



Quinto Congreso Nacional de Riego y Drenaje COMEII-AURPAES 2019

Septiembre 2019 | Mazatlán, Sinaloa



AURPAES, S.C.
Asociación Estatal de Asociaciones de Usuarios de Riego
Productores Agrícolas del Estado de Sinaloa S.C.



SEMARNAT
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE
Y RECURSOS NATURALES



IMTA
INSTITUTO MEXICANO
DE TECNOLOGÍA DEL AGUA

ANÁLISIS REGIONAL DE FRECUENCIA DE SEQUÍA METEOROLÓGICA EN LA ZONA ÁRIDA DE MÉXICO

JESÚS DE LA CRUZ BARTOLÓN, DAVID ORTEGA-GAUCIN

Fecha de presentación **19/septiembre/2019**
Mazatlán, Sinaloa, México



SINALOA
GOBIERNO DEL ESTADO



CONAGUA
COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA



AURPAES, S.C.
Asociación Estatal de Asociaciones de Usuarios de Riego
Productores Agrícolas del Estado de Sinaloa S.C.



SADER
SECRETARÍA DE AGRICULTURA
Y DESARROLLO RURAL



SINALOA
SECRETARÍA DE AGRICULTURA
Y GANADERÍA



AMERD
ASOCIACIÓN MEXICANA DE EMPRESAS DE RIEGO Y DRENAJE A.C.



IMTA
INSTITUTO MEXICANO
DE TECNOLOGÍA
DEL AGUA



INIFAP
Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales, Agrícolas y Pecuarias



ANUR
ASOCIACIÓN NACIONAL DE
USUARIOS DE RIEGO, A.C.



**UNIVERSIDAD
DE LOS MOCHIS**





Contenido

- Introducción
- Métodos y Materiales
- Resultados y Discusión
- Conclusiones

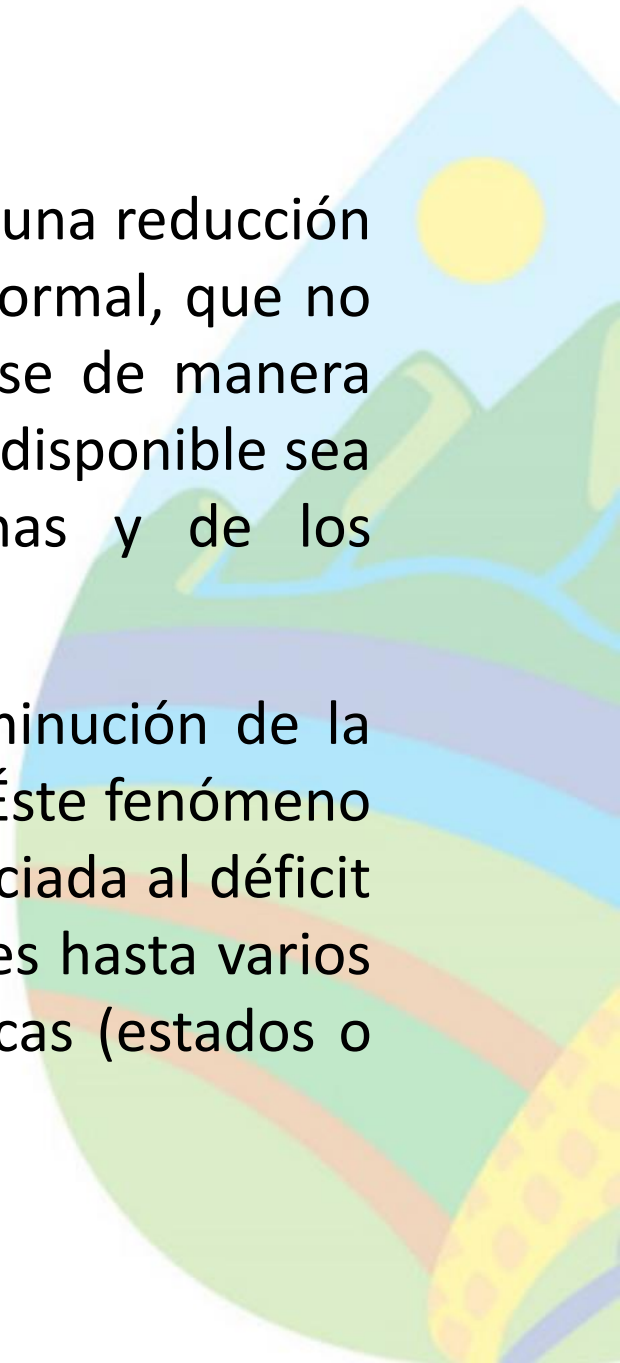




Introducción

La sequía es un fenómeno climático recurrente caracterizado por una reducción en la precipitación pluvial con respecto a la considerada como normal, que no presenta epicentro ni trayectorias definidas. Tiende a extenderse de manera irregular a través del tiempo y del espacio, y provoca que el agua disponible sea insuficiente para satisfacer las distintas necesidades humanas y de los ecosistemas.

La sequía en su estado meteorológico, se relaciona con la disminución de la precipitación pluvial que afecta a los ecosistemas y la economía. Éste fenómeno se caracteriza por tener tres rasgos principales: la intensidad, asociada al déficit de precipitación; la duración, que varía desde unos cuantos meses hasta varios años; y la extensión, que puede abarcar grandes áreas geográficas (estados o regiones completas).



Introducción

México es vulnerable a la sequía:

- Por su ubicación geográfica, 66 por ciento del territorio es desértico o semidesértico;
- Se encuentra ubicado en la franja cuya latitud corresponde a los grandes desiertos del mundo;
- Presenta todo un contraste en la distribución espacio-temporal del agua y por ende, efecto en la población y la economía.



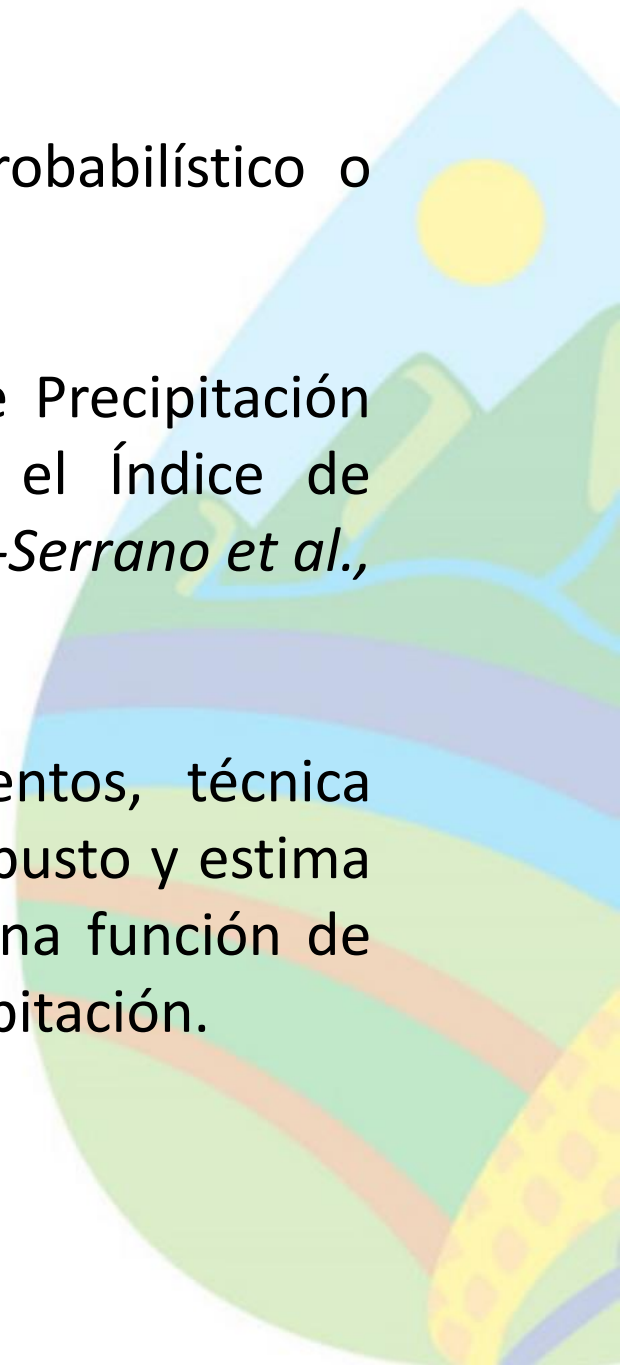
Franja desértica del mundo (Adaptado de FAO, Global Ecological Zones).



Introducción

Los eventos de sequía pueden analizarse bajo un enfoque probabilístico o usando un análisis regional de frecuencia.

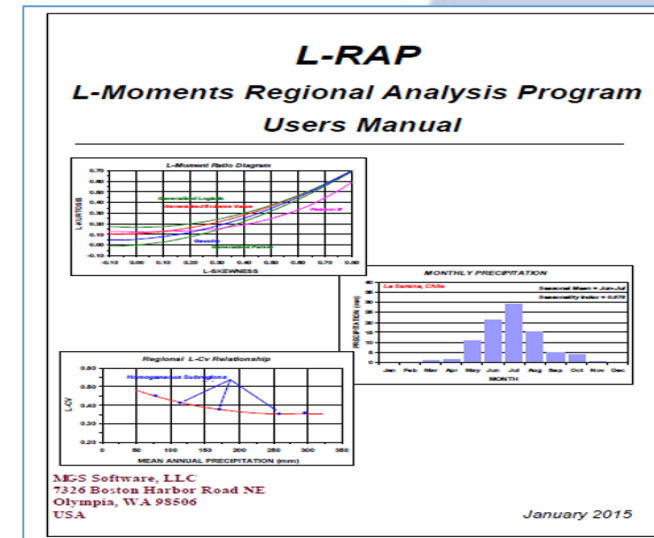
- Análisis de la sequía en un enfoque probabilístico: Índice de Precipitación Estandarizado o SPI (*McKee, Doesken, & Kleist, 1993*) y el Índice de Precipitación-Evapotranspiración Estandarizado o SPEI (*Vicente-Serrano et al., 2010*)
- Análisis regional de frecuencia (ARF) basado en L-Momentos, técnica desarrollada por Hosking y Wallis (1997). El método es muy robusto y estima el periodo de recurrencia de eventos extremos a partir de una función de distribución de probabilidad, ajustando los registros de la precipitación.





Introducción

Toda la aplicación de la metodología ARF se sustenta en la guía metodológica para la aplicación del Análisis Regional de Frecuencia del Programa Hidrológico Internacional de la Oficina Regional de Ciencia para América Latina y el Caribe de la UNESCO (Núñez, 2010), auxiliándonos del software comercial L-RAP elaborado por MGS Software, herramienta que sirvió para obtener la probabilidad de ocurrencia de la sequía con diferentes grados de duración e intensidad, a escala municipal en el OC Noroeste.





Introducción

Aplicaciones del Método ARF-LM

Solución de problemas que requieran la estimación de frecuencia de ocurrencia de una serie de fenómenos, como son:

- Precipitaciones máximas diarias y horarias,
- Caudales máximos y mínimos,
- Precipitaciones mensuales y multimensuales,
- Velocidad de viento,
- Radiación solar,
- Etc.

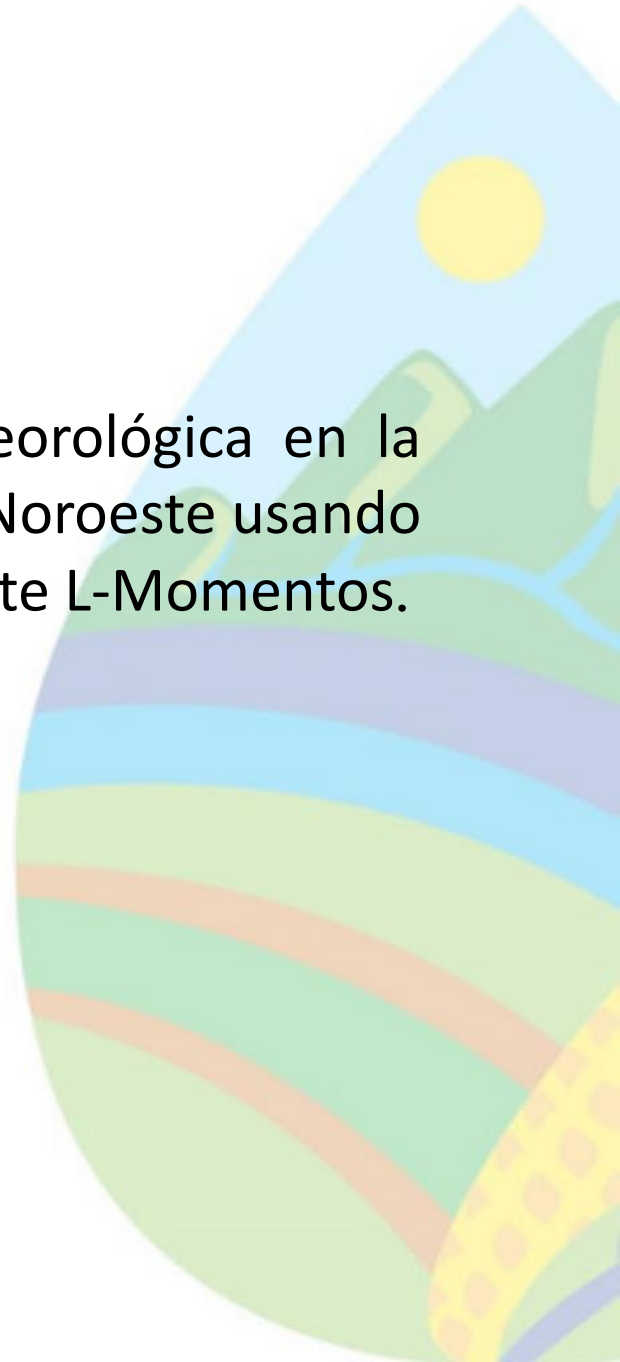
Requisito básico: Que las variables sean medidas a través del tiempo en estaciones de medición distribuidas geográficamente.





Introducción

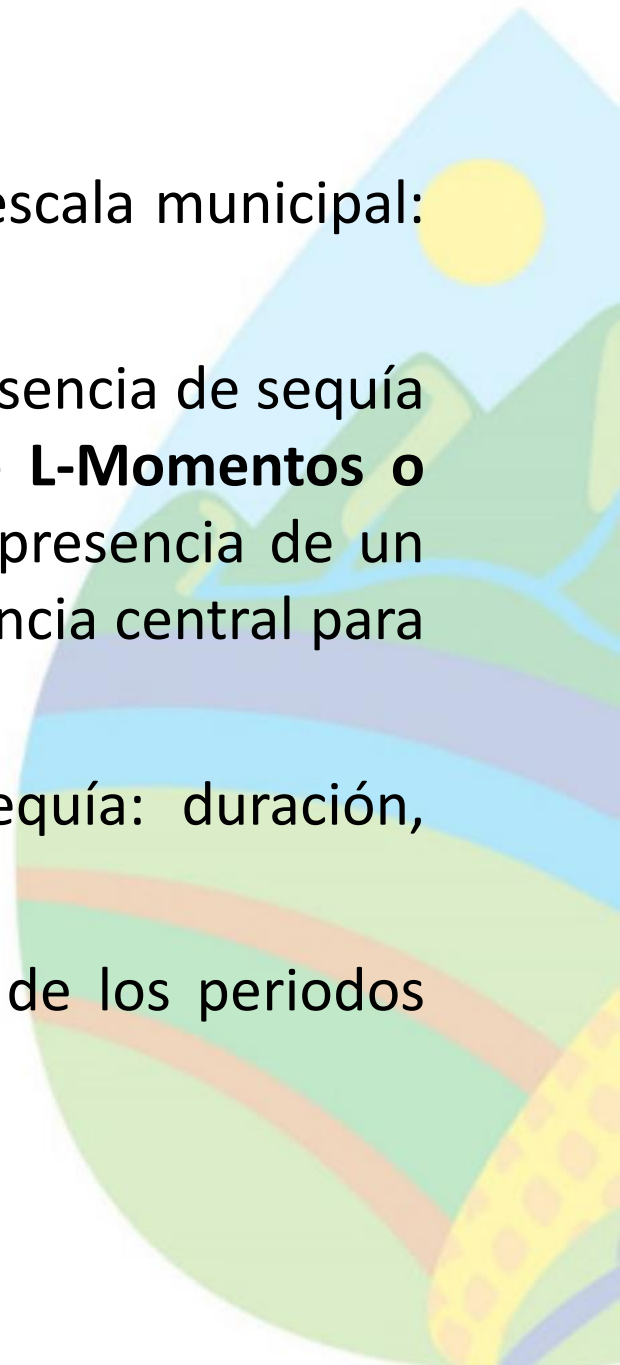
Objetivo: Calcular la probabilidad de ocurrencia de sequía meteorológica en la zona árida de México a escala municipal en el Organismo de Cuenca Noroeste usando la metodología del Análisis Regional de Frecuencia de Sequías mediante L-Momentos.





Materiales y Métodos

- Cálculo de la serie de tiempo de precipitación media anual a escala municipal: Isoyetas
- Establecer el umbral o nivel de truncamiento para definir la presencia de sequía en cada dato histórico anual de la serie de tiempo: **Método L-Momentos o Momentos Lineales**. Es una forma más robusta de definir la presencia de un periodo seco que el solo hecho de usar un estadístico de tendencia central para toda la serie de tiempo.
- Determinación de las características de los periodos de sequía: duración, periodicidad, déficit acumulado e intensidad.
- Cálculo de la probabilidad de ocurrencia: frecuencia relativa de los periodos secos.
- Mapeo de los resultados.

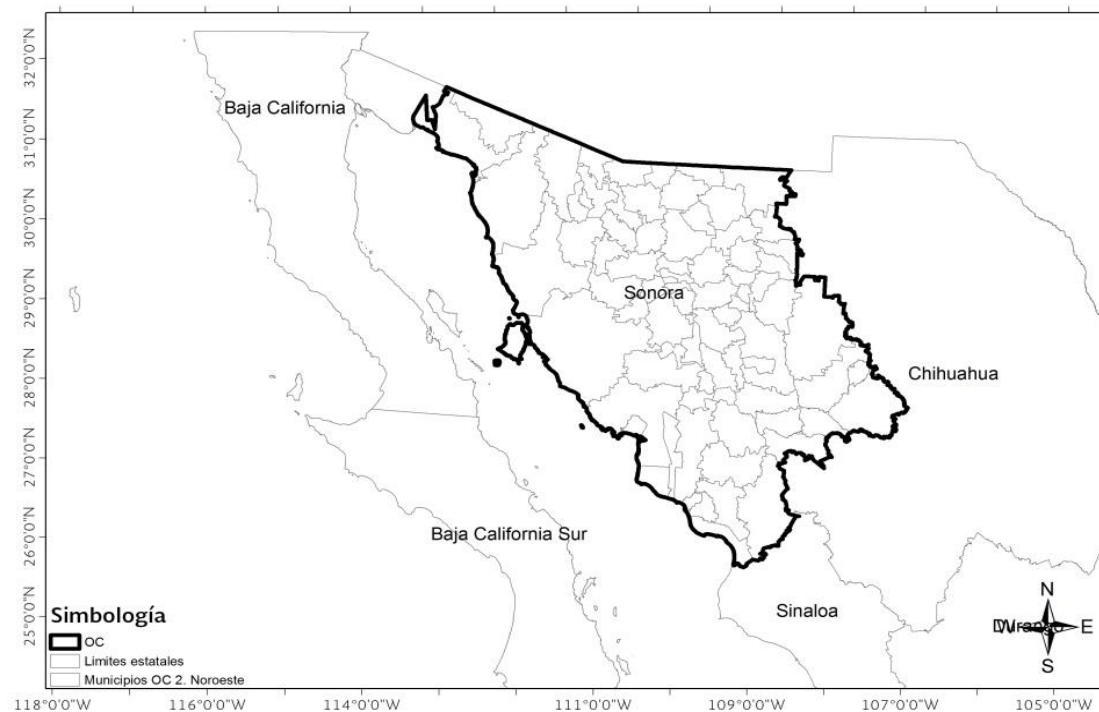




Materiales y Métodos

Delimitación del área de estudio

OC Noroeste

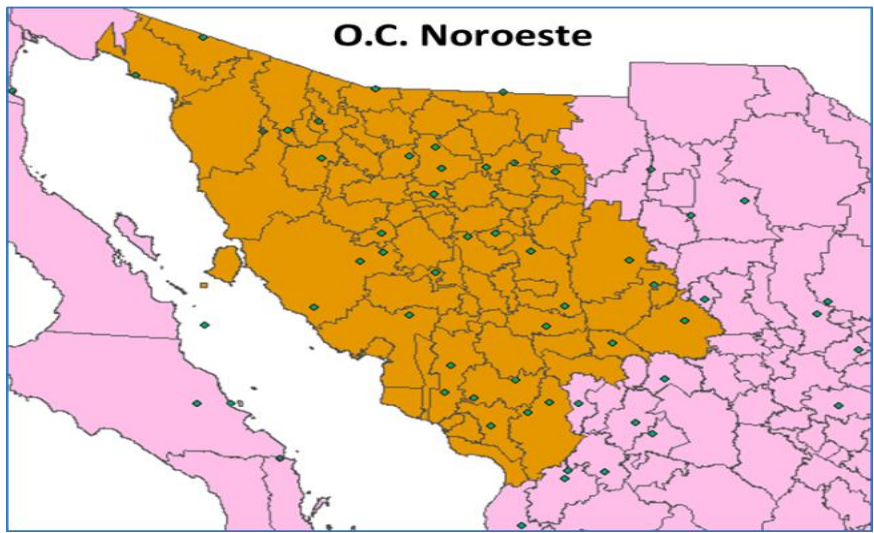


Estado	Municipios	Localidades	Población	Área (km²)
Chihuahua	7	1,330	99,610	25,661
Sonora	71	6,897	2,484,100	171,925
Total	78	8,227	2,583,710	197,586



Materiales y Métodos

- Cálculo de series de tiempo de precipitación media anual a escala municipal: Isoyetas.



OC Noroeste		
No	Clave estación	Nombre estación
1	26001	AGUA_PRIETA
2	26206	ALTAR
3	26005	ARIZPE
4	26006	BACADEHUACHI
5	26007	BACANUCHI
6	26205	BACERAC
7	26008	BANAMICHI
8	8352	BASASEACHIC
9	26018	CIUDAD_OBREGON
10	26021	COCORAQUE
11	26180	EL_CAJON
12	26029	EL_CUBIL
13	26032	EL_OREGANO
14	26139	HERMOSILLO
15	26045	IMURIS
16	26052	MAZATAN
17	26059	NACOZARI
18	26061	NAVOJOA
19	26062	NOGALES
20	8219	PENITAS
21	26093	PITQUITO
22	8326	PRESA_ABRAHAM_G
23	26024	PRESA_ADOLFO_RUIZ_C
24	26068	PRESA_ALVARO_OBREG
25	26069	PRESA_ANGOSTURA
26	26092	PRESA_CUAHTEMOC
27	26072	PUERTO_PENASCO
28	26073	PUNTA_DE_AGUA
29	26077	SAHUARIPA
30	26249	SANTA_ROSA
31	26080	SAN_BERNARDO
32	26082	SAN_ISIDRO
33	26096	SONOITA
34	8142	TEMOSACHI
35	26202	TEPACHE
36	26099	TESOCOMA
37	26123	YECORA

- Se ubicaron 37 estaciones climatológicas;
- Cálculo de los estadísticos muestrales de la serie;
- Análisis de estacionariedad para identificar tendencia y el análisis de homogeneidad.

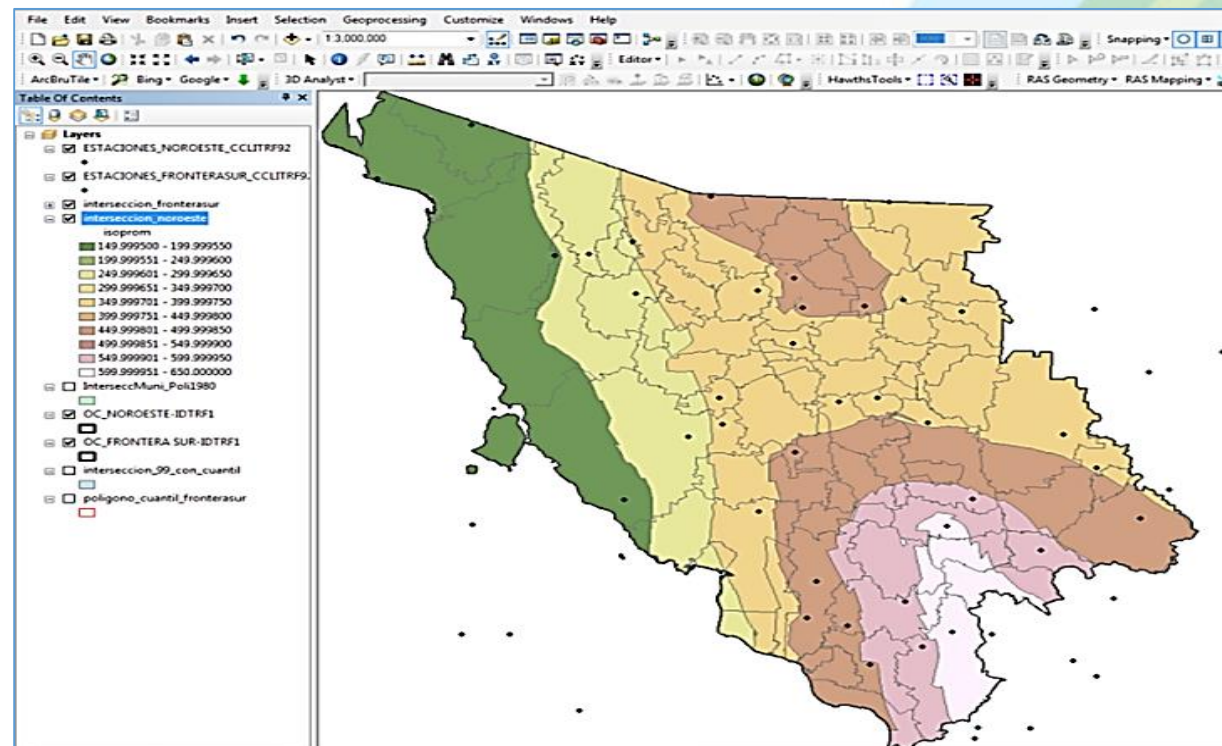
El periodo escogido fue de 30 años comprendidos de 1980 al 2009.

Materiales y Métodos

Se generaron series históricas de precipitación media anual a escala municipal. Se usó el método de las isoyetas para realizar la extrapolación de las precipitaciones y con la ecuación 1 se obtuvo la lámina de lluvia media anual, obteniendo series históricas de precipitación, 1980-2009.

$$p = \frac{\sum_{i=1}^n p_i A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (1)$$

Donde: p_i es la precipitación media anual observada en mm para un año i , A_i es el área delimitada entre isoyetas en km², y n es el número de franjas o subáreas que delimitan al municipio.





	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA
2	id_mpio	8006	8009	8012	8013	8017	8018	8020	8025	8030	8031	8034	8035	8040	8041	8043	8047	8048	8051	8063	8066	25001	25007	25010	25001	26002	260
3	1980	350.00	532.55	538.19	350.00	388.83	450.00	650.00	350.00	649.85	449.21	350.00	350.00	368.17	550.00	410.28	611.96	350.00	549.54	446.85	640.24	550.00	650.00	633.80	26001	350.00	634
4	1981	550.00	678.74	650.00	374.64	550.00	637.83	758.94	456.53	750.00	631.03	450.00	350.00	558.21	750.00	550.62	843.63	472.24	748.19	658.46	773.20	665.14	847.66	750.00	571.68	386.46	745
5	1982	450.00	846.58	737.51	450.00	502.22	617.61	827.86	450.00	850.00	638.21	450.00	350.00	460.21	850.00	497.14	782.32	450.00	849.25	604.21	844.00	550.00	650.00	639.27	450.00	381.47	662
6	1983	650.00	934.55	823.88	550.00	650.00	740.86	963.73	634.95	1050.00	792.29	550.00	550.00	664.98	985.56	687.02	933.89	650.00	937.12	785.28	964.22	772.91	947.71	850.00	650.00	550.89	877
7	1984	650.00	950.00	863.53	550.00	652.19	760.89	1107.26	587.58	1150.00	812.23	550.00	550.00	648.54	1043.67	667.50	967.92	650.00	960.53	783.67	1054.67	983.48	1138.98	1050.00	650.00	550.92	103
8	1985	550.00	847.98	750.00	550.00	550.76	650.55	847.13	550.00	950.00	676.39	550.00	550.00	563.03	915.39	556.85	774.16	550.00	845.12	665.21	849.09	550.00	745.35	643.35	450.00	478.27	667
9	1986	650.00	849.31	750.00	458.08	673.98	750.00	770.55	575.68	850.00	750.77	550.00	450.00	629.21	850.00	573.41	766.94	650.00	849.98	736.09	828.18	576.33	712.77	648.37	550.00	450.00	671
10	1987	450.00	450.00	450.00	550.00	447.64	450.00	550.00	462.03	550.00	449.67	550.00	450.00	491.56	502.91	450.00	450.00	450.00	450.00	450.00	524.41	378.53	549.75	450.00	350.00	450.14	504
11	1988	391.00	467.00	450.00	450.00	385.06	450.00	650.00	450.00	649.70	449.07	450.00	450.00	450.00	548.23	450.00	550.00	450.00	496.82	450.67	609.95	375.38	646.14	510.44	450.00	453.30	606
12	1989	550.00	650.00	635.25	450.00	469.54	550.00	700.73	450.00	750.00	561.74	450.00	350.00	480.32	630.19	550.00	648.87	456.08	650.00	556.66	663.65	550.00	732.61	586.26	350.00	351.25	628
13	1990	650.00	918.36	803.80	550.00	650.19	750.00	950.00	625.54	950.00	795.33	550.00	450.00	663.19	950.00	714.19	1002.91	650.00	954.43	827.91	954.18	750.00	839.81	750.00	550.00	547.94	781
14	1991	750.00	950.00	871.50	563.75	750.00	841.17	866.27	684.78	950.00	840.68	650.00	550.00	688.69	950.00	750.50	831.61	750.00	986.29	812.49	919.50	650.00	834.47	747.99	450.00	543.87	740
15	1992	550.00	746.57	650.00	4																						



Materiales y Métodos

Determinación del umbral o nivel de truncamiento para establecer el periodo de sequía, usando la metodología de Análisis de Frecuencia Regional L-Momentos.

Etapas del Análisis Regional de Frecuencia de Sequías

Homogeneidad,
valores atípicos, etc.

Criterios:
Estacionalidad y
magnitud PMA

Etapa 1.

Preparación y control de calidad de los datos



Etapa 2.

Proposición e identificación de regiones homogéneas



Etapa 3.

Selección de la distribución de frecuencia



Etapa 4.

Cálculo de parámetros y estimación de la función de cuantiles



Etapa 5.

Mapeo del período de retorno o probabilidad de ocurrencia de una sequía

Procedimiento iterativo

(si no se ajustan los datos a ninguna distribución, se reformulan las regiones y se verifica la calidad de los datos)

Fuente: Adaptado de Núñez et al., 2010.



Materiales y Métodos

Software L-RAP (L-Moment Regional Analysis Program)



Software LLC

7326 Boston Harbor Road NE
Olympia, WA
Tel: 1-360-570-3450

[Home](#) [Consulting](#) [MGSFlood](#) [SEFM](#) [L-RAP](#) [Contact](#)

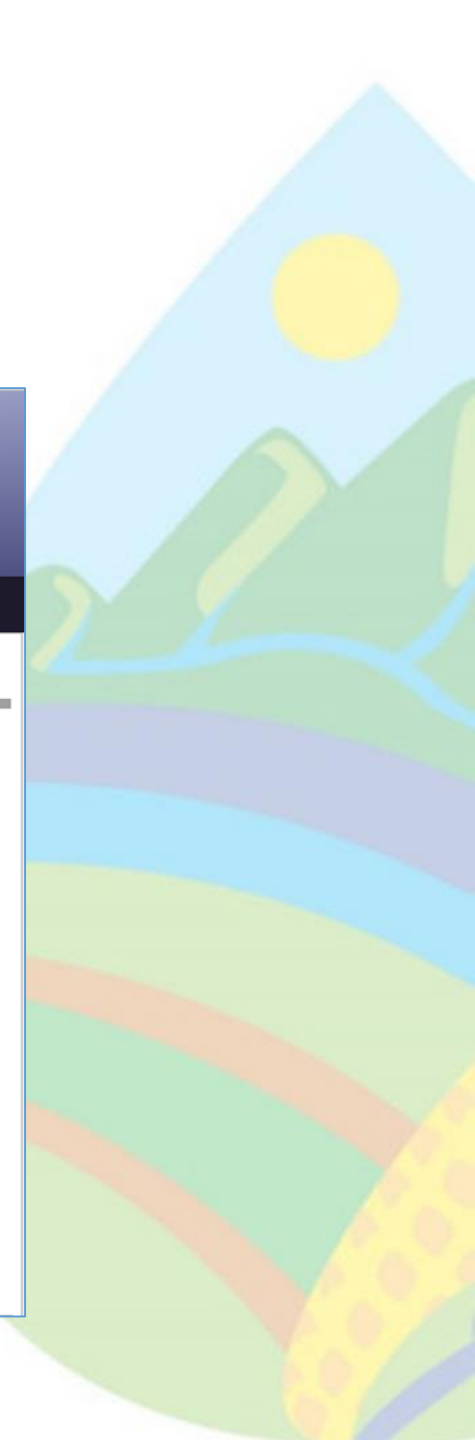
L-RAP (L-MOMENT REGIONAL ANALYSIS PROGRAM)

L-RAP is a software program intended for conducting regional frequency analysis using L-Moments for datasets comprised of measurements of the same phenomenon observed at multiple sites. L-RAP was initially developed for conducting analyses of climatic and water-resources data that are observed at multiple sites on a monthly, multi-month or annual maxima basis but the program may be used to analyze data from almost any source.

L-RAP utilizes the L-moment methods for conducting regional frequency analyses as described in the Hosking and Wallis Monograph; [Regional Frequency Analysis, An Approach Based on L-Moments](#)

L-RAP PRICING	L-RAP DOWNLOAD	REGIONAL ANALYSES PROCEDURE USING L-RAP
L-RAP is sold as a single user license with a detailed users manual and example projects. Commercial Users: \$400 Academic/Research: \$200 Student: \$50	Click the Link Below to Download a fully functional Version of L-RAP. L-RAP Version 1.5.3 Save the installation file (setup.exe) to your computer. Double click to install. A trial License and Activation Code can be requested below. Release Notes	L-Moment Procedure Using L-RAP L-Moments Statistics Definitions Regional Precipitation-Frequency Analyses for the Tennessee Valley Watershed

To Purchase L-RAP or request a Trial License, Contact: Support@mgsengr.com





Materiales y Métodos

Ejecución del programa L-RAP

File Edit Tools Help

Control | Data Management | Data Quality Scan | **Data Filter** | Data Screening | Regional Analysis | Quantile Estimates | L-Moment Calculator

Aggregate Data by Month

Start Month: Jul

Number of Months to Aggregate (Include Start Month): 3

Print Report Window

Select Climatic Regions

- ☒ Region 1
- ☒ Region 2
- ☐ Region 3
- ☐ Region 4
- ☐ Region 5
- ☐ Region 6

Select Regions

Select Stations Based on:

Include Gage Type(s)

Select All Meter Types

- ☒ Daily
- ☒ Hourly
- ☒ Fischer Porter
- ☒ Synoptic

Remove Duplicate Gages

Mean Annual Precip

Min: 0.00

Max: 0.00

Latitude (Decimal Degrees)

Min: 0.0000

Max: 0.0000

Min Non-Zero Record Length

5

Start/End Years

Start Year: 1948

End Year: 2004

USER 1

Min: 0

Max: 0

USER 2

Min: 0

Max: 0

USER 3

Min: 0

Max: 0

USER 4

Min: 0

Max: 0

Retrieve Selected Stations



Materiales y Métodos

Etapas 1: Preparación de los datos

Microsoft Excel - Data Entry_AGUA_PRIETA_26001

ARCHIVO INICIO INSERTAR DISEÑO DE PÁGINA FÓRMULAS DATOS REVISAR VISTA DESARROLLADOR INQUIRE POWERPIVOT

Portapapeles Fuente Alineación Número Estilos

J41

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	Monthly Data Entry Template													
4	StationID	26001	Station/Site Identification, 7 alpha-numeric characters maximum											
5	Station Name	AGUA_PRIETA	Station/Site Name, 25 alpha-numeric characters maximum											
7	Gage Type	DY	Gage/Instrumentation Type, 2 alpha-numeric characters TB - automated recorder (such as tipping bucket gage), time resolution less than 60-minutes HR - automated recorder, time resolution is 1-hour DY - observational day measurements on 24-hour intervals											
13	State or Province	SONORA	Local Government Area Identification, 2 alpha-numeric characters											
15	Latitude	31.326	Latitude in decimal degrees, (example 45.677 northern hemisphere or -45.677 southern hemisphere)											
17	Longitude	-109.549	Longitude in decimal degrees, (example -122.357 west or 122.357 east)											
19	Mean Annual Precipitation	362.12	Mean Annual Precipitation of Station/Site, real number 1 decimal place in millimeters, initial estimate subject to revision											
22	Elevation	1210	Elevation of Station/Site, integer value in meters											
24	Duplicate Gage	0	Flag to indicate this can be considered a duplicate gage, [0] for no duplicate, [1] for duplicate gage duplicate gage may be a co-located precipitation gage or very near to another gage that has longer, higher quality record											
28	Region Number	2	User assigned number for identification of candidate homogeneous region, integer in range from 1 to 999											
29	Comments		Optional entry - may be used for recording variety of notes such as: when combining data from nearby gage - data from year nnnn-xxxx from gage aaaaaa											
32	Metadata Field 1		Optional Numeric Value Used to Select Data Stations											
34	Metadata Field 2		Optional Numeric Value Used to Select Data Stations											

Gage Information RawData Jan Feb Mar Apr May Jun Jul Aug Sep Oct Nov Dec

Microsoft Excel - Data Entry_AGUA_PRIETA_26001

ARCHIVO INICIO INSERTAR DISEÑO DE PÁGINA FÓRMULAS DATOS REVISAR VISTA DESARROLLADOR INQUIRE

Portapapeles Fuente Alineación Número Estilos

P14

INSTRUCTIONS FOR DATA ENTRY OF MONTHLY PRECIPITATION												
1. Copy and paste monthly precipitation from another source of 12 column format data to the cells below. Data entry must begin on row 7.												
The data need not be continuous, i.e., missing years will be accommodated by the Parse routine.												
2. Click the Parse button to copy the data for each month to its corresponding spreadsheet tab.												
3. Go to individual monthly worksheets and confirm/enter correct quality flags												
Year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1980	18.9	46.1	8.3	2.5	0	14.9	62.4	96.2	43.9	1	5.4	5.4
1981	45	14.7	20.4	20.2	6.6	75.8	68.3	26.4	31.3	28.7	27.6	1
1982	20.4	2.9	11.3	0.7	14.8	7	90.8	64.1	39.2	0	43.7	71.3
1983	27.5	40.1	47.4	3.7	0.6	2.1	148.7	48.2	124.1	74.3	63	17.1
1984	23.1	0	0	5.9	0	17	141.5	193.7	20.5	86	6.9	84.8
1985	38.5	27.5	7.5	25	0	-999	75	52.4	85	109.3	25	12.5
1986	11	19	14	1.5	0	26	135.8	81	25.5	14	41.5	79.6
1987	0	38	9.3	5.4	-999	36.5	-999	-999	38.9	5.7	2	50
1988	14	2.5	6.5	41.8	0.5	0	68.6	142	50	68.3	3.8	74
1989	21.4	7.2	14	21.5	6.5	0	77.5	105	6.8	22.5	0	5.8
1990	6.5	17	4	8.5	6	11.5	167	62.5	47	27	40.5	28
1991	34.5	22	4.5	2	0	19.9	17	151.5	81	4	8	104.5
1992	34	12.5	36.5	2	57	8.5	81.5	75	17.5	12	11	31.9
1993	90	18	7	0	24.5	9.5	77.5	81.5	7	6	20.5	5.3
1994	2	16	8.5	0	4.5	14.5	40	70.7	81	2	76	97.1
1995	8.5	40	3.5	3	0	0	72	78	33.5	8	13	8.5
1996	0	4	0.4	0	0	56	112	59.5	79	9	3.5	0
1997	6.5	22.5	3.5	8.5	14.5	4.5	37.5	64.5	26.5	6	36.5	66
1998	0.5	35.5	26.9	4.7	0	1.5	128.8	64	2.5	-999	-999	-999
1999	-999	-999	-999	-999	-999	-999	-999	-999	-999	-999	-999	-999
2000	-999	-999	-999	-999	-999	-999	-999	-999	-999	123.5	32	0
2001	26	1	4	13	6	20.5	153.9	39.5	9.9	16.5	9.3	12
2002	-999	35.9	0	0	0	0	81.6	64.3	76.5	2.9	4.7	23.3
2003	0	25	7	0	0	0.5	26	52.3	19	16.5	26.5	14.6
2004	17.8	13.3	26.3	24	0	4.5	22	61.1	47.5	18	19.5	15
2005	73.7	48	6	5	9	0	31.5	102	3.5	4	6	1.5
2006	4.5	3	0	0	0	3	132.5	111.5	54.5	29	0	7.5
2007	34.2	0	29.5	2.5	1.5	21	115.5	160.5	33.5	6	18.1	10.5

Gage Information RawData Jan Feb Mar Apr May Jun Jul Aug Sep Oct Nov Dec



Materiales y Métodos

Etapas 2: Ejecución del programa

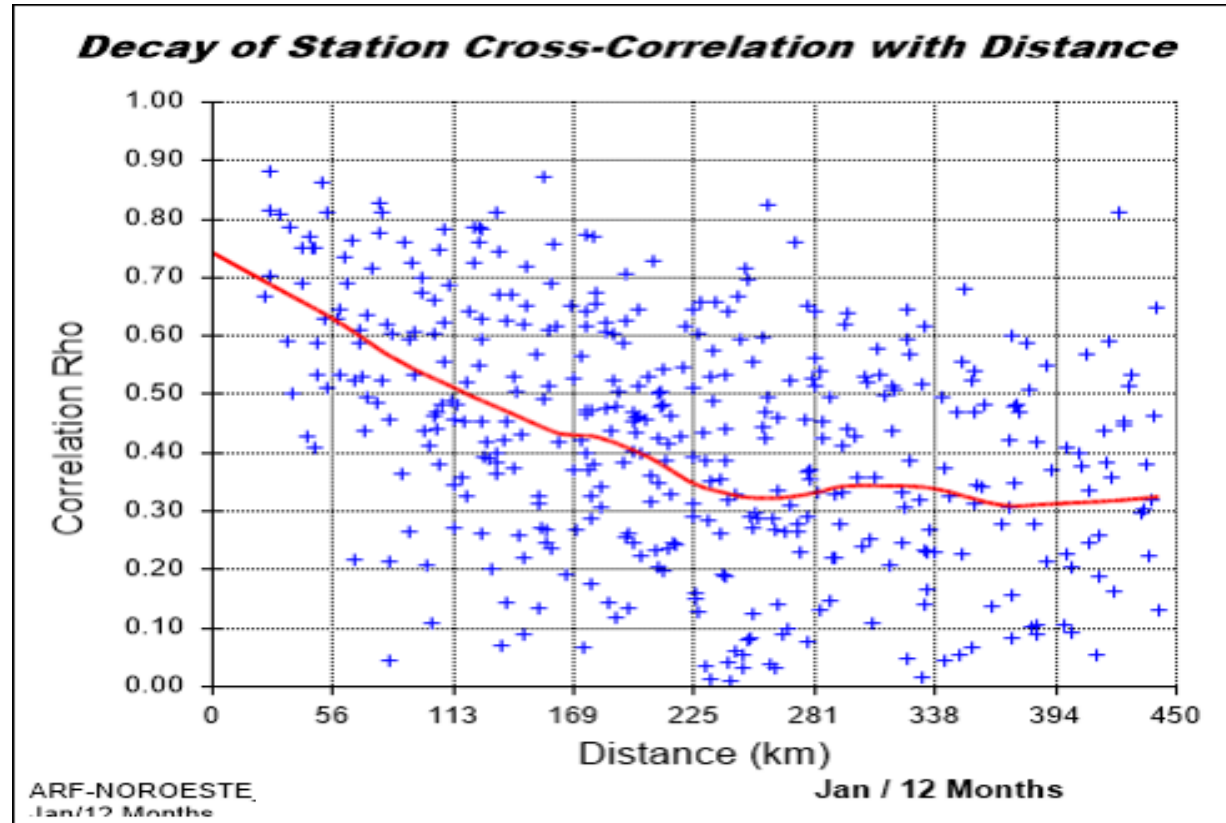
***** * ANALISIS DE SERIE CORRELACION Y STATIONARITY * *****								
CUENTA	ESTACION NOMBRE	#DATOS	SERIE Rho	CORRELACION Independencia	Alpha	Beta	Rho	PRUEBA DE STATIONARITY
1	AGUA_PRIETA	24	0.45	Pass	0.89	-0.0188	-0.587	Fail
2	ALTAR	23	0.50	Fail	0.90	-0.0167	-0.378	Pass
3	ARIZPE	13	0.32	Pass	0.94	-0.0148	-0.659	Fail
4	BACADEHUACHI	14	0.07	Pass	1.12	0.0142	0.492	Pass
5	BACANUCHI	25	-0.09	Pass	0.98	-0.0030	-0.100	Pass
6	BACERAC	21	-0.38	Pass	1.02	0.0055	0.193	Pass
7	BANAMICHI	26	-0.07	Pass	0.96	-0.0081	-0.277	Pass
8	BASASEACHIC	15	0.33	Pass	1.17	0.0288	0.469	Pass
9	CIUDAD_OBREGON	28	0.06	Pass	0.96	-0.0072	-0.181	Pass
10	COCORAQUE	15	0.28	Pass	0.93	-0.0087	-0.330	Pass
11	EL_CAJON	30	0.10	Pass	0.93	-0.0121	-0.321	Pass
12	EL_CUBIL	10	0.02	Pass	1.37	0.0285	0.473	Pass
13	EL_OREGANO	19	-0.09	Pass	1.01	0.0009	0.029	Pass
14	HERMOSILLO	30	-0.15	Pass	0.99	-0.0020	-0.059	Pass
15	IMURIS	27	0.33	Pass	0.95	-0.0096	-0.327	Pass
16	MAZATAN	13	-0.14	Pass	0.95	-0.0321	-0.566	Fail
17	NACCOZARI	10	0.30	Pass	0.99	0.0140	0.352	Pass
18	NAVOJOA	27	-0.03	Pass	0.96	-0.0085	-0.239	Pass
19	NOGALES	16	0.51	Pass	0.92	-0.0347	-0.807	Fail
20	PENITAS	10	0.13	Pass	0.85	-0.0150	-0.583	Pass
21	PITTIQUITO	28	0.22	Pass	0.98	-0.0027	-0.071	Pass
22	PRESA_ABRAHAM_G	16	-0.51	Pass	1.00	-0.0010	-0.032	Pass
23	PRESA_ADOLFO_RUIZ_C	29	0.05	Pass	0.99	-0.0016	-0.054	Pass
24	PRESA_ALVARO_OBREG	28	0.01	Pass	0.96	-0.0068	-0.223	Pass
25	PRESA_ANGOSTURA	23	-0.23	Pass	1.00	-0.0008	-0.020	Pass
26	PRESA_CUAHTEMOC	19	0.14	Pass	1.03	0.0026	0.053	Pass
27	PUERTO_PENASCO	18	0.14	Pass	0.98	-0.0171	-0.169	Pass
28	PUNTA_DE_AGUA	29	0.03	Pass	1.02	0.0035	0.147	Pass
29	SAHUARIPA	28	0.06	Pass	1.07	0.0117	0.379	Fail
30	SANTA_ROSA	25	0.24	Pass	0.95	-0.0089	-0.272	Pass
31	SAN_BERNARDO	19	0.54	Pass	0.95	-0.0104	-0.489	Fail
32	SAN_ISIDRO	22	0.28	Pass	0.91	-0.0140	-0.249	Pass
33	SONOITA	30	0.18	Pass	0.91	-0.0156	-0.303	Pass
34	TEMOSACHI	19	-0.06	Pass	0.94	-0.0086	-0.282	Pass
35	TEPACHE	23	0.01	Pass	0.94	-0.0104	-0.368	Pass
36	TESOCOMA	30	-0.01	Pass	0.95	-0.0092	-0.330	Pass
37	YECORA	29	0.13	Pass	0.99	-0.0026	-0.089	Pass
***** ESTADISTICA DE REGIONES POR GRUPO DE ESTACIONES *****								

Como puede observarse, L-RAP indica qué estación analizada superó o falló la prueba de autocorrelación y la prueba de estacionariedad.

Las estaciones que no superaron la prueba fueron sujetas a revisión para determinar las anomalías

Materiales y Métodos

Análisis regional



Gráfica descriptiva de correlación entre las estaciones climatológicas del Organismo de Cuenca Noroeste.

Materiales y Métodos

Etapas 3: Determinación de la función de distribución de probabilidad

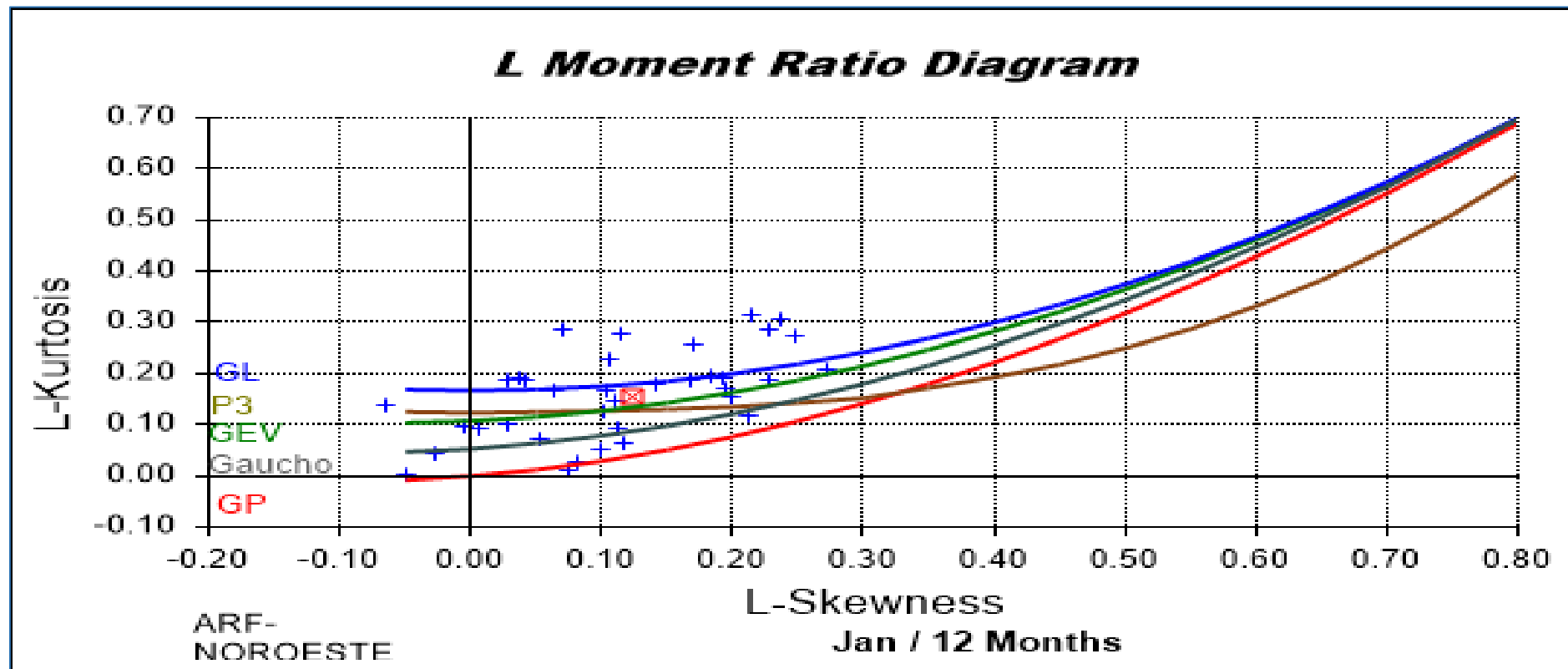


Diagrama L-momento–ratios para las estaciones del Organismo de Cuenca Noroeste.



Materiales y Métodos

Etapas 4: Determinación de Cuantiles

PARAMETRO ESTIMACIONES

POR DISTRIBUCIONES ACEPTADO DE 90% NIVEL

500 Simulaciones

	POSICION	ESCALA	FORMA1	FORMA2
GEN. NORMAL	0.9621	0.2919	-0.2557	
GEN. EXTREME VALUE	0.8674	0.2598	0.7200E-01	
KAPPA	0.8961	0.2275	0.9400E-02	-0.2133

QUANTILE ESTIMACIONES - REGIONAL CURVA DE CRECIMIENTO

F(x)	.002	.005	.010	.020	.050	.100	.200	.300	.400	.500	.600	.700	.800	.900	.950	.960	.980	.990	.995	.998	.999
GEN. NORMAL	0.37	0.41	0.45	0.50	0.57	0.64	0.74	0.82	0.89	0.96	1.04	1.13	1.24	1.40	1.56	1.61	1.75	1.89	2.03	2.20	2.34
GEN. EXTREME VALUE	0.36	0.41	0.45	0.49	0.57	0.64	0.74	0.82	0.89	0.96	1.04	1.13	1.24	1.41	1.56	1.61	1.75	1.88	2.01	2.17	2.28
KAPPA	0.31	0.37	0.42	0.48	0.57	0.65	0.75	0.82	0.89	0.96	1.04	1.12	1.23	1.40	1.56	1.61	1.77	1.92	2.07	2.27	2.42

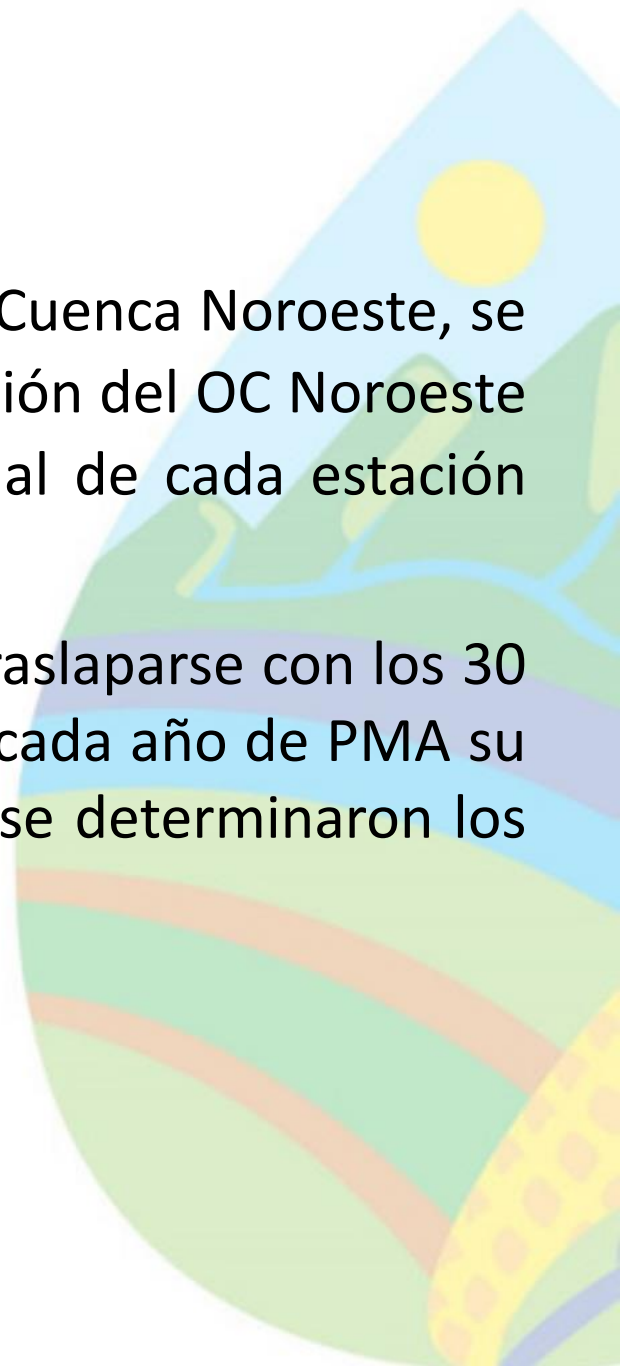
Parámetros de las funciones de distribución de probabilidad y cálculo de cuantiles para el Organismo de Cuenca Noroeste por L-RAP.



Materiales y Métodos

De los resultados de la estimación de cuantiles para el Organismos de Cuenca Noroeste, se eligió el cuantil del 50% de probabilidad de ocurrencia, que para la región del OC Noroeste es de 0.96. Y es así como los valores de la precipitación media anual de cada estación climatológica es afectado con el cuantil respectivo.

Estos valores sirvieron para construir un ráster de umbrales y que al traslaparse con los 30 ráster de Precipitación media anual (1980-2009), se le pudo asignar a cada año de PMA su respectiva lámina de umbral. Y es así como como a escala municipal se determinaron los periodos secos y húmedos, déficit y superavit.





	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y
		1980		1981		1982		1983		1984		1985		1986		1987		1988		1989		1990		1991
	id_mpio	Cuantil 50%:Prob	hp	Cuantil 50%:Prol	hp	Cuantil 50%:Prot	hp	uantil 50%:Pr	hp	uantil 50%:Pr	hp	uantil 50%:Pr	hp	uantil 50%:Pr	hp	uantil 50%:Pr	hp	Cuantil 50%:Pro	hp	uantil 50%:Pr	hp	uantil 50%:Pr	hp	uantil 50%:Pr
1		470.22	350.00	470.22	550.00	470.22	450.00	470.22	650.00	470.22	650.00	470.22	550.00	470.22	650.00	470.22	450.00	470.22	391.00	470.22	550.00	470.22	650.00	470.22
2	8006	982.79	532.55	982.79	678.74	982.79	846.58	981.91	934.55	982.79	950.00	974.17	847.98	974.17	849.91	982.79	450.00	995.90	467.00	982.79	650.00	981.91	918.36	982.79
3	8009	814.50	538.19	824.58	650.00	811.98	377.51	811.98	823.88	837.20	863.53	824.58	750.00	824.58	750.00	824.58	450.00	824.58	450.00	811.98	635.25	824.58	803.80	837.20
4	8012	525.24	350.00	525.24	374.64	550.00	525.24	525.24	550.00	525.24	550.00	525.24	550.00	525.24	458.08	525.24	450.00	525.24	450.00	525.24	450.00	525.24	550.00	525.24
5	8013	513.04	388.83	523.25	550.00	509.99	502.22	523.25	650.00	536.00	652.19	533.85	550.76	523.74	673.98	513.04	447.64	523.74	385.06	523.74	463.54	536.00	650.19	523.25
6	8017	681.93	450.00	666.55	637.83	673.72	617.61	666.55	740.86	680.43	760.89	692.36	650.55	681.93	750.00	681.93	450.00	681.93	450.00	681.93	550.00	681.93	750.00	666.55
7	8018	939.73	650.00	928.73	758.94	933.85	827.86	951.89	963.73	951.89	1007.26	933.20	847.13	941.36	770.55	939.73	550.00	939.73	650.00	951.89	700.73	939.73	950.00	932.38
8	8020	497.73	350.00	497.73	456.53	497.73	550.00	506.90	634.95	506.90	587.58	497.73	550.00	506.90	575.68	506.90	462.03	497.73	450.00	497.73	450.00	506.90	625.54	506.90
9	8025	987.13	649.85	982.51	750.00	982.51	850.00	982.51	1050.00	987.13	1150.00	982.51	950.00	982.51	850.00	982.51	550.00	987.13	649.70	982.51	750.00	982.51	950.00	982.51
10	8030	697.13	449.21	679.13	639.21	697.13	639.21	697.13	676.38	676.38	676.38	676.38	676.38	676.38	676.38	676.38	449.07	697.13	449.07	697.13	639.21	697.13	639.21	697.13
11	8031	525.24	350.00	525.24	450.00	525.24	450.00	525.24	550.00	525.24	550.00	525.24	550.00	525.24	450.00	525.24	450.00	525.24	450.00	525.24	450.00	525.24	550.00	525.24
12	8034	377.55	350.00	377.55	350.00	377.55	350.00	377.55	550.00	377.55	550.00	377.55	550.00	377.55	450.00	377.55	450.00	377.55	450.00	377.55	350.00	377.55	450.00	377.55
13	8035	588.05	368.17	591.52	558.21	598.49	460.21	595.79	664.98	592.40	648.54	591.78	563.03	585.05	629.21	582.85	491.56	583.73	450.00	581.64	480.32	588.19	663.19	

Se concentraron las bases de datos de precipitación y del umbral de truncamiento de los 30 raster-shapes que contienen la información de cada año de la serie de tiempo y de cada municipio del Organismo de Cuenca en cuestión.



Materiales y Métodos

Algoritmo y cálculo de la probabilidad de ocurrencia de la sequía :

El proceso consistió en realizar la diferencia de la precipitación media anual municipal de cada uno de los años de la serie de tiempo con su respectivo umbral.

En caso de que el valor resultante resultara positivo, es que se trató de un año con superávit de agua; caso de resultar negativo es que se trató de un año con déficit de precipitación y por ende formó parte de los periodos secos.

Datos del municipio Bacanuchi (26007)

AÑO	Hp(mm)	Umbral	Hp Vs Umbral
1980	256.04	359.94	-103.90
1981	350.00	351.13	-1.13
1982	350.00	351.13	-1.13
1983	634.25	351.13	283.12
1984	550.00	351.13	198.87
1985	316.72	351.13	-34.41
1986	350.03	359.94	-9.91
1987	334.25	351.13	-16.88
1988	350.00	351.13	-1.13
1989	278.81	359.94	-81.13
1990	354.15	359.94	-5.79
1991	350.00	351.13	-1.13
1992	450.00	351.13	98.87
1993	392.07	359.94	32.13
1994	365.88	359.94	5.94
1995	350.00	351.13	-1.13
1996	250.00	351.13	-101.13
1997	350.00	351.13	-1.13
1998	350.00	351.13	-1.13
1999	350.00	351.13	-1.13
2000	451.15	359.94	91.21
2001	350.00	351.13	-1.13
2002	250.00	351.13	-101.13
2003	350.00	351.13	-1.13
2004	350.00	351.13	-1.13
2005	350.00	351.13	-1.13
2006	252.44	359.94	-107.50
2007	267.84	359.94	-92.10
2008	335.11	351.13	-16.02
2009	350.00	351.13	-1.13



Materiales y Métodos

Características de los períodos de sequía

Períodos secos en el municipio Bacanuchi (26007) del OC Noroeste.

No Sequía	Duración (años)	Periodicidad (años)	Deficit acum (mm)	Intensidad (mm/año)
1	3	1	106.1538487	35.38461622
2	7	5	150.3596269	21.47994671
3	5	10	105.6475	21.1295
4	9	6	322.3862805	35.82069783
Media	6.000	5.500	171.137	28.454
Desv. Stan	2.582	3.697	102.988	8.258
CV	0.430	0.672	0.602	0.290





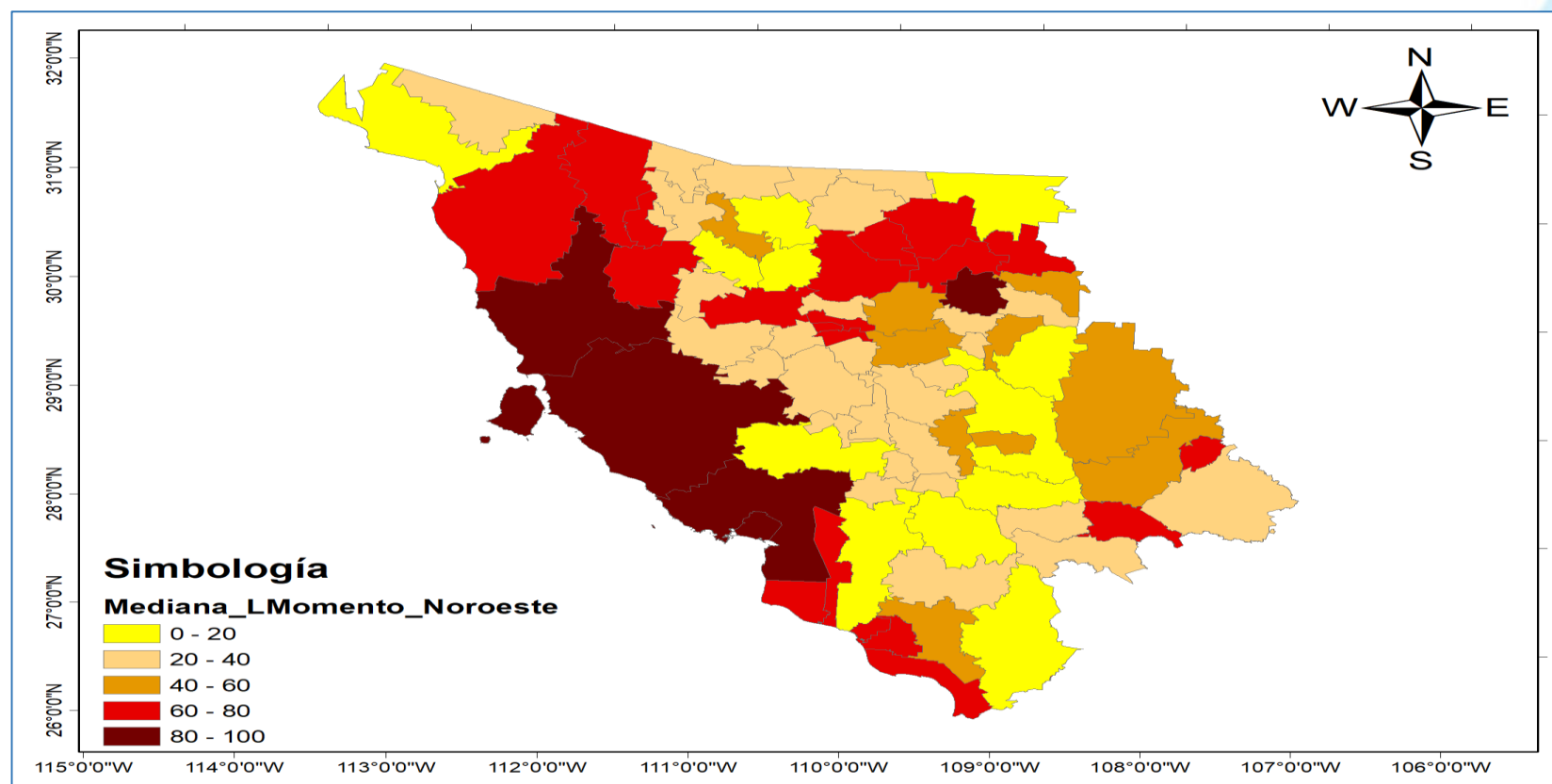
Materiales y Métodos

Probabilidad de ocurrencia del municipio Bacanuchi

		Características de los periodos secos identificados en el municipio					PROBABILIDAD		
ESTADÍSTICOS DE LA SERIE ANUAL		No Sequía	Duración (años)	Periodicidad (años)	Déficit acum (mm)	Intensidad (mm/año)		Duración	Frecuencia
Máximos	634.252	1	3	1	106.1538487	35.38461622		3	1
Minímos	250	2	7	5	150.3596269	21.47994671		5	1
MEDIANA	354.62544	3	5	10	105.6475	21.1295		7	1
Mediana	350.000	4	9	6	322.3862805	35.82069783		9	1
Desv. Estándar	81.826								
Coef. Asimetría	1.79								
Coef. Kurtosis	4.50								
Coef. Variación	0.23								
UMBRAL=MEDIA	354.63								
RESUMEN									
SI CV =>0.3 SE ESPERAN VARIOS PERIODOS DE SEQUIA									
Número de periodos secos	4	Media	6.000	5.500	171.137	28.454	Suma	4	100
Periodos con Déficit Prom (años)	7.00	Desv. Stan	2.582	3.697	102.988	8.258			
Duración promedio esperada (años)	6.00	CV	0.430	0.672	0.602	0.290			
Déficit máximo registrada (mm)	322.39								
Intensidad correspondiente al déficit máximo (mm/año)	35.82								
Desv. Respecto a la lluvia media anual (%)	10.10								
Lámina disponible promedio anual ante el déficit (mm)	318.80								
Intensidad máxima registrada (mm/año)	35.82								
Lámina disponible promedio anual (mm)	318.80								
Desv. Respecto a la lluvia media anual	89.90								
Déficit acumulado promedio (mm)	171.14								
Intensidad para la duración promedio (mm/año)	28.45								
Lámina disponible promedio anual (mm)	326.17								
% Lámina disponible por debajo de la media anual	8.02								

Resultados y discusión

Tomando los valores de la mediana de las probabilidad de ocurrencia de todos los municipios, a través de una escala cromática de 0 al 100, el 6.32 por ciento de los municipios presentan sequía muy alta, 26.32 por ciento es con sequía alta, el 13.68 por ciento es con sequía media, y el 38.95 por ciento presentan sequía baja, y solo el 14.74 por ciento es con sequía muy baja.





Resultados y discusión

Por mencionar, los principales municipios con el mayor riesgo de sequía son Guaymas, Hermosillo, Pitiquito, Caborca, principalmente toda la franja que colinda con el Golfo de California.

El mapa anterior es importante ya que representa la amenaza o probabilidad de ocurrencia de una sequía meteorológica a escala municipal y forma parte de los componentes para construir mapas de riesgo; donde Ortega-Gaucin *et al.*, (2018a) define el riesgo como el producto de la probabilidad de ocurrencia por la vulnerabilidad ante la sequía.

Áreas afectadas según la condición de probabilidad de ocurrencia por estado, OC Noroeste.

Mediana					
Estado	Alta	Baja	Media	Muy alta	Muy baja
Chihuahua	2,536.75	10,272.79	13,108.55	0.75	0.76
Sinaloa	2.92	0.46			
Sonora	39,046.57	39,016.93	12,287.49	37,037.20	45,471.23

Áreas afectadas según la condición de probabilidad de ocurrencia por municipio, OC Noroeste.

Mediana		
Clasificación	No Municipios	Área (km ²)
Muy baja	14	45,471.99
Baja	37	49,290.17
Media	13	25,396.05
Alta	25	41,586.24
Muy alta	6	37,037.96

Resultados y discusión

Metodología:
- IMTA (2015)





Conclusiones

- Es importante contar con metodologías robustas para calcular índices de peligro así como de vulnerabilidad de sequía a escala municipal como herramientas adecuadas y probadas de gestión integrada del riesgo de sequía en México, abonando con ello en la disposición de información pertinente para la formulación de políticas públicas que lleven a una gestión apropiada del riesgo en cada uno de los Organismos de Cuenca del país.
- La metodología presentada, análisis regional de frecuencia (ARF) usando L-Momentos, es una herramienta alternativa, con mayor precisión y robustez para definir el umbral o nivel de truncamiento al analizar el peligro o amenaza por sequía meteorológica.
- Por ser un método regional, se adapta a sitios con un número limitado de estaciones climatológicas, así como aquellas que cuentan con escaso registro de información.
- Permite definir a la unidad de estudio en regiones homogéneas en cuanto a la distribución de la precipitación, con tal de evitar sesgo en los resultados por efectos orográficos o de otra índole, que alteren los resultados.
- En este trabajo se pudo delimitar los municipios que mayor riesgo tienen de presentar sequía, tal como se puede ver a través del mapa de amenaza, donde en el caso del Noroeste queda bien definida la zona con mayor probabilidad de sequía, la franja paralela al océano Pacífico.

GRACIAS



Quinto
Congreso Nacional
de Riego y Drenaje
COMEII-AURPAES 2019

Septiembre 2019 | Mazatlán, Sinaloa



AURPAES, S.C.
Asociación Nacional de Asociaciones de Productores Agrícolas del Estado de Sinaloa S.C.

Contacto

Jesús de la Cruz Bartolón, David Ortega-Gaucin

Instituto Mexicano de Tecnología del agua

jdelacruz@tlaloc.imta.mx; dortega@tlaloc.imta.mx

