14	0,20	0,23	0,16	0,16
oct-11	0,24	0,24	0,17	0,19	jul-14	0,29	0,29	0,39	0,40
nov-11	0,19	0,21	0,16	0,16	ago-14	0,37	0,39	0,46	0,49
dic-11	0,15	0,15	0,13	0,14	sep-14	0,51	0,48	0,57	0,58
ene-12	0,12	0,12	0,10	0,09	oct-14	0,54	0,50	0,47	0,54
feb-12	0,10	0,11	0,09	0,08	nov-14	0,49	0,48	0,34	0,30
mar-12	0,08	0,10	0,07	0,07	dic-14	0,47	0,46	0,26	0,27
abr-12	0,04	0,07	0,04	0,06	ene-15	0,44	0,44	0,24	0,25
may-12	0,01	0,05	0,02	0,06	feb-15	0,47	0,47	0,23	0,29
jun-12	0,01	0,03	0,01	0,05	mar-15	0,44	0,43	0,19	0,19
jul-12	0,10	0,11	0,32	0,35	abr-15	0,37	0,39	0,13	0,12
ago-12	0,18	0,20	0,45	0,44	may-15	0,30	0,34	0,07	0,12
sep-12	0,29	0,27	0,51	0,48	jun-15	0,31	0,32	0,21	0,18
oct-12	0,29	0,27	0,30	0,34	jul-15	0,40	0,40	0,49	0,44
nov-12	0,26	0,25	0,25	0,25	ago-15	0,52	0,53	0,59	0,58
dic-12	0,24	0,23	0,24	0,28	sep-15	0,57	0,60	0,60	0,61
ene-13	0,21	0,21	0,22	0,21	oct-15	0,60	0,59	0,63	0,64
feb-13	0,19	0,20	0,16	0,19	nov-15	0,54	0,53	0,43	0,58
mar-13	0,16	0,19	0,10	0,13	dic-15	0,53	0,52	0,40	0,47
abr-13	0,10	0,16	0,06	0,08					
may-13	0,06	0,11	0,04	0,07		R <sup>2</sup>	0,9710	R <sup>2</sup>	0,9374
jun-13	0,04	0,07	0,03	0,06		d	0,9911	d	0,9809
jul-13	0,10	0,13	0,27	0,19		MAE	0,0210	MAE	0,0322
ago-13	0,21	0,13	0,40	0,36		RMSE	0,0288	RMSE	0,0481
sep-13	0,34	0,26	0,64	0,62		%RMSE	9,6638	%RMSE	18,2750

# Resultados y Discusión



Figuras 3.58, Continuación: Mapas de vulnerabilidad Económica (a), Social (b), Ambiental (c) y global (d) de la RHA3PN. Año 2016.

Figuras 3.58: Mapas de vulnerabilidad Económica (a), Social (b), Ambiental (c) y global (d) de la RHA3PN. Año 2016.



# Resultados y Discusión

## DETERMINACIÓN DE ESCENARIOS EN LA CUENCA DEL RÍO CULIACÁN

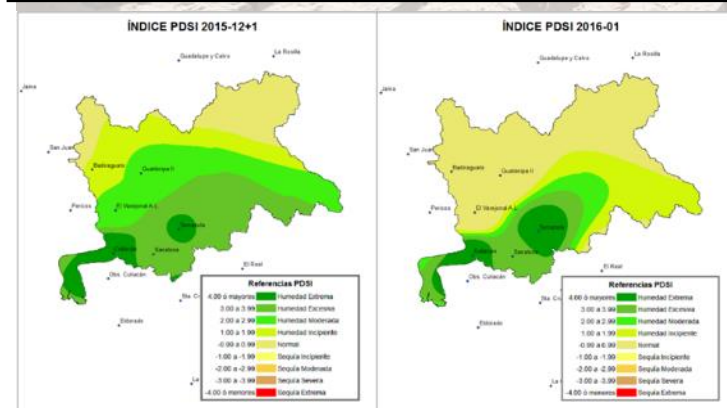
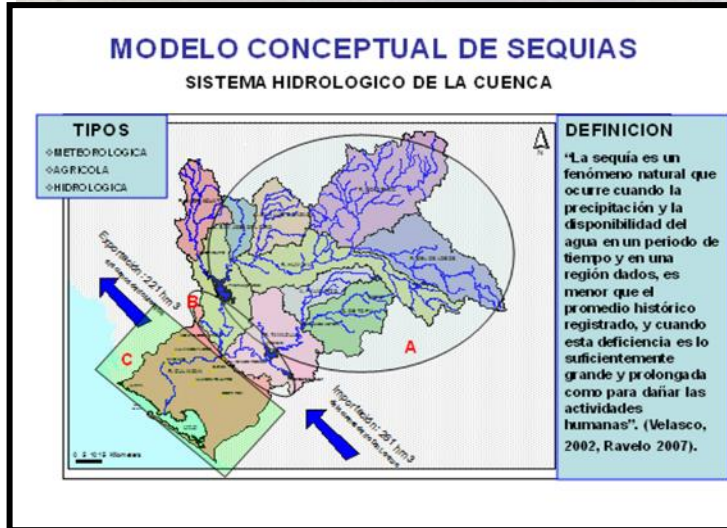


Tabla 3.22: Evaluación de escenarios de sequía meteorológica mediante el índice PSDI, en las estaciones El Varejonal, Culiacán y Sanalona, estimados mediante redes neuronales vs los valores observados, para el período enero 2015 a marzo 2016, utilizando los criterios:  $R^2$ , d, MAE, MRSE y %MRSE, (n=15).

Fecha	Índice PSDI Estación El Varejonal				Índice PSDI Estación Culiacán				Índice PSDI Estación Sanalona			
	Obs.	PSDI+1	PSDI+2	PSDI+3	Obs.	PSDI+1	PSDI+2	PSDI+3	Obs.	PSDI+1	PSDI+2	PSDI+3
ene-15	-1,10	-0,85	-0,21	-0,43	1,10	-0,84	1,99	2,11	-2,20	-1,94	-1,42	-1,39
feb-15	0,90	-1,07	-0,82	-0,21	0,40	-1,69	-1,37	1,79	0,80	-2,11	-1,75	-1,32
mar-15	1,20	0,94	-1,12	-0,92	0,80	0,38	-1,83	-1,54	2,20	1,18	-1,83	-1,56
abr-15	1,00	1,19	0,90	-1,10	0,60	0,86	0,28	-1,90	1,90	2,58	1,38	-1,57
may-15	0,80	0,98	1,27	0,97	0,40	0,61	0,87	0,13	2,20	1,82	2,53	1,08
jun-15	1,00	0,75	0,96	1,29	0,50	0,15	0,46	0,71	2,50	2,22	1,68	2,57
jul-15	1,10	1,08	0,86	1,10	0,00	0,51	0,11	0,49	3,00	2,41	2,08	2,09
ago-15	2,10	1,03	1,07	0,85	0,60	-0,22	0,37	0,00	2,30	2,87	2,34	1,76
sep-15	2,30	2,05	1,05	1,06	1,10	0,56	-0,48	0,15	2,40	1,92	2,56	2,06
oct-15	2,30	2,23	2,00	1,05	3,50	1,05	0,42	-0,76	3,50	2,21	1,57	2,26
nov-15	2,40	2,42	2,24	2,01	3,90	4,01	1,07	0,38	3,30	2,97	1,99	1,29
dic-15	2,70	2,39	2,44	2,14	5,10	3,99	4,17	0,98	3,90	3,18	2,57	1,77
ene-16	-0,30	2,58	2,46	2,49	4,60	5,09	4,15	4,19	3,40	3,62	2,84	1,86
feb-16	-0,60	-0,34	2,49	2,51	3,90	3,98	4,70	3,96	2,80	3,07	3,36	2,58
mar-16	-0,50	-0,39	-0,22	2,43	3,70	3,49	3,64	4,31	2,70	2,52	2,72	3,04
CDE	$R^2$	0,4407	0,0720	0,0004	$R^2$	0,7889	0,6082	0,2616	$R^2$	0,7284	0,4655	0,4242
	d	0,8197	0,5792	0,3880	d	0,9185	0,8461	0,6912	d	0,8983	0,7552	0,6814
	MAE	0,5387	0,9940	1,3312	MAE	0,7730	1,0793	1,5155	MAE	0,6781	1,0562	1,3756
	RMSE	0,9596	1,4007	1,6694	RMSE	1,0745	1,4815	2,0714	RMSE	0,9523	1,4853	1,7610
	%RMSE	94,0813	137,3274	163,6648	%RMSE	53,3711	73,5838	102,8817	%RMSE	41,1650	64,2057	76,1218

**EL MEJOR PRONÓSTICO DEL PSDI PARA 1,2Y 3 MESES DE ANTIPO SE DIO PARA LA ESTACIÓN CULIACÁN, EL MEJOR PRONÓSTICO FUE A UN MES, CON VALORES DE  $R^2=0.78$  Y  $d=0.91$**

# Resultados y Discusión

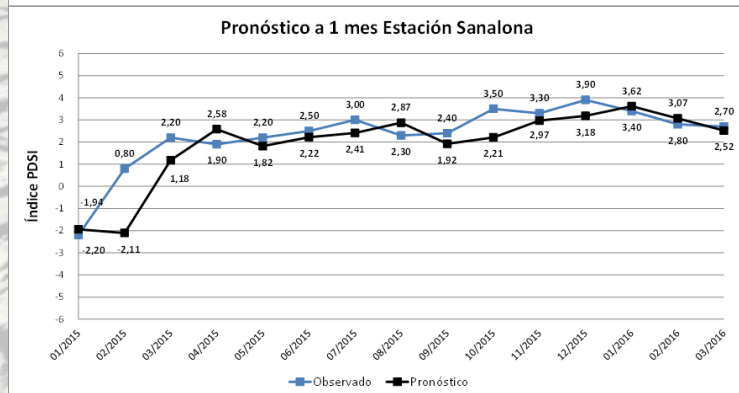
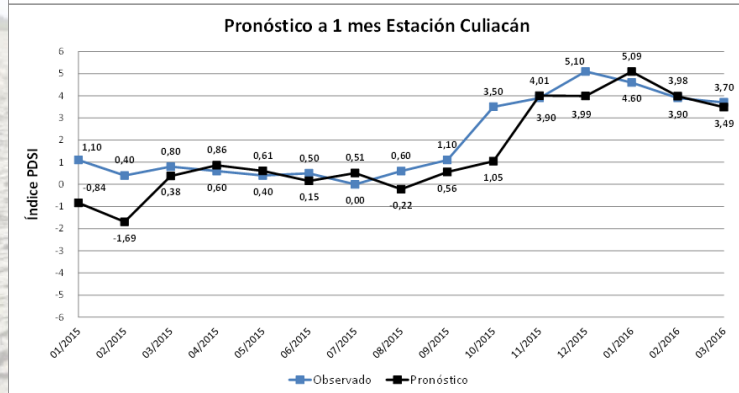
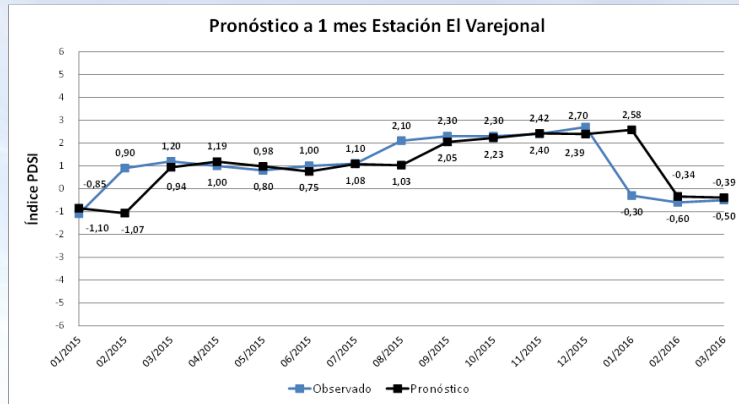


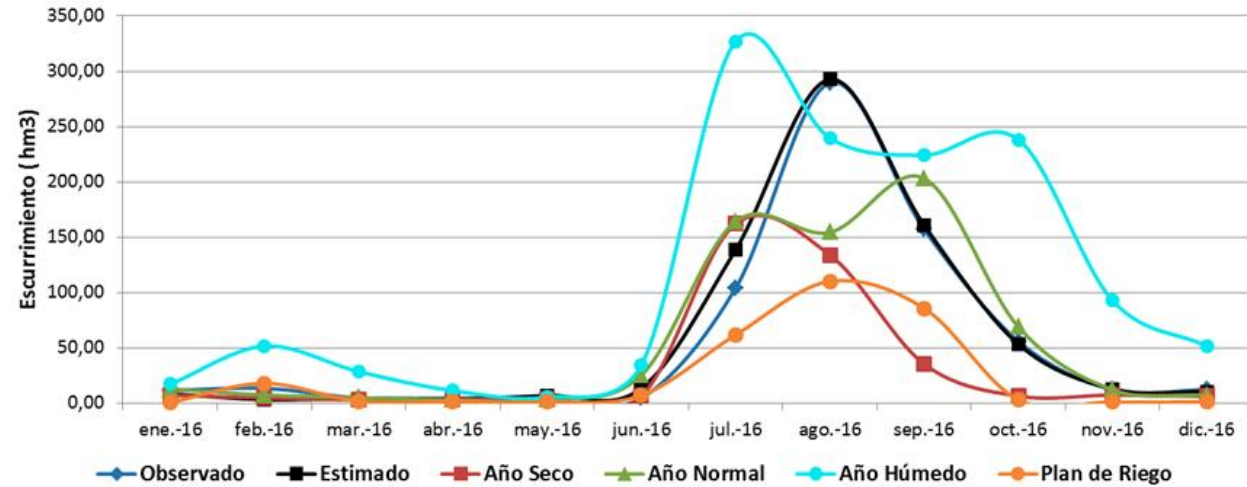
Tabla 3.23: Evaluación de escenarios de sequía hidrológica (Q) mensual en la presa Sanalona, estimados mediante la Red Neuronal Multilayer Perceptron de 2 capas vs los valores observados, para el año 2016, utilizando los criterios:  $R^2$ , d, MAE, MRSE y %MRSE, (n=12).

Fecha	Observado	Estimado	Plan de Riego	Año Seco	Año Normal	Año Húmedo
ene-16	11,41	8,48	0,69	7,11	12,80	17,17
feb-16	13,37	3,20	17,91	4,57	7,33	51,54
mar-16	4,73	4,16	1,64	2,85	4,93	28,49
abr-16	4,30	3,80	1,38	3,40	2,72	11,23
may-16	1,89	6,89	1,03	3,80	2,90	5,44
jun-16	4,65	13,46	7,04	6,48	25,33	34,61
jul-16	103,96	138,70	61,76	162,14	164,34	326,96
ago-16	289,49	292,62	110,05	133,83	154,36	239,51
sep-16	156,99	160,79	85,70	35,33	203,07	224,20
oct-16	55,80	53,32	2,83	6,33	68,83	238,09
nov-16	12,22	12,79	1,06	7,34	12,05	92,64
dic-16	12,10	10,25	1,23	6,11	7,09	51,50
CDE	$R^2$	0,986456412	0,909763284	0,57302604	0,711330223	0,53896
	d	0,995893788	0,772432759	0,79154254	0,907972824	0,76576
	MAE	6,210551417	32,70421342	34,6195158	24,22463458	62,53549
	RMSE	11,01430592	59,35164446	61,2564319	45,36232838	91,74512
	%MRSE	19,70035788	106,157269	109,564201	81,13576196	164,09674

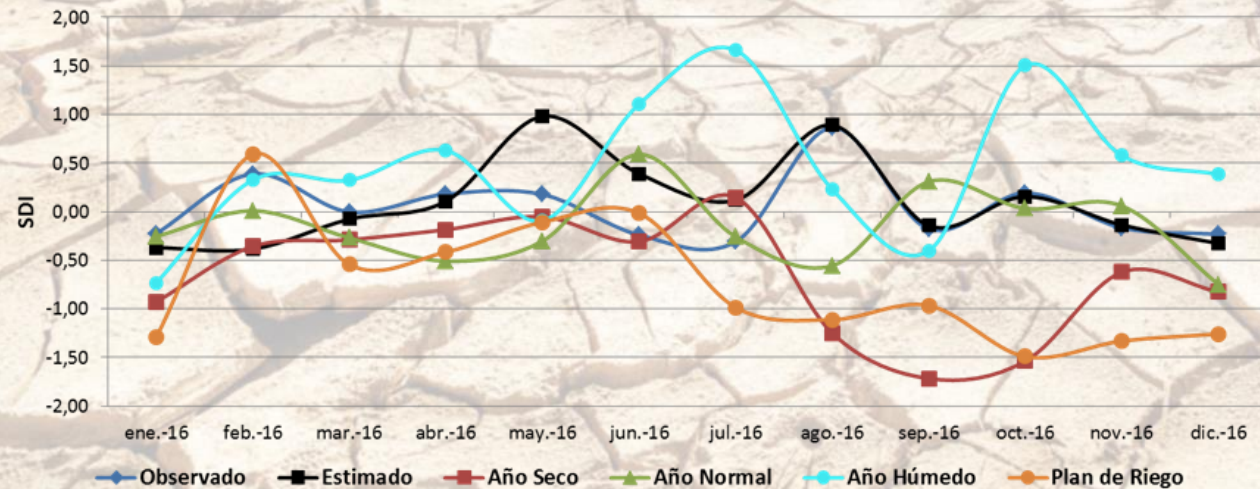


# Resultados y Discusión

Volumen de Ecurrimiento Presa Sanalona (2016)  
Evaluación de Escenarios

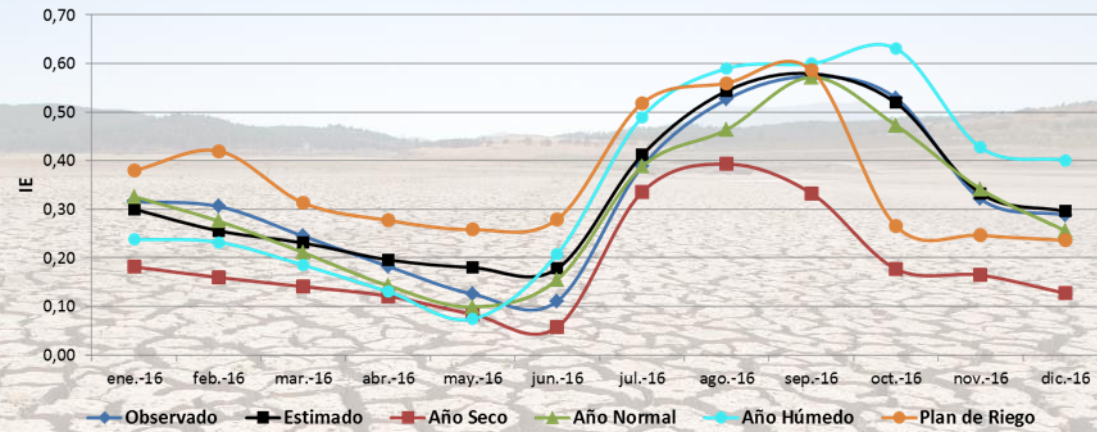


SDI Presa Sanalona (2016)  
Evaluación de Escenarios

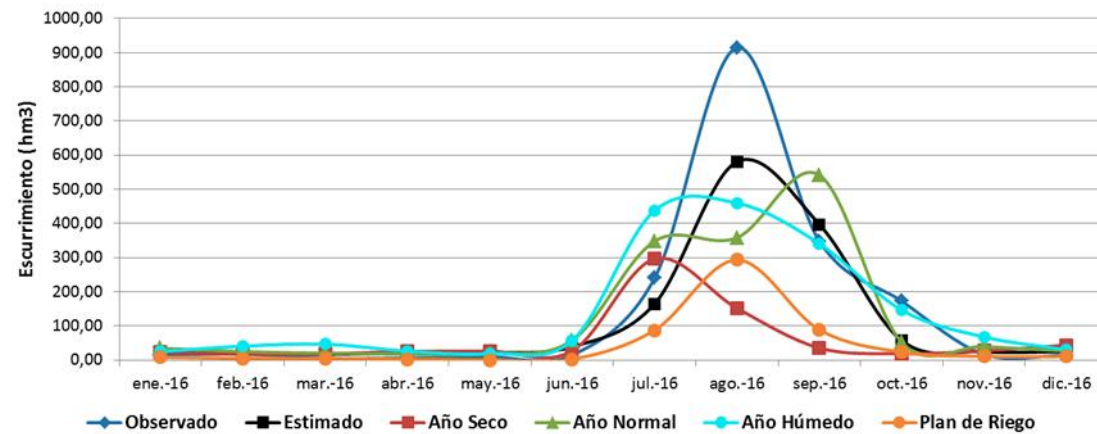


# Resultados y Discusión

### Índice de Estado Presa Sanalona (2016) Evaluación de Escenarios



### Volumen de Ecurrimiento Presa Adolfo López Mateos (2016) Evaluación de Escenarios



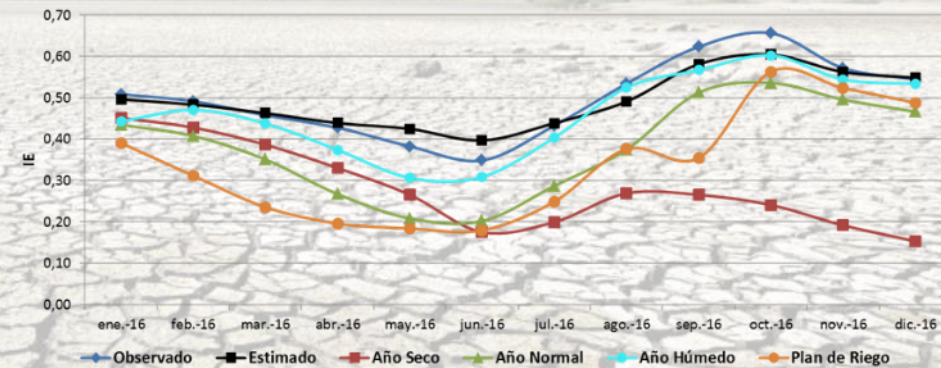


# Resultados y Discusión

Tabla 3.28. Evaluación de escenarios de sequía hidrológica (Ie) mensual en la presa Adolfo López Mateos, estimados mediante la Red Neuronal Multilayer Perceptron de 2 capas vs los valores observados, para el año 2016, utilizando los criterios (CDE): R<sup>2</sup>, d, MAE, MRSE y %MRSE, (n=12).

Fecha	Observado	Estimado	Plan de Riego	Año Seco	Año Normal	Año Húmedo
ene-16	0,51	0,50	0,39	0,45	0,43	0,44
feb-16	0,49	0,48	0,31	0,43	0,41	0,47
mar-16	0,46	0,46	0,24	0,39	0,35	0,44
abr-16	0,43	0,44	0,20	0,33	0,27	0,37
may-16	0,38	0,42	0,18	0,27	0,21	0,31
jun-16	0,35	0,40	0,18	0,18	0,20	0,31
jul-16	0,43	0,44	0,25	0,20	0,29	0,40
ago-16	0,53	0,49	0,38	0,27	0,38	0,52
sep-16	0,62	0,58	0,35	0,27	0,51	0,57
oct-16	0,66	0,60	0,56	0,24	0,54	0,60
nov-16	0,57	0,56	0,52	0,19	0,50	0,54
dic-16	0,54	0,55	0,49	0,15	0,47	0,53
CDE	R2	0,9598468	0,7694208	0,00259	0,927073	0,9497
	d	0,9609521	0,6168021	0,36187	0,724163	0,9447
	MAE	0,0237264	0,1606418	0,21866	0,119693	0,0386
	RMSE	0,0302476	0,173849	0,25644	0,124761	0,0440
	%RMSE	6,0712557	34,89475	51,4726	25,04185	8,8363

Índice de Estado Presa Adolfo López Mateos (2016)  
Evaluación de Escenarios



# Conclusiones y Recomendaciones



**El Sistema Operativo de Sequías (SOS) del Organismo de Cuenca Pacífico Norte (OCPN) monitorea fielmente los fenómenos meteorológicos extremos que recurrentemente afectan la región, como los períodos de sequía 1999-2000 y 2010-2013.**

**El índice de escurrimientos SDI puede ser utilizado para el análisis de sequías hidrológicas y en la planeación de medidas preventivas.**

**No existe una relación directa entre la variabilidad climática en el OCPN y el fenómeno ENSO.**



# Conclusiones y Recomendaciones



Los resultados de este trabajo validan la metodología para el monitoreo, evaluación y pronóstico de sequías meteorológicas que llevo adelante el Organismo de Cuenca Pacífico Norte (OCPN) (propuesta por el Dr. Andrés Ravelo durante las consultorías de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) bajo el auspicio del Proyecto del Manejo Integrado del Agua (PREMIA) de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), en el período 2007-2012).

El análisis detallado del comportamiento de la variabilidad climática y de escurrimientos en el OCPN durante eventos El Niño muestra que cuando el fenómeno se encuentra en fase negativa (La Niña) con intensidades negativas menores a  $-1,07$  °C (Niñas moderadas y fuertes) las probabilidad de ocurrencia de sequías meteorológicas en sus fases de incipiente a extrema es alta y si la intensidad es menor a  $-1,33$  °C (Niñas Fuerte) y su duración es mayor a un año las probabilidades de ocurrencia de sequías meteorológicas e hidrológicas en sus fases fuerte y extrema crece a muy alta.

# Conclusiones y Recomendaciones



El monitoreo y pronóstico de sequías meteorológicas con uno, dos y tres meses de anticipo puede llevarse a cabo para otras regiones o localidades de México, Latinoamérica o el mundo.

El modelo Multilayer Perceptron de dos capas fue la red neuronal que mejor pronosticó los volúmenes de ingreso mensual de agua a las presas El Varejonal y Sanalona, al obtener el mejor ajuste, con coeficiente de determinación mayor a  $R^2=0,92$  y concordancia de Willmott mayor a  $d=0,90$ , y errores estándares menores que los arrojados por los otros modelos de redes neuronales. Produce pronósticos asertivos para las diferentes condiciones hídricas (períodos secos, normalidad hídrica y húmedos).



# Conclusiones y Recomendaciones



Los resultados del análisis de escenarios de sequías hidrológicas en las presas Sanalona y El Varejonal, indican que el mejor escenario es el que proporcionan los volúmenes pronosticados mediante el modelo de red Perceptron Multilayer de dos capas, esto es debido a que se conocen las variables de precipitación, temperaturas y los índices de escurrimiento; si bien es cierto, el modelo propuesto permite un mejor ajuste entre valores estimados y observados cuando son conocidas dichas variables, la incertidumbre del pronóstico de los escurrimientos de ingreso mensuales a los vasos de las presas sigue siendo alta.

# Conclusiones y Recomendaciones



Se puede afirmar, que el modelo de red Multilayer Perceptron de dos capas es una herramienta adecuada para determinar sequías hidrológicas en las cuencas y presas del OCPN, ante diferentes escenarios climáticos y la dificultad para pronosticar volúmenes de escurrimiento y/o de ingreso a los vasos de las presas principales del OCPN estriba en la certidumbre de los datos de entrada al modelo; entre más certeros son los datos de entrada más confiable son los pronósticos de los volúmenes de escurrimiento  $Q$ .



# Conclusiones y Recomendaciones



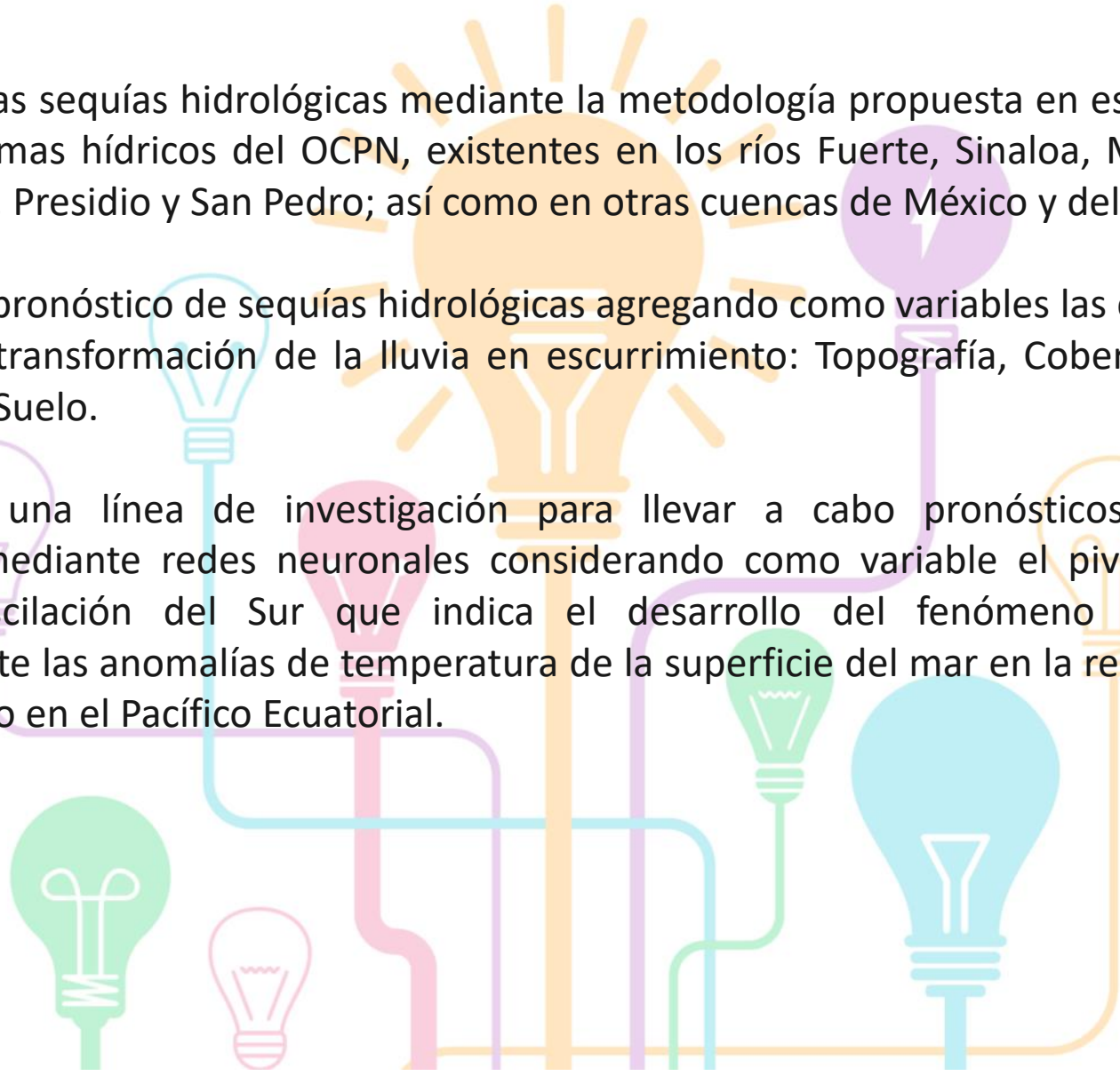
Las herramientas desarrolladas en este trabajo para el monitoreo, evaluación, pronóstico, estimación de la vulnerabilidad y la determinación de escenarios de sequía en el Sistema Hídrico del Río Culiacán y el OCPN, contribuyen a una eficiente del riesgo y ofrece respuestas ante el desastre, y de adaptación al cambio climático.



# Recomendaciones



- Pronosticar las sequías hidrológicas mediante la metodología propuesta en este trabajo en los otros sistemas hídricos del OCPN, existentes en los ríos Fuerte, Sinaloa, Mocorito, San Lorenzo, Elota, Presidio y San Pedro; así como en otras cuencas de México y del mundo.
- Investigar el pronóstico de sequías hidrológicas agregando como variables las componentes básicas de la transformación de la lluvia en escurrimiento: Topografía, Cobertura Vegetal, Uso y Tipo de Suelo.
- Desarrollar una línea de investigación para llevar a cabo pronósticos de sequías hidrológicas mediante redes neuronales considerando como variable el pivote lejano el índice de Oscilación del Sur que indica el desarrollo del fenómeno de El Niño, específicamente las anomalías de temperatura de la superficie del mar en la región 3.4 de la zona de El Niño en el Pacífico Ecuatorial.

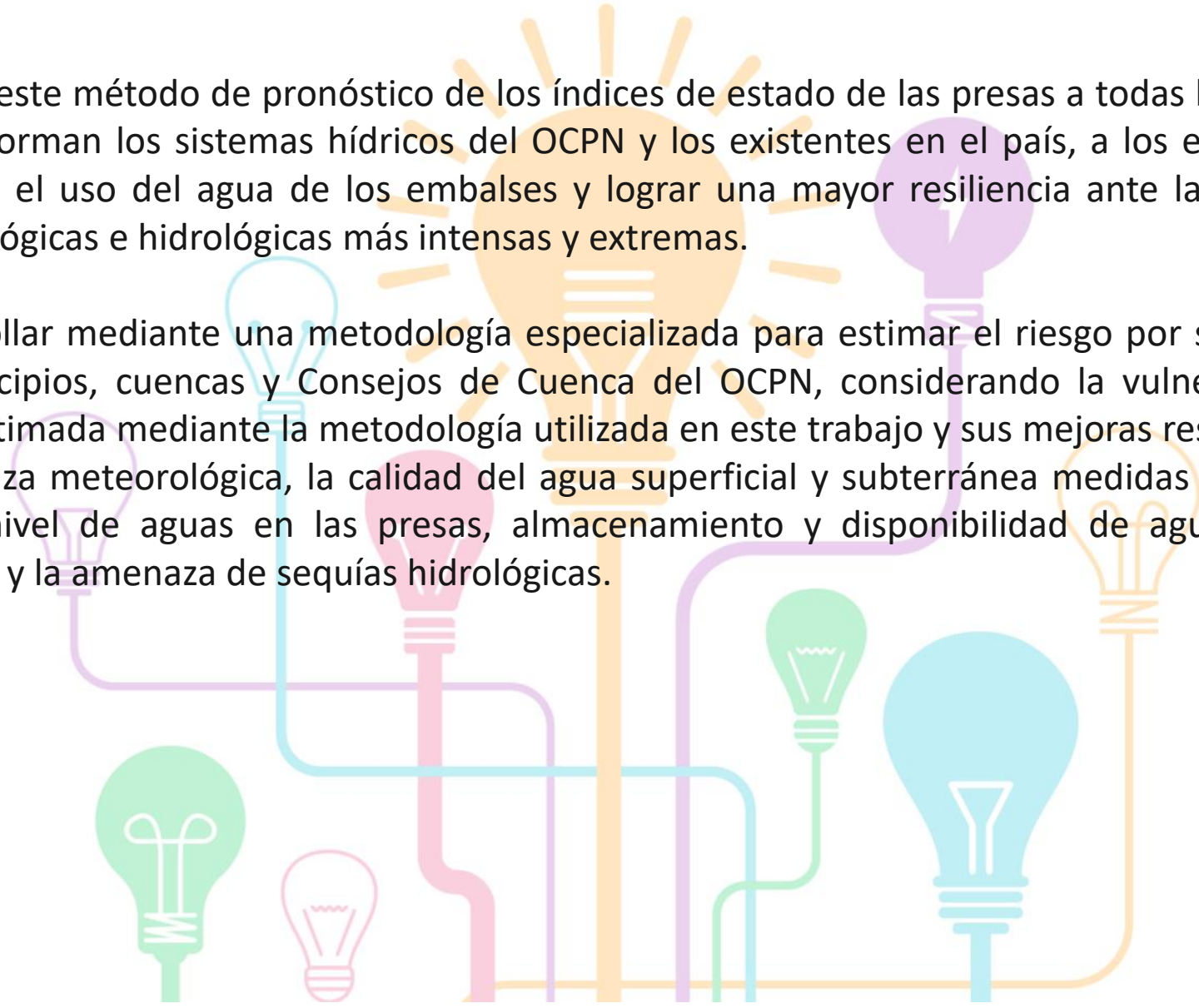




# Recomendaciones



- Aplicar este método de pronóstico de los índices de estado de las presas a todas las presas que conforman los sistemas hídricos del OCPN y los existentes en el país, a los efectos de planificar el uso del agua de los embalses y lograr una mayor resiliencia ante las sequías meteorológicas e hidrológicas más intensas y extremas.
- Desarrollar mediante una metodología especializada para estimar el riesgo por sequía en los municipios, cuencas y Consejos de Cuenca del OCPN, considerando la vulnerabilidad global estimada mediante la metodología utilizada en este trabajo y sus mejoras respectivas, la amenaza meteorológica, la calidad del agua superficial y subterránea medidas en índice ICA, el nivel de aguas en las presas, almacenamiento y disponibilidad de agua en los acuíferos y la amenaza de sequías hidrológicas.



# Recomendaciones



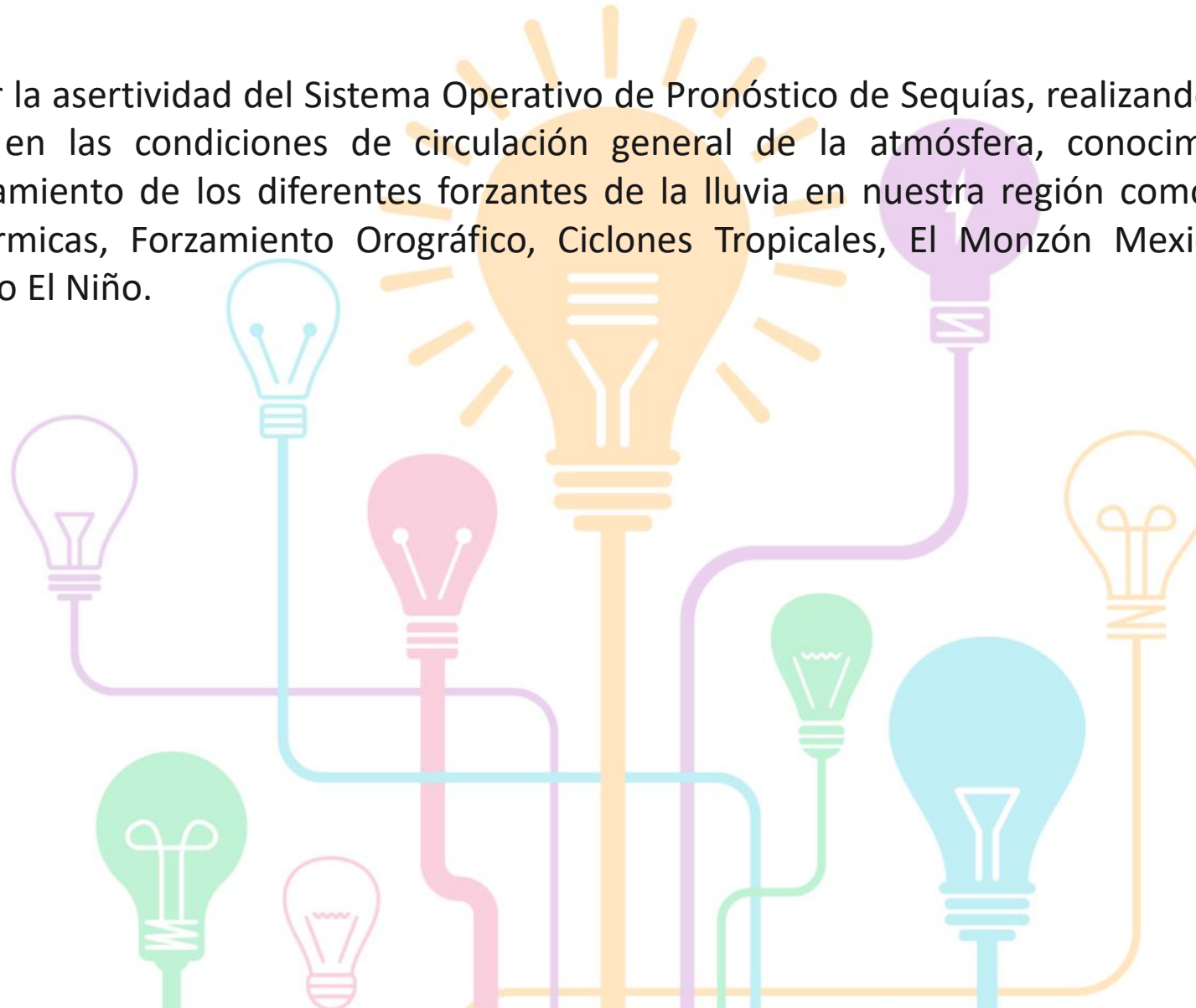
- Ante la ocurrencia de la combinación de escenarios por sequía Año Seco con Año Seco se recomiendan las mismas acciones de disminución de los volúmenes de extracción de acuerdo a lo establecido en el PMPMS del Consejo de Cuenca de los Ríos Mocorito al Quélite y la puesta en marcha de proyectos específicos para mitigar y prevenir las sequías y los programas para un mejor manejo del agua para las ciudades.
- Aumentar la certidumbre de los pronósticos y determinación de escenarios por sequía, apoyándose en los resultados de otros análisis del clima y eventos climáticos asociados a la zona de estudio; por ejemplo, utilizar las perspectivas climáticas que elabora el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) para los siguientes tres meses a partir del mes del pronóstico (SMN, 2017); Otros variantes que se pueden utilizar son los índices que representan a los diferentes fenómenos climáticos que afectan esta zona; como por ejemplo, los índices de anomalía de la Temperatura de Superficie del Mar (SST) que indican el desarrollo del fenómeno El Niño/La Niña en conjunto con observaciones locales del clima, ya que por sí solo los SST no son suficientes para pronosticar los fenómenos climáticos en nuestro país.



# Recomendaciones



- Mejorar la asertividad del Sistema Operativo de Pronóstico de Sequías, realizando estudios basados en las condiciones de circulación general de la atmósfera, conocimiento del comportamiento de los diferentes forzantes de la lluvia en nuestra región como son: Las Bajas Térmicas, Forzamiento Orográfico, Ciclones Tropicales, El Monzón Mexicano y el fenómeno El Niño.



# TRABAJO EN EQUIPO





# Formación de recursos humanos en el tema de sequías

TITULACIÓN INTEGRAL CON EL PRODUCTO

TESIS

ANÁLISIS DE SEQUIAS METEOROLÓGICAS EN EL ORGANISMO DE CUENCA PACIFICO NORTE

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERÍA HIDROLÓGICA

PRESENTA

SANTA CECILIA CAMARGO COTA

DIRECTOR

DRA. NORMA ALICIA MACÍAS RODRÍGUEZ

CODIRECTOR

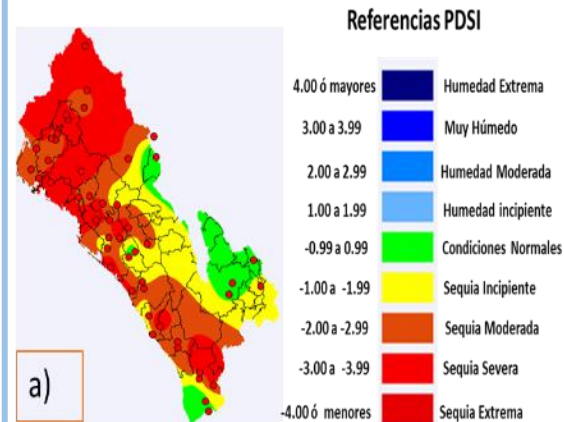
DR. JOSÉ CARLOS DOURIET CÁRDENAS

SINALOA DE LEYVA, SIN.

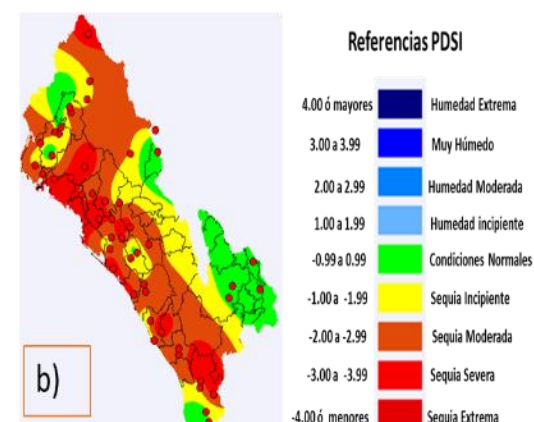
JUNIO 2019

## Índice Palmer Mensual 2018

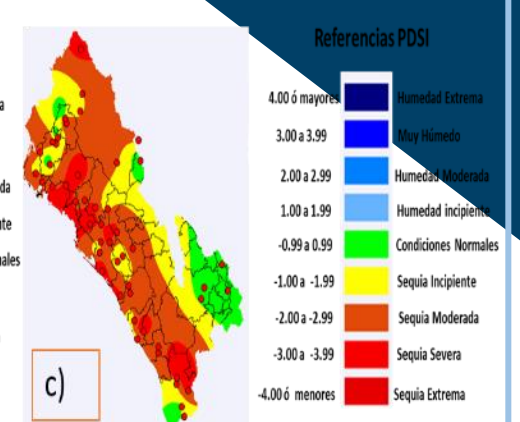
Índice Palmer Mensual; Enero 2018



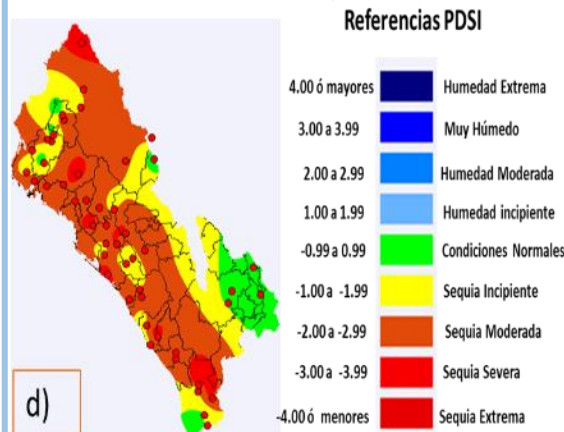
Índice Palmer Mensual; Febrero 2018



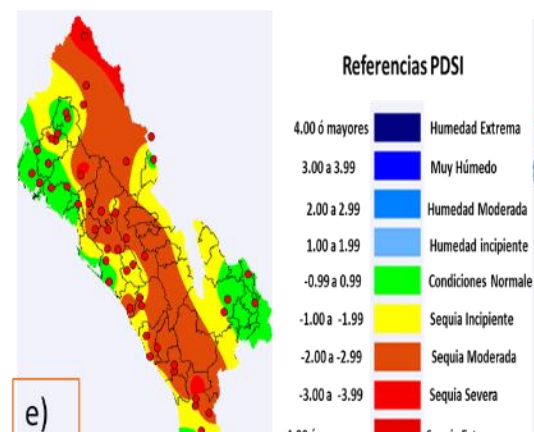
Índice Palmer Mensual; Marzo 2018



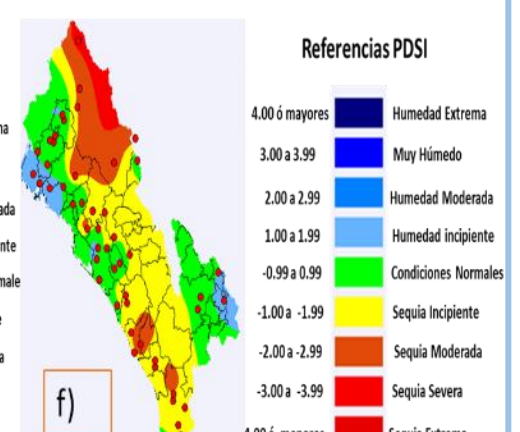
Índice Palmer Mensual; Abril 2018



Índice Palmer Mensual; Mayo 2018



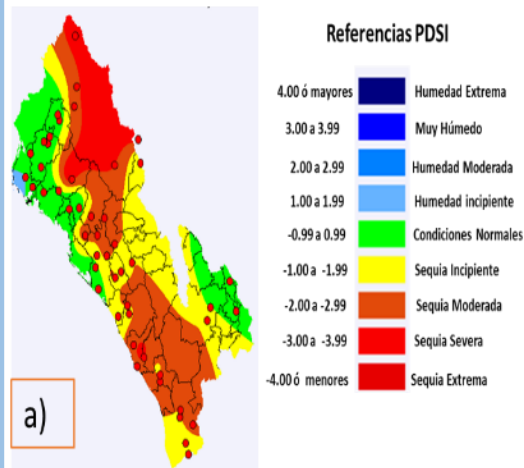
Índice Palmer Mensual; junio 2018



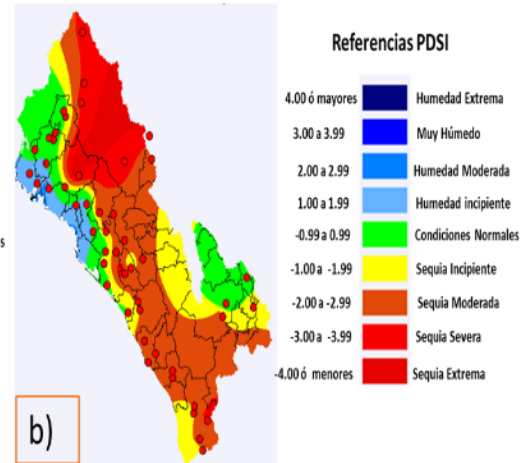
# Formación de recursos humanos en el tema de sequías

## Índice Palmer Mensual 2018

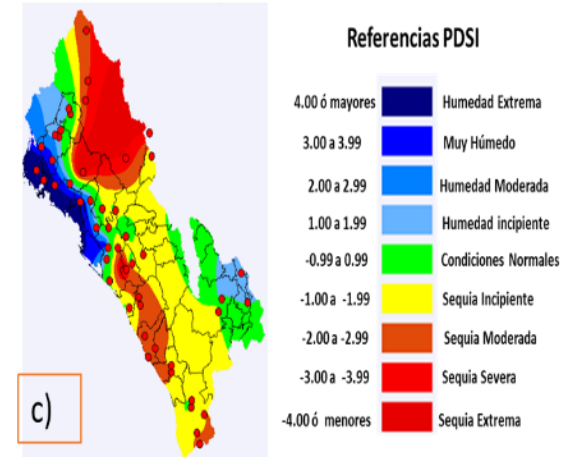
Índice Palmer Mensual; julio 2018



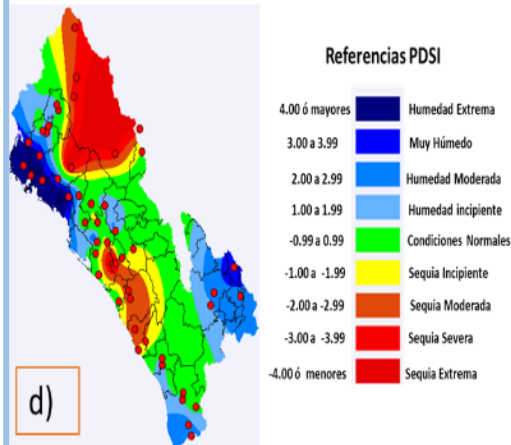
Índice Palmer Mensual; Agosto 2018



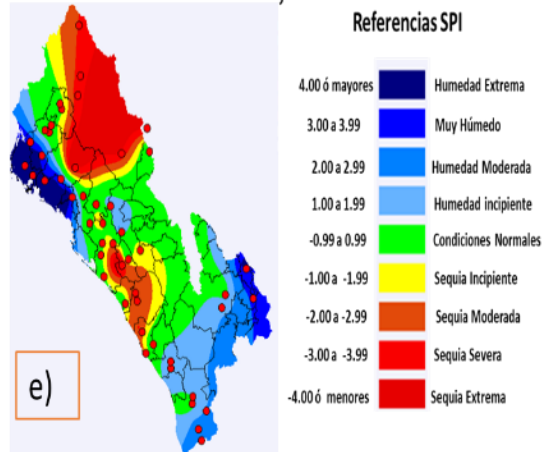
Índice Palmer Mensual; Septiembre 2018



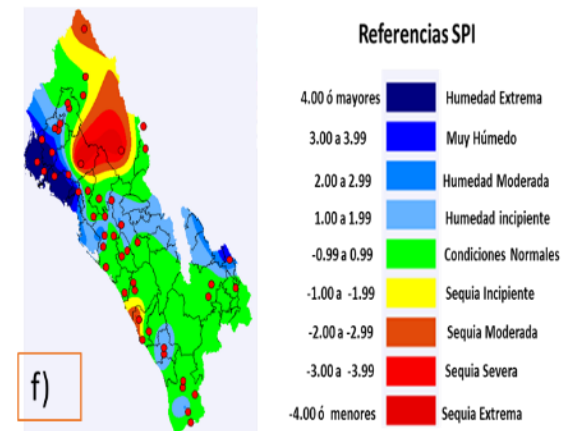
Índice Palmer Mensual; Octubre 2018



Índice Palmer Mensual; Noviembre 2018



Índice Mensual; Diciembre 2018

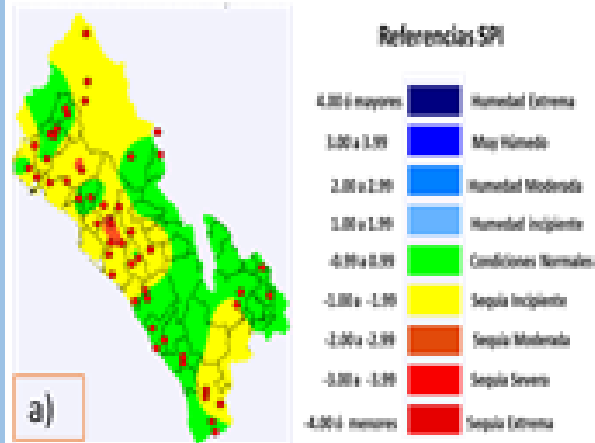




# Formación de recursos humanos en el tema de sequías

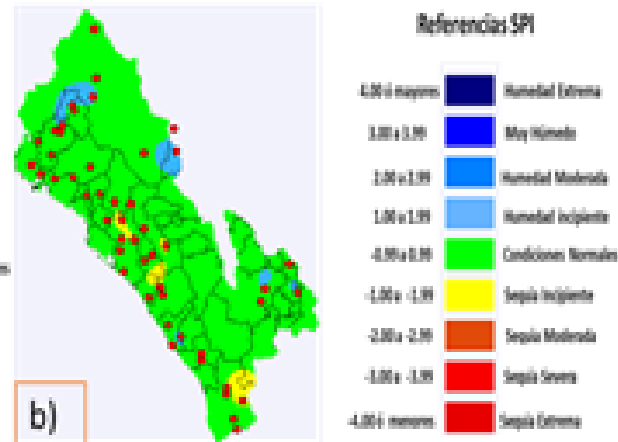
## Índice SPI Mensual; 3 meses 2018

Índice SPI Mensual; 3 Enero 2018



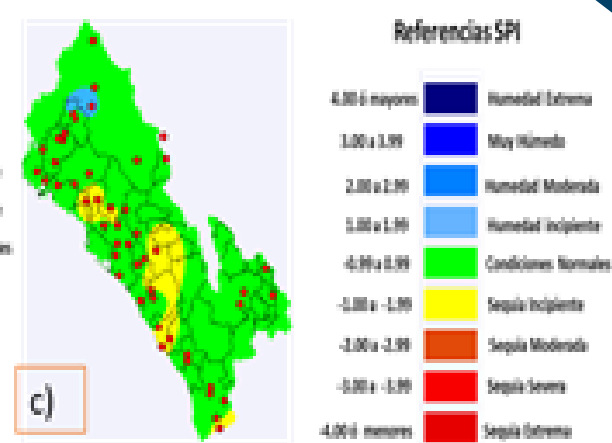
a)

Índice SPI Mensual; 3 Febrero 2018



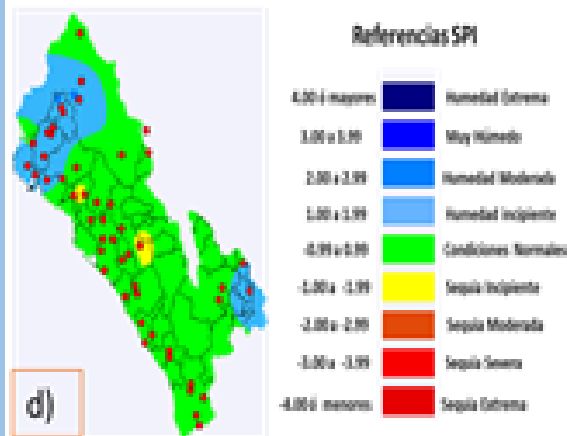
b)

Índice SPI Mensual; 3 Marzo 2018



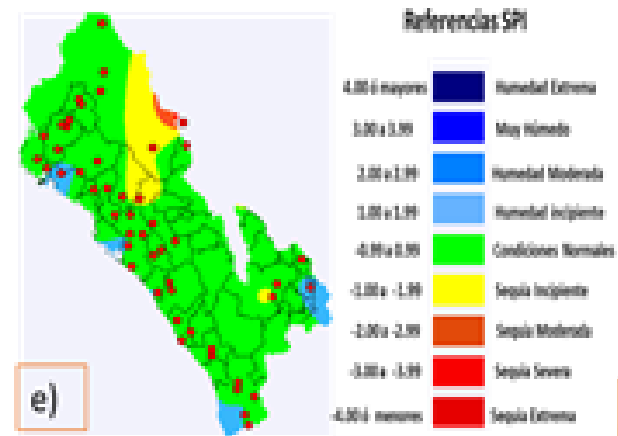
c)

Índice SPI Mensual; 3 Abril 2018



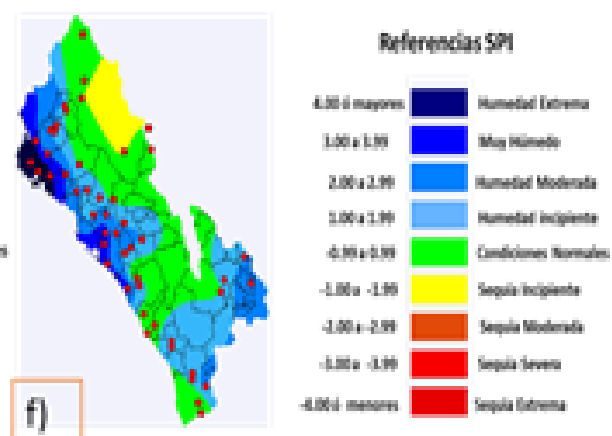
d)

Índice SPI Mensual; 3 Mayo 2018



e)

Índice SPI Mensual; 3 Junio 2018

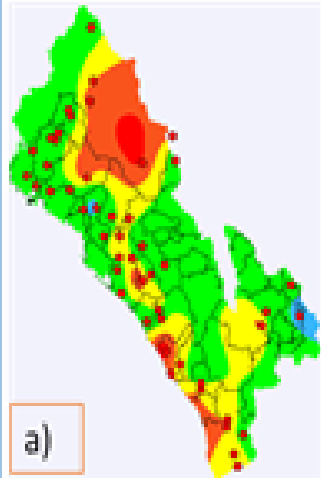


f)

# Formación de recursos humanos en el tema de sequías

## Índice SPI Mensual; 3 meses 2018

Índice SPI Mensual; 3 Julio 2018

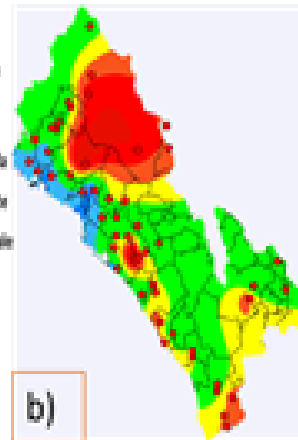


a)

Referencias SPI



Índice SPI Mensual; 3 Agosto 2018

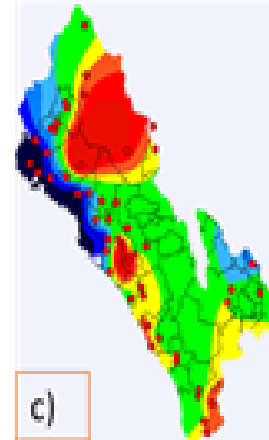


b)

Referencias SPI

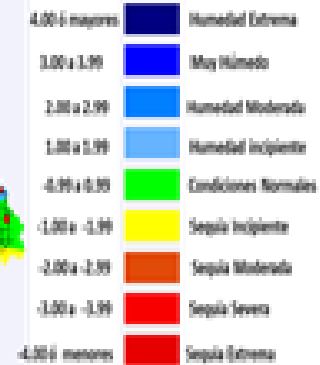


Índice SPI Mensual; 3 Septiembre 2018

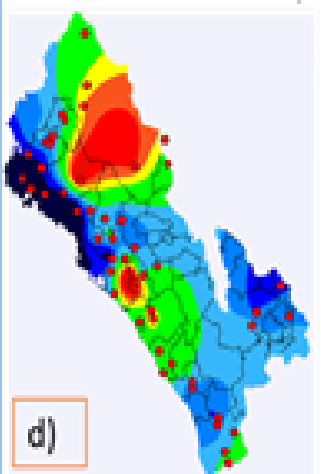


c)

Referencias SPI



Índice SPI Mensual; 3 Octubre 2018

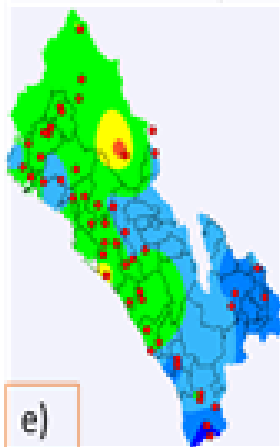


d)

Referencias SPI



Índice SPI Mensual; 3 Noviembre 2018

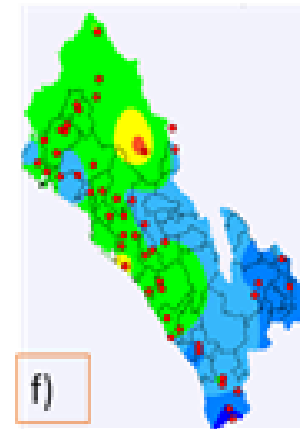


e)

Referencias SPI



Índice SPI Mensual; 3 Diciembre 2018



f)

Referencias SPI

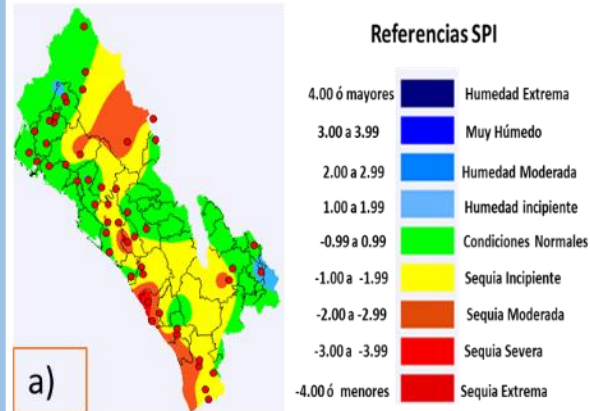




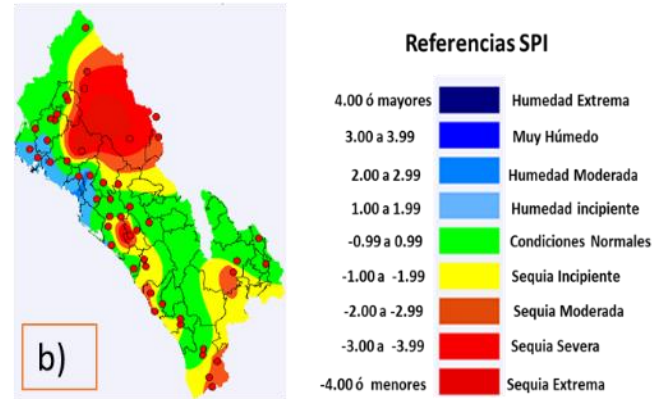
# Formación de recursos humanos en el tema de sequías

## Índice SPI Mensual; 6 meses 2018

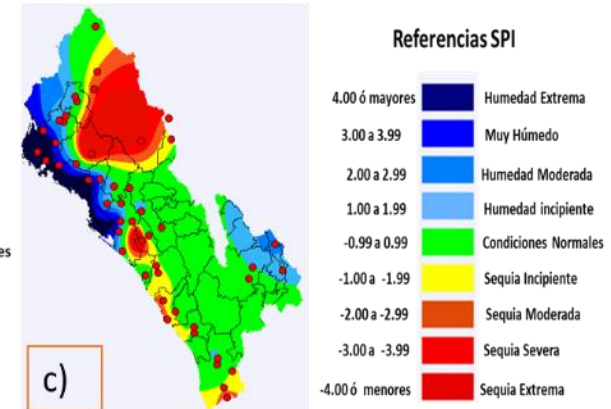
Índice SPI Mensual; 6 Julio 2018



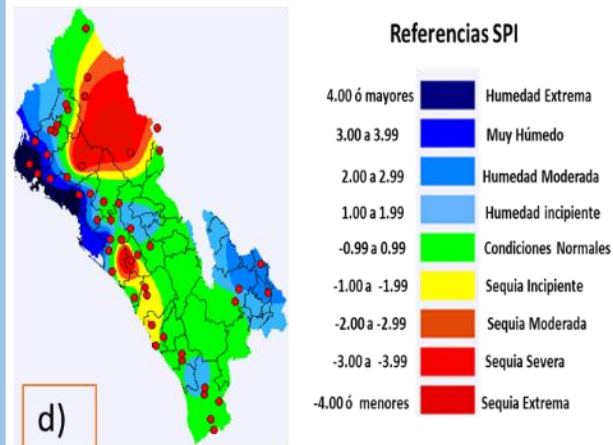
Índice SPI Mensual; 6 Agosto 2018



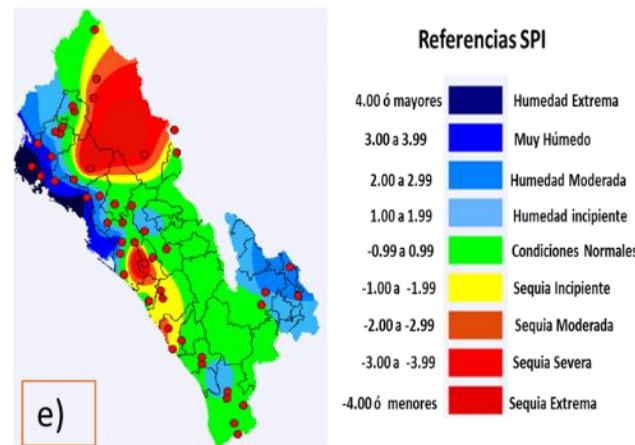
Índice SPI Mensual; 6 Septiembre 2018



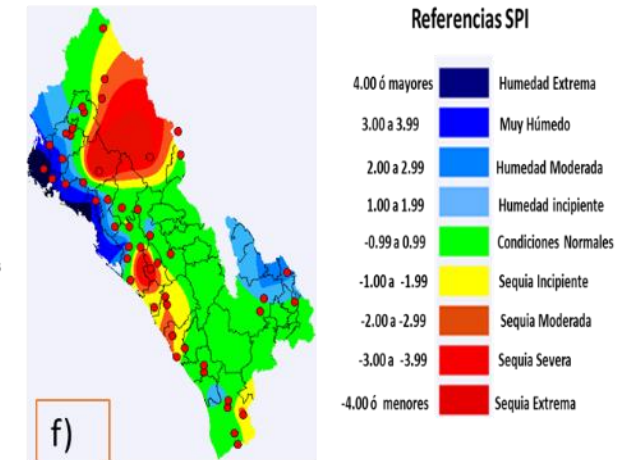
Índice SPI Mensual; 6 Octubre 2018



Índice SPI Mensual; 6 Noviembre 2018



Índice SPI Mensual; 6 Diciembre 2018



# Experiencias en difusión



## Simposio Internacional de Expertos "Coping with Droughts", Santiago de Chile





# Experiencias en difusión

“Conferencia internacional sobre sequías”, Valencia, España



# Experiencias en publicación



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

Jiltepec, Morelos

2010



Universidad Nacional de Córdoba  
Facultad de Ciencias Agropecuarias  
Escuela para Graduados



## DETERMINACIÓN DE ESCENARIOS POR SEQUÍA MEDIANTE ANÁLISIS MULTIVARIADO TEMPORAL USANDO REDES NEURONALES EN MÉXICO

José Carlos Douriet Cárdenas

Tesis  
Para optar al Grado Académico de  
Doctor en Ciencias Agropecuarias

Córdoba, 2017



# Experiencias en publicación



AMH

XXIV CONGRESO NACIONAL DE HIDRÁULICA  
ACAPULCO, GUERRERO, MÉXICO, MARZO 2017

AMH

## MONITOREO, EVALUACIÓN Y PRONÓSTICO DE SEQUÍAS HIDROLÓGICAS EN EL OCPN-CONAGUA, MÉXICO.

Douriet Cárdenas José Carlos<sup>1</sup>, Sanz Ramos Rafael<sup>2</sup>, Ravelo Andrés Carlos<sup>3</sup>, Ramírez Orozco Aldo Iván<sup>4</sup>, Ovando Gustavo<sup>5</sup>, Torrecillas Núñez Cruz Elisa<sup>6</sup>.

<sup>1,2</sup>Organismo de Cuenca Pacífico Norte-CONAGUA. Avenida Federalismo s/n, Col. Recursos Hidráulicos, 80105, Culiacán Rosales, Sinaloa. Teléfono: 01 667 846 43 17; <sup>3,5</sup>CREAN-CONICET-UNC, Facultad de Ciencias

Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba, Casilla de Correo 509, Córdoba, Argentina; <sup>4</sup>Centro del Agua para América Latina y El Caribe, ITM, Monterrey Nuevo León, Teléfono: 01 667 713 40 43 y 532; <sup>6</sup>Facultad de Ingeniería Culiacán de la Universidad Autónoma de Sinaloa. Calzada de las Américas y Universitarios, s/n, Ciudad Universitaria, 80040 Culiacán Rosales, Sinaloa. Teléfono: 01 667 713 40 43 y 532;

jose.douriet@conagua.gob.mx; Rafael.sanz@conagua.gob.mx; ravelo43@gmail.com; aldo.ramirez@itesm.mx; gugovan@gmail.com; cruztn@hotmail.com.



## Capacitación EUROCLIMA DDTs, INSA, Campina Grande, Brasil 21 y 22 Abril 2016

Estimado participante,

Ha sido seleccionado para trabajar en el desarrollo de una aplicación de gestión de riesgo de desastres naturales en las regiones geográficas de América Latina y el Caribe (ALC), con uso de sus datos meteorológicos y/o biofísicos, junto con los datos obtenidos a través del Observatorio EUROCLIMA para la Desertificación, Degradación de Tierras y la Sequía (DDTS).

Como los participantes son especialistas en diversas materias específicas y distintas, el principal objetivo de la capacitación EUROCLIMA DDTs es ayudarlo en el desarrollo de una aplicación genérica en su campo de conocimiento. Por lo tanto, no centramos la capacitación en la disciplina científica que usted está normalmente trabajando, pero nos concentramos en capacitarle en el uso de TerraMA2 ([http://www.lapismet.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=74&Itemid=103](http://www.lapismet.com/index.php?option=com_content&view=article&id=74&Itemid=103)) y en el manejo de datos del Observatorio EUROCLIMA DDTs (<http://edo.jrc.ec.europa.eu/scado/php/index.php?id=3120>), a través del uso de las herramientas disponibles para el desarrollo de un ejercicio enfocado en el tema de la sequía y/o la desertificación.



RADA, 2018, VOL. 06: 57-73

## Determinación de escenarios por sequía en la región del Organismo de Cuenca del Pacífico Norte, México

Douriet Cárdenas, J.C., A.C. Ravelo, A.I. Ramírez Orozco, C.E. Torrecillas Nuñez y C.M. García

### RESUMEN

Las sequías constituyen adversidades climáticas que afectan todas las actividades humanas y causan directa o indirectamente la degradación de las condiciones ambientales. México ha experimentado siempre los efectos negativos de las sequías desde la prehistoria, pasando por la época prehispánica, hasta la actualidad. En particular, el Organismo de Cuenca del Pacífico Norte (OCPN) ha sido afectado por sequías severas como la ocurrida en 2011-2012, lo cual fue de tal magnitud que, en consecuencia, los escurrimientos en ríos y arroyos fueron prácticamente nulos y se registraron volúmenes de almacenamiento de agua en las principales presas de la región, muy por debajo de su normal histórica. Se realizó un análisis temporal y espacial de sequías para el periodo 1979-2016 utilizando los índices estandarizados de precipitación (SPI) y el de severidad de sequía del Palmer (PDSI) para la región del OCPN. Se determinaron escenarios de sequías con 1, 2 y 3 meses de antelación, basados en el análisis multivariado temporal y uso de redes neuronales. Los resultados demostraron que un pronóstico preciso fue obtenido por el modelo de red neuronal Perceptron Multilayer de dos capas. Los parámetros estadísticos utilizados para evaluar los pronósticos indicaron una estrecha relación entre los valores observados y pronosticados con errores de estimación aceptables. La aplicación de estos métodos propuestos pueden contribuir a la gestión integral de cuencas para la prevención, mitigación, adaptación y respuesta ante la sequía.

**Palabras clave:** Redes neuronales, variabilidad climática, análisis multivariado temporal.

Douriet Cárdenas, J.C., A.C. Ravelo, A.I. Ramírez Orozco, C.E. Torrecillas Nuñez and C.M. García, 2018. Determining drought scenarios in the region of the North Pacific Basin Agency, Mexico. RADA, 06: 57-73

### SUMMARY

Droughts are meteorological adversity affecting all human activities which directly or indirectly cause the degradation of environmental conditions. Mexico

Fecha de recepción: 07/06/2018; fecha de aceptación: 20/11/2018

# Experiencias en publicación



## Tabla de contenido

1. Introducción.....	8
1.1 Tipos e impactos de las sequías .....	9
1.2 La variabilidad climática y las sequías .....	10
1.2.1 El fenómeno de El Niño y las sequías .....	11
2. Aspectos metodológicos considerados .....	13
2.1 Índices de sequía .....	13
2.1.1 Índice Estandarizado de Precipitación (SPI).....	13
2.1.2 Índice de Severidad de Sequía de Palmer (PDSI).....	14
2.1.3 Índice de Humedad del Cultivo (CMI).....	14
2.1.4 Índice de radiación fotosintéticamente activa (FAPAR) .....	14
2.1.4.1 Identificación de ocurrencia de sequías usando información satelital....	15
3. Sistema Operativo de Sequías (SOS) .....	16
4. Área de estudio .....	17
5. Base de Datos .....	18
5.1 Datos meteorológicos .....	18
5.2 Datos satelitales .....	18
6. Generación de mapas de los índices PDSI, SPI y CMI .....	19
7. Evolución temporal de los índices de sequías.....	21
7.1 Evolución temporal de los índices PDSI, SPI3 y CMI.....	21
7.2 Evolución temporal de las anomalías del FAPAR .....	22
8. Análisis de la ocurrencia de sequías en el área de estudio durante el año 2015 ...	23
8.1 Análisis de la ocurrencia de sequías en El Salvador.....	23
8.1.1 Daños registrados en El Salvador.....	24
8.2 Análisis de la ocurrencia de sequías en Honduras .....	25
8.2.1 Daños registrados en Honduras.....	26
9. Acciones de alerta y mitigación.....	27
10. Conclusiones .....	29
Referencias .....	30
Lista de abreviaturas y definiciones .....	33
Lista de cifras .....	34
Lista de tablas .....	35
ANEXO I. Serie temporal de los índices PDSI, SPI3, SPI6, SPI12 y CMI .....	36
Anexo I.I. Serie Enero-Septiembre, 2015 del PDSI .....	36
Anexo I.II. Serie Enero-Septiembre, 2015 del SPI3, SPI6, SPI12 .....	39
Anexo I.III. Serie Junio Agosto, 2015 del CMI.....	48
ANEXO II. Serie temporal de imágenes de anomalía FAPAR.....	49



# Muchas gracias



**Dr. José Carlos Douriet Cárdenas**

Vicepresidente AMH - Sinaloa

josedouriet57@gmail.com



## Para citar esta presentación:

Douriet, Cárdenas, J.C. 2020. La determinación de escenarios por sequía: experiencias en su aplicación al área de influencia del Organismo de Cuenca Pacífico Norte, México. Serie de Seminarios Virtuales 2020. Colegio Mexicano de Ingenieros en Irrigación (COMEII). México. 78 pp.

Consulta el portal del COMEII y sus redes sociales:

[www.comeii.com](http://www.comeii.com) y [www.riego.mx](http://www.riego.mx)