

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO



FACULTAD DE INGENIERÍA

**Análisis hidrológico para determinar
la severidad de la sequía en presas
de México.**

TESIS

Que para obtener el título de

INGENIERA CIVIL

P R E S E N T A:

DIANA LAURA MORALES SALAZAR

DIRECTOR DE TESIS

DR. JOSE AGUSTIN BREÑA NARANJO



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2019



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



DEDICATORIA

A mis padres y hermanos, quienes son el motivo de mis logros, mi mayor inspiración.

Los amo demasiado.



AGRADECIMIENTOS

En un inicio doy gracias a Dios por permitirme celebrar este día con mi familia y amigos. También le agradezco la gran familia que me dio.

A mis padres, quienes para mí son un gran ejemplo a seguir. Siempre me apoyaron y hoy les agradezco con este logro en mi vida profesional.

A mis hermanas y hermanos, por todas las muestras de cariño y consejos brindados durante cada uno de los días que formaron parte de mi formación profesional. Gracias por confiar en mí una y otra vez.

A mis amigos, en especial a Marilyn quien siempre fue parte de este camino, fueron excelentes los momentos compartidos.

A la Facultad de Ingeniería de la UNAM, quien fue mi segunda casa, por permitirme formar parte de ella y brindarme recursos necesarios para este logro académico.

A mis maestros por ser excelentes personas y compartir sus conocimientos con tanta alegría, empeño y pasión. Les agradezco por ser tan humanitarios y por inspirarme confianza, así mismo el tiempo que me brindaron durante mi estancia universitaria.

Al Dr. José Agustín Breña Naranjo a quien agradezco su orientación, paciencia y dedicación durante este trabajo de tesis.

Gracias por comprometerse y apoyarme en cada momento.



I. Contenido

I.	INTRODUCCIÓN.....	8
A.	Objetivo de estudio.....	8
B.	Estructura del documento	9
II.	ANTECEDENTES.....	10
A.	Descripción de presas	10
B.	Presas en México	11
C.	Cuencas hidrológicas y su gestión	11
D.	Estaciones de medición de variables climatológicas e hidrológicas.....	13
E.	Sequía y tipos de sequías.....	14
F.	Causas y Consecuencias de las sequías.....	14
G.	Métodos para la evaluación de la sequía	15
H.	Notas periodísticas	16
III.	ZONA DE ESTUDIO.....	21
1.	Presa Abelardo L. Rodríguez.....	23
2.	Adolfo Ruíz Cortines	23
3.	Álvaro Obregón	23
4.	Presa Calles.....	23
5.	José López Portillo	24
6.	Presa Chihuahua.....	24
7.	Presa Cointzio.....	24
8.	Presa Cuauhtémoc	24
9.	Presa El Cuarenta	25
10.	Presa El Chique	25
11.	Presa El Niagara.....	25
12.	Presa El Parral.....	25
13.	El Tintero	26
14.	Estudiante Ramiro Caballero.....	26
15.	Francisco I. Madero	26
16.	Presa Madero	27
17.	Francisco Villa.....	27
18.	Presa Guaracha.....	27
19.	Ignacio L. A La Torre	27
20.	José Antonio Álzate	28
21.	Josefa Ortiz De Domínguez.....	28
22.	Lázaro Cárdenas	28
23.	La Boquilla	28
24.	Presa La Esperanza	29



25. Lázaro Cárdenas	29
26. Leobardo Reynoso	29
27. Manuel Ávila Camacho	29
28. Marte R. Gómez	30
29. Peña Del Águila	30
30. Plutarco Elías Calles	30
31. Presidente Alemán	30
32. República Española	31
33. Presa Requena	31
34. Presa Rodríguez	31
35. San Ildefonso	31
36. Presa Sanalona	32
37. Presa Taxhimay	32
38. Presa Tepuxtepec	32
39. Venustiano Carranza	32
40. Vicente Guerrero	33
IV. METODOLOGÍA	34
A. Recopilación de la información	34
B. Identificación de las tres variables de estudio	35
C. Cálculo de las anomalías mensuales	36
D. Identificación de los eventos con déficit de precipitación	36
E. Análisis de los resultados	37
V. RESULTADOS	38
1. Presa Abelardo L. Rodríguez	38
2. Adolfo Ruíz Cortines	38
3. Álvaro Obregón	39
4. Presa Calles	39
5. José López Portillo	39
6. Presa Chihuahua	40
7. Presa Cointzio	40
8. Presa Cuauhtémoc	40
9. Presa El Cuarenta	41
10. Presa El Chique	41
11. Presa El Niagara	41
12. Presa El Parral	42
13. El Tintero	42
14. Estudiante Ramiro Caballero	42
15. Francisco I. Madero	43
16. Presa Madero	43
17. Francisco Villa	43
18. Presa Guaracha	44



19. Ignacio L. A La Torre.....	44
20. José Antonio Álzate.....	44
21. Josefa Ortiz de Domínguez	45
22. Lázaro Cárdenas.....	45
23. La Boquilla.....	45
24. Presa La Esperanza.....	46
25. Lázaro Cárdenas (Palmito)	46
26. Leobardo Reynoso	46
27. Manuel Ávila Camacho	47
28. Marte R. Gómez.....	47
29. Peña Del Águila	47
30. Plutarco Elías Calles	48
31. Presidente Alemán.....	48
32. República Española	48
33. Presa Requena	49
34. Presa Rodríguez	49
35. San Ildefonso	49
36. Presa Sanalona.....	50
37. Presa Taxhimay	50
38. Presa Tepuxtepec.....	50
39. Presa Venustiano Carranza.....	51
40. Presa Vicente Guerrero.....	51
VI. CONCLUSIONES.....	55
VII. BIBLIOGRAFÍA.....	57
VIII. ANEXOS	59
A. Conceptos que se usan en los archivos históricos.....	59
B. Datos Generales de las Presas de la muestra de estudio	61
C. Histogramas de los valores de las anomalías mensuales normalizados, por cada presa.....	62
D. Resultados del número de eventos registrados	72



Índice de Ilustraciones

Ilustración 1 Mapa de la Ubicación de las presas analizadas de México	22
Ilustración 2. Metodología para la caracterización de la sequía.....	34
Ilustración 3. Nomenclatura de las tablas del BANDAS.....	34
Ilustración 4. Campos de la hoja "Descripción de presas"	35
Ilustración 5 <i>Número de eventos con déficit de precipitación en la presa Abelardo L. Rodríguez</i>	38
Ilustración 6 <i>Número de eventos con déficit de precipitación en la presa Adolfo Ruíz Cortines</i>	38
Ilustración 7 <i>Número de eventos con déficit de precipitación en la presa Álvaro Obregón.</i>	39
Ilustración 8 <i>Número de eventos con déficit de precipitación en la presa Calles</i>	39
Ilustración 9 <i>Número de eventos con déficit de precipitación en la presa José López Portillo</i>	39
Ilustración 10 <i>Número de eventos con déficit de precipitación en la presa Chihuahua</i>	40
Ilustración 11 <i>Número de eventos con déficit de precipitación en la presa Cointzio.</i>	40
Ilustración 12 <i>Número de eventos con déficit de precipitación en la presa Cuauhtémoc.</i>	40
Ilustración 13 <i>Número de eventos con déficit de precipitación en la presa El Cuarenta.</i>	41
Ilustración 14 <i>Número de eventos con déficit de precipitación en la presa El Chique.</i>	41
Ilustración 15 <i>Número de eventos con déficit de precipitación en la presa El Niagara.</i>	41
Ilustración 16 <i>Número de eventos con déficit de precipitación en la presa El Parral</i>	42
Ilustración 17 <i>Número de eventos con déficit de precipitación en la presa el Tintero.</i>	42
Ilustración 18 <i>Número de eventos con déficit de precipitación en la presa Estudiante Ramiro Caballero.</i>	42
Ilustración 19 <i>Número de eventos con déficit de precipitación en la presa Francisco I. Madero.</i>	43
Ilustración 20 <i>Número de eventos con déficit de precipitación en la presa Madero.</i>	43
Ilustración 21 <i>Número de eventos con déficit de precipitación en la presa Francisco Villa.</i>	43
Ilustración 22 <i>Número de eventos con déficit de precipitación en la presa Guaracha.</i>	44
Ilustración 23 <i>Número de eventos con déficit de precipitación en la presa Ignacio L. A la Torre.</i>	44
Ilustración 24 <i>Número de eventos con déficit de precipitación en la presa José Antonio Ázate</i>	44
Ilustración 25 <i>Número de eventos con déficit de precipitación en la presa Josefa Ortiz de Domínguez</i>	45
Ilustración 26 <i>Número de eventos con déficit de precipitación en la presa Lázaro Cárdenas.</i>	45
Ilustración 27 <i>Número de eventos con déficit de precipitación en la presa La Boquilla.</i>	45
Ilustración 28 <i>Número de eventos con déficit de precipitación en la presa La Esperanza.</i>	46
Ilustración 29 <i>Número de eventos con déficit de precipitación en la presa Lázaro Cárdenas (Palmito).</i>	46
Ilustración 30 <i>Número de eventos con déficit de precipitación en la presa Leobardo Reynoso</i>	46
Ilustración 31 <i>Número de eventos con déficit de precipitación en la presa Manuel Ávila Camacho.</i>	47
Ilustración 32 <i>Número de eventos con déficit de precipitación en la presa Marte R. Gómez.</i>	47
Ilustración 33 <i>Número de eventos con déficit de precipitación en la presa Peña del Águila.</i>	47
Ilustración 34 <i>Número de eventos con déficit de precipitación en la presa Plutarco Elías Calles.</i>	48
Ilustración 35 <i>Número de eventos con déficit de precipitación en la presa Presidente Alemán.</i>	48
Ilustración 36 <i>Número de eventos con déficit de precipitación en la presa República Española.</i>	48
Ilustración 37 <i>Número de eventos con déficit de precipitación en la presa Requena.</i>	49
Ilustración 38 <i>Número de eventos con déficit de precipitación en la presa Rodríguez.</i>	49
Ilustración 39 <i>Número de eventos con déficit de precipitación en la presa San Ildefonso</i>	49



Ilustración 40 Número de eventos con déficit de precipitación en la presa Sanalona.	50
Ilustración 41 Número de eventos con déficit de precipitación en la presa Taxhimay.	50
Ilustración 42 Número de eventos con déficit de precipitación en la presa Tepuxtepec.....	50
Ilustración 43 Número de eventos con déficit de precipitación en la presa Venustiano Carranza.	51
Ilustración 44 Número de eventos con déficit de precipitación en la presa Vicente Guerrero.	51
Ilustración 45 Distribución del déficit en el almacenamiento.....	52
Ilustración 46 Clasificación de las presas con el déficit registrado en el almacenamiento.....	52
Ilustración 47 Déficit en el almacenamiento en 40 presas en México durante periodos de sequía. Los valores porcentuales representan la proporción del número de eventos en el cual el almacenamiento en la presa tiene el mayor declive promedio con respecto a la variación en la precipitación y el escurrimiento para dicho periodo.	53
Ilustración 48. Mapa de presas de México y su falta de capacidad operativa durante sequías	54



I. INTRODUCCIÓN

A través de la historia el ser humano ha buscado cubrir sus necesidades básicas, además se ha adaptado a las diferentes condiciones tanto biológicas, sociales como naturales, gracias a ello se ha logrado un avance en la sociedad.

En este caso nos referimos al surgimiento de las presas, las cuales se crean debido a la irregular distribución de la lluvia, en el espacio y en el tiempo. Estas se vuelven de importancia ya que para muchos pueblos estos embalses representan la única posibilidad de poseer agua para su consumo en los periodos de sequías, abrevadero para dar de beber al ganado y riego, además sirven para el control de avenidas, es decir cumplen la función de que un área determinada se encuentre protegida de las inundaciones, también tienen como propósito la generación eléctrica.

En el presente trabajo nos enfocamos a las presas y su relación con las sequias. La sequía es un fenómeno natural que afecta a México. Las sequias meteorológicas representan un peligro para la sociedad y el medio ambiente. Cabe mencionar que las consecuencias negativas se ven reflejadas principalmente en la ganadería y la agricultura.

El buen diseño de las presas es particularmente importante en países en los que el agua disponible durante la temporada seca y la temporada de lluvias varía considerablemente.

A pesar de esto, las presas y los embalses, especialmente aquellos grandes, también pueden tener impactos negativos en las sociedades humanas, requiriendo reasentamientos y provocando problemas en la sociedad. “Las presas también modifican los sistemas fluviales y la regulación del flujo se considera una de las principales consecuencias ecológicas negativas de las presas y los embalses tales que sus características de diseño deben ser evaluadas cuidadosamente” [Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura, 2016]. Es por ello que es fundamental una adecuada operación hidrológica de la presa, pues se tienen que aprovechar las ventajas para las cuales fue construida, resultaría contradictorio no tener políticas de operación adecuadas para el tipo de presa según su ubicación.

A. Objetivo de estudio

El presente trabajo tiene como objetivo realizar un análisis hidrológico en 40 presas en la República Mexicana para identificar la sensibilidad del escurrimiento y el almacenamiento de estas presas ante un déficit de precipitación prolongado. Los resultados de este análisis permitirán conocer aquellas presas en las que el déficit hidrológico supera el déficit en la precipitación durante condiciones de sequía. Por lo tanto, este trabajo clasificará aquellas presas cuya operación hidrológica es eficiente y deficiente, respectivamente. Finalmente, se propondrán medidas y recomendaciones para mejorar la operación de las presas de almacenamiento en México durante la ocurrencia de sequías meteorológicas.



B. Estructura del documento

El presente trabajo se divide en 6 capítulos, en cada uno de ellos se especifica los elementos necesarios para explicar el desarrollo de este trabajo.

Capítulo 1. Dentro de este capítulo se especifican los objetivos de estudio y la estructura del documento.

Capítulo 2. En este capítulo, se especifica los antecedentes del trabajo como son: la definición de la sequía y su tipología, así como su relación con la operación y manejo de las principales presas de almacenamiento en México. Además se incluyen algunas notas periodísticas relacionadas con los impactos de las sequias en México.

Capítulo 3. Se define las zonas de estudio y se especifican sus principales características (ubicación de la cortina, ubicación dentro de su región hidrológica, los propósitos de la presa, volumen de almacenamiento, etc.).

Capítulo 4. Describe la metodología que se llevó a cabo, información necesaria para el cálculo de las anomalías de la serie de tiempo, la normalización de las anomalías, así como el uso de promedios móviles para identificar la variable que históricamente ha tenido un mayor declive. Todo ello realizado en cada una de las presas.

Capítulo 5. Se presentan los resultados obtenidos, en donde se identifican los periodos con un déficit de precipitación, escurrimiento y almacenamiento. Posteriormente, se muestra el declive (en porcentaje) observado en el almacenamiento de cada presa. Además se muestra la distribución estadística del déficit en la variable de almacenamiento.

Capítulo 6. Se presentan las conclusiones que se generaron a partir de los resultados obtenidos, donde se especifican las posibles estrategias para reducir la ineficiencia en la operación hidrológica de las presas analizadas.



II. ANTECEDENTES

A. Descripción de presas

Para el presente trabajo es necesario definir algunos conceptos básicos sobre las presas.

Una presa es un conjunto de estructuras que tienen como objeto impedir el paso de un río para aprovecharlo como obra de mitigación contra inundaciones y avenidas a poblaciones ubicadas en zonas cercanas a la corriente o como fuente de abastecimiento de agua para el sector doméstico, agrícola e hidroeléctrico [Téllez Quintanar, 2010].

Para el diseño de una presa se presentan diferentes niveles máximos, conocidos como NAMO Y NAME, es por ello que a continuación se presentan las definiciones que la Comisión Nacional del Agua propone:

NAMO es el Nivel de Aguas Máximas Ordinarias. La operación de una presa se lleva a cabo entre el NAMINO (Nivel de Aguas Mínimas de Operación) y el NAMO, que es el máximo nivel con que se puede operar la presa; cuando el vertedor de excedencias no es controlado por compuertas, el NAMO coincide con su cresta o punto más alto del vertedor. En el caso de que la descarga por el vertedor esté controlada, el NAMO puede estar por arriba de la cresta e incluso puede cambiar a lo largo del año. Así, en épocas de estiaje es posible fijar un NAMO mayor en épocas de avenidas, pues la probabilidad de que se presente una avenida en la temporada de estiaje es menor que en la temporada de avenidas. El volumen que se almacena entre el NAMO y el NAMINO se le llama volumen o capacidad útil y es con el que se satisface la demanda de agua.

El NAME es el Nivel de Aguas Máximas Extraordinarias, es el nivel más alto que debe alcanzar el agua en el vaso de almacenamiento bajo cualquier condición. El volumen que queda entre ese nivel y el NAMO, llamado súper almacenamiento, sirve para controlar las avenidas que se presentan cuando el nivel del vaso está cercano al NAMO. El espacio que queda entre el NAME y la máxima elevación de la cortina (corona) se denomina bordo libre y está destinado a contener el oleaje y la marea producidos por el viento, así como a compensar las reducciones en la altura de la cortina provocadas por sus asentamientos. Aplicado a ríos el NAME es el nivel de riesgo para el cual se tiene protección con obras de infraestructura hidráulica; mientras que la corona es la cota máxima de las obras de infraestructura hidráulica, correspondiente a la cota del NAME más el bordo libre.

Además se denomina obra de toma al conjunto de estructuras que se construyen con el objeto de extraer el agua de forma controlada y poder utilizarla con el fin para el cual fue proyectado su aprovechamiento. De acuerdo con el aprovechamiento se proyectan obras de toma para presas de almacenamiento, presas derivadoras, plantas de bombeo y tomas directas en corrientes permanentes. En el caso de las presas de almacenamiento, la función de la obra de toma depende de los objetivos del almacenamiento y así se tienen tomas para generación de energía eléctrica, para riego, dotación de agua potable, desvío de la corriente durante la construcción y como



desagües para el vaciado rápido del vaso. Las obras de toma para abastecimiento de agua se utilizan en presas para controlar, regular y derivar el gasto hacia la conducción.

Otra estructura utilizada en los proyectos hidráulicos está constituida por los vertederos en sus distintas variantes, de los cuales existen, diferentes diseños. Ya sea como estructura de control de aprovechamientos hidráulicos o bien como estructura para medición de caudales en obras de saneamiento, su aplicación es muy difundida y una de las razones es porque permiten tener un adecuado control del caudal por encima de su cresta siendo necesario únicamente medir una variable que es el tirante sobre dicha cresta. Según la forma geométrica del contorno de apertura, pueden distinguirse vertederos rectangulares, trapeciales, triangulares, parabólicos, etc. [Pérez Farras, 2005].

B. Presas en México

Nuestro país cuenta con una necesidad de abastecer de agua a toda la población aprovechando los recursos hídricos con los que cuenta México, es por ello que se tiene infraestructura hidráulica, la cual facilita la distribución y proporción de tal líquido. De acuerdo a la Comisión Nacional de Agua se menciona que actualmente existen más de 5000 presas y bordos en México [Estadísticas del agua en México, 2016], de las cuales 667 están clasificadas como grandes presas (altura de la cortina igual o mayor a los 15m ó altura mayor a 5m y volumen de almacenamiento mayor o igual a 3hm³), de acuerdo con la definición de la Comisión Internacional de Grandes Presas (ICOLD).

En este trabajo en particular nos enfocamos a las grandes presas de almacenamiento, puesto que se tiene un registro incompleto de los bordos y pequeñas obras de almacenamiento. Es por ello que la muestra de estudio se delimito a solo 40 presas, ya que sólo estas cuentan con la información necesaria para llevar a cabo el análisis hidrológico, pues solo se consideraron casos en los que la presa contara con registros históricos de 30 o más años consecutivos.

De acuerdo a la publicación “Estadísticas del agua en México” edición 2016, que publica la Comisión Nacional del Agua, estas 40 presas representan el 17.78 % de la capacidad de almacenamiento superficial del país (excluyendo los lagos y lagunas naturales).

La capacidad de almacenamiento de las presas del país es de aproximadamente 150 mil hm³. Este volumen depende de la precipitación, los escurrimientos y el régimen de operación de las presas en las distintas regiones del país, así como de las políticas de operación de cada presa.

C. Cuencas hidrológicas y su gestión

Una cuenca es la unidad del territorio, diferenciada de otras unidades, normalmente delimitada por un parteaguas o línea divisoria de las aguas en donde escurre el agua en distintas formas, y ésta se almacena o fluye hasta un punto de salida que puede ser el mar u otro cuerpo receptor interior, a través de una red hidrográfica



de cauces que convergen en uno principal, o bien el territorio en donde las aguas forman una unidad autónoma o diferenciada de otras, aun sin que desemboquen en el mar. La cuenca hidrológica conjuntamente con los acuíferos, constituye la unidad de gestión de los recursos hídricos.

En México, una región hidrológica está integrada por una o varias cuencas hidrológicas (aproximadamente 731). Por lo tanto, los límites de la región hidrológica son en general distintos en relación con la división política por estados, Ciudad de México y municipios. De manera similar, una o varias regiones hidrológicas pueden integrar una región hidrológico-administrativa (RHA).

Para fines de administración y preservación de las aguas nacionales, a partir de 1997 el país fue dividido en trece Regiones hidrológico-administrativas, cuyos límites respetan los municipales para facilitar la integración de la información socioeconómica.

Regiones Hidrológicas

- | | |
|---------------------------------------|---------------------------------------|
| 1 Baja California Norte | 20 Costa Chica de Guerrero |
| 2 Baja California Centro-Oeste | 21 Costa de Oaxaca |
| 3 Baja California Suroeste | 22 Tehuantepec |
| 4 Baja California Noreste | 23 Costa de Chiapas |
| 5 Baja California Centro-Este | 24 Bravo-Conchos |
| 6 Baja California Sureste | 25 San Fernando-Soto La Marina |
| 7 Río Colorado | 26 Pánuco |
| 8 Sonora Norte | 27 Norte de Veracruz |
| 9 Sonora Sur | 28 Papaloapan |
| 10 Sinaloa | 29 Coahuila |
| 11 Presidio- San Pedro | 30 Grijalva-Usumacinta |
| 12 Lerma-Santiago | 31 Yucatán Oeste |
| 13 Huicicila | 32 Yucatán Norte |
| 14 Río Ameca | 33 Yucatán Este |
| 15 Costa de Jalisco | 34 Cuencas Cerradas del Norte |
| 16 Armería-Coahuayana | 35 Mapimí |
| 17 Costa de Michoacán | 36 Nazas-Aguanaval |
| 18 Balsas | 37 El Salado |
| 19 Costa Grande de Guerrero | |

▪ Precipitación

La precipitación es el agua en forma líquida o sólida, procedente de la atmósfera, que se deposita sobre la superficie de la tierra; incluye el rocío, llovizna, lluvia, granizo, aguanieve y nieve. La precipitación media anual es la precipitación calculada para cualquier período de por lo menos diez años, que comience el 1° de enero del primer año y que acabe el 31 de diciembre del último año.



- Ecurrimiento

El Ecurrimiento natural medio superficial es la parte de la precipitación media histórica que se presenta en forma de flujo en un curso de agua.

Ecurrimiento natural medio superficial interno. En un territorio, el volumen de precipitación menos el volumen de evapotranspiración menos la recarga media de los acuíferos. Representa el escurrimiento superficial en cauces y corrientes sin tomar en cuenta volúmenes de importaciones o exportaciones del territorio a territorios vecinos.

- Almacenamiento.

El almacenamiento es el volumen o cantidad de agua que puede ser captada, en millones de metros cúbicos, y en este caso que es almacenada en la presa hidráulica.

D. Estaciones de medición de variables climatológicas e hidrológicas

La información requerida para llevar a cabo el análisis de sensibilidad hidrológica durante periodos de sequía se describe a continuación:

- Estaciones climatológicas

Las estaciones climatológicas observan la temperatura, precipitación líquida, y evaporación, entre otros. Estas variables climatológicas varían espacial- y temporalmente, por lo que su medición resulta relevante para la planeación de los recursos hídricos y los estudios hidrológicos. Otras variables climatológicas, como la presión atmosférica, humedad, dirección y velocidad del viento son necesarias para la predicción meteorológica y la prevención de impactos debidos a fenómenos hidrometeorológicos extremos (precipitaciones extremas, sequía).

Al 31 de diciembre de 2015, México contaba con 3,160 estaciones climatológicas en operación por el Servicio Meteorológico Nacional, de las cuales 88 son estaciones automatizadas (EMAS), que transmiten en tiempo real la información meteorológica.

- Estaciones hidrométricas

El caudal es generado durante una tormenta por el exceso de precipitación en el terreno, mientras que durante un periodo seco por la ex filtración del agua subterránea hacia los cauces de un arroyo o un río. También deben considerarse las descargas o flujos de retorno asociados a los diversos usos del agua. En otras ocasiones los flujos de agua están regulados por presas y otras obras de control.

De acuerdo a datos de la CONAGUA, a finales de 2015, México contaba con 861 estaciones hidrométricas en operación aunque el Banco Nacional de Aguas Superficiales (BANDAS) reporta datos históricos en 2303 estaciones de aforo.



E. Sequía y tipos de sequías

La sequía se define como “un periodo de clima anormalmente seco, cuya duración es suficientemente prolongada como para causar desequilibrios hidrológicos significativos” (AMS, 2016).

A su vez, el Monitor de Sequía Multivariado en México (MoSeMM) la define como “un comportamiento de ausencia (ej. Déficit) de precipitación en un punto dado del territorio, utilizando para ello el valor medio de precipitación medida en ese punto. Por lo general, este déficit está asociado a escalas temporales típicas de meses o años”.

Por otro lado, el Programa Nacional contra la Sequía (PRONACOSE) menciona a Wilhite y Glantz, (1985), en su trabajo “Understanding and Defining Drought” dentro del cual se definen cuatro tipos de sequía, atendiendo a su origen y sus efectos, los cuales son:

Meteorológica: se refiere al grado de desviación de la precipitación en comparación a un comportamiento “normal”, de una serie de tiempo preestablecida.

Agrícola: está muy relacionada con la sequía meteorológica y su impacto en los cultivos, considera el proceso en términos del balance de humedad del suelo, es decir evalúa la evapotranspiración real, potencial, el déficit de agua en el suelo que a su vez depende de características físicas del mismo, y considera la ecohidrología del cultivo, entre otros. Este tipo de sequía puede presentarse posteriormente a la presencia de una sequía de tipo meteorológica.

Hidrológica: Su impacto se ve reflejado en los caudales en ríos, la recarga de acuíferos, niveles de lagos y presas. Su impacto es de largo plazo, es decir, mientras que la sequía agrícola presenta un efecto inmediato en los cultivos, la sequía hidrológica puede afectar la producción agrícola, hidroeléctrica o la extracción de agua del subsuelo durante años.

Socioeconómica: Se plantea en términos de suministro de agua y demanda por la sociedad, por lo tanto está muy relacionada con los efectos de corto y largo plazo de los otros tipos de sequía. La sequía ocurre cuando la demanda de agua de una población o sector productivo, excede el suministro, es decir: es una combinación entre disminución de la precipitación y el crecimiento de las necesidades de la población o de las actividades productivas, de la eficiencia en el uso del agua y de la tecnología disponible.

En el presente trabajo se considera el primer y tercer tipo de sequía.

F. Causas y Consecuencias de las sequías

De acuerdo a varios estudios (Magaña et al, 1997; Estrada, 2001; Contreras, 2003), se mencionan a los siguientes fenómenos como posibles causas de la ocurrencia de la sequía meteorológica en territorio Mexicano:



- Las manchas solares que alteran la cantidad de energía que llega a la superficie de la Tierra
- Las alteraciones en la circulación de los vientos generados por la modificación en el albedo superficial.
- Por cambios en la temperatura de la superficie de los océanos.

A pesar de ello, en las recientes investigaciones se ha dado particular énfasis al denominado fenómeno de “El Niño”, caracterizado por el debilitamiento a gran escala de los vientos alisios y por el calentamiento de las capas superficiales del Océano Pacífico Ecuatorial en su región Este (frente a las costas de Sudamérica) y central. Los eventos “El Niño” ocurren irregularmente, en intervalos de 2 a 7 años, aunque en promedio puede presentarse uno cada 3 ó 4 años. Estos suelen durar entre 12 y 18 meses y son acompañados por cambios interanuales de la presión atmosférica al nivel del mar en el Océano Pacífico (CICESE, 1999).

Durante el verano de “El Niño”, las lluvias en la mayor parte de México disminuyen, por lo que la sequía comienza a aparecer. Por el contrario, en años con presencia de “La Niña”, las lluvias parecen estar por encima de lo normal en la mayor parte de México, especialmente en la costa del Pacífico (Magaña et al., 1997).

La importancia del estudio de las sequías radica en las graves consecuencias que genera tanto en el medio ambiente como a las poblaciones.

Si bien la sequía tiene un desarrollo más lento que otros desastres naturales como los huracanes o las inundaciones, sus efectos suelen ser de mayor amplitud y más devastadores. Entre sus efectos directos e indirectos se encuentran principalmente:

- La producción agrícola y pecuaria,
- El déficit hídrico en almacenamientos superficiales y subterráneos
- La flora y fauna de los ecosistemas terrestres y ribereños

Las sequías son fenómenos naturales que no podemos evitar, sin embargo, podemos tomar medidas preventivas para enfrentar de manera óptima estos fenómenos.

G. Métodos para la evaluación de la sequía

Las diversas concepciones acerca de la sequía, sus causas y efectos y los diferentes niveles de disponibilidad de información para cada región o país ha dado en resultado, diversas herramientas para evaluar el citado fenómeno natural. Se han desarrollado métodos simplificados que emplean desde una sola variable hasta aquellos que emplean diversos parámetros, dando una mayor confiabilidad en los resultados.

Evidentemente la evaluación de la sequía es de gran importancia para la planeación y gestión de los recursos hídricos. En la actualidad, México posee El Monitor de Sequía Multivariado en México (MoSeMM), cuya base radica en información meteorológica e hidrológica proveniente de sistemas de asimilación de datos desde 1979 hasta la fecha, con la principal ventaja de que ésta ha pasado por diferentes procesos de validación y controles de calidad, lo cual reduce la probabilidad de encontrar inconsistencias durante el procesamiento de datos y la estimación de índices de sequía.



H. Notas periodísticas

- La sequía afecta 10% del país

SOCIEDAD

La Jornada

La sequía afecta 10% del país



Al menos la mitad del territorio oaxaqueño se ha visto afectado por la sequía, informó el Servicio Meteorológico Nacional. Foto Notimex

ANGÉLICA ENCISO L.

Periódico La Jornada
Miércoles 29 de marzo de 2017, p. 36

El miércoles 29 de marzo de 2017, a través de la Jornada, Angélica Enciso L. redactó “La Sequía afecta 10% del país”, a lo largo de esta nota se menciona que:

“Hasta febrero pasado, a consecuencia de las escasas lluvias de invierno, la sequía, de moderada a extrema, afectó cerca de 10 por ciento del territorio nacional, casi 3 por ciento más que en enero, indica el Monitor de Sequía del Servicio Meteorológico Nacional. Oaxaca es el único estado con sequía extrema, con 50 por ciento de su superficie afectada.”



También subraya una de las consecuencias que las sequias generaron en los diferentes estados de la República:

“A consecuencia de las elevadas temperaturas y escasas lluvias, de enero al 9 de marzo se reportaron 32 mil 662 hectáreas quemadas por incendios forestales, principalmente en los estados de México, Puebla, Ciudad de México, Michoacán, Hidalgo, Morelos, Oaxaca, Jalisco y Chiapas, que sumaron 81 por ciento del total nacional.”



- **Severos estragos en entidades del norte por la prolongada sequía**

ESTADOS

LaJornada

- En Durango y Zacatecas hace 20 meses no llueve; han muerto más de 180 mil reses y caballos



Severos estragos en entidades del norte por la prolongada sequía

- En NL, pérdidas por \$384 millones en los sectores agrícola y ganadero desde octubre de 2010 Sufren escasez de agua potable 73 mil habitantes de 300 poblados de Coahuila: autoridades



Autoridades de Coahuila informaron que el estiaje ha matado 21 mil 276 reses y cabras entre enero de 2011 y marzo de 2012. Foto Alberto Puente

En NL, pérdidas por \$384 millones en los sectores agrícola y ganadero desde octubre de 2010 Sufren escasez de agua potable 73 mil habitantes de 300 poblados de Coahuila: autoridades”, fueron los encabezados de una nota periodística publicada el lunes 23 de abril de 2012, en el periódico La Jornada.

Durante esta nota además se menciona otras de las consecuencias de las sequías:

“... Ésta, la peor sequía en los estados del norte de México, ha devastado el sector agropecuario e incluso arriesga a dejar sin agua para consumo humano a dichas entidades.”

“Autoridades agropecuarias de Durango informaron al gobernador Jorge Herrera Caldera que para este domingo 22 de abril, habían muerto cien mil de las 700 mil reses del hato”.



- **CONAGUA prevé un estiaje severo y alrededor de 40 frentes fríos**



SOCIEDAD

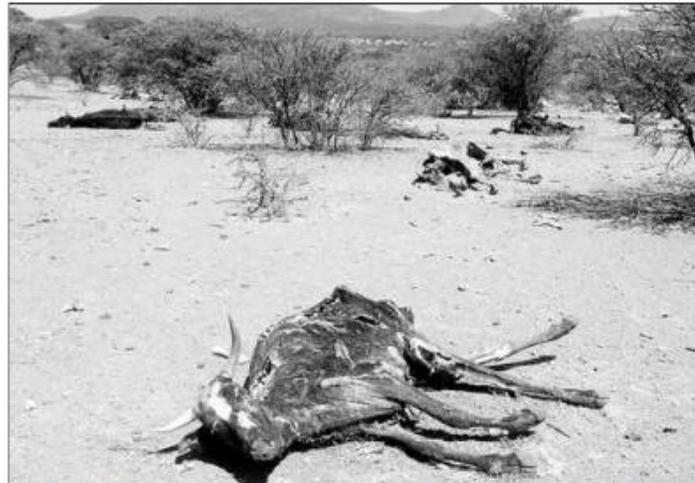
LaJornada

- En Sonora, Chihuahua, Coahuila y Tamaulipas, sequía excepcional, reporta su *Monitor*



Conagua prevé un estiaje severo y alrededor de 40 frentes fríos

- Se esperan problemas en 2012, ya que “sequías y heladas son una mala combinación”
- Tabasco se seguirá inundando, pues es una zona natural para ello, advierte Luege Tamargo



“Esta sequía ha impactado a la ganadería, debido a la disminución de la cantidad y calidad del forraje, que a su vez ocasiona pérdida de peso en el ganado” *Foto La Jornada*

ANGÉLICA ENCISO L.

El martes 8 de noviembre de 2011, a través de la Jornada, en la página 40, Angélica Enciso L. publicó la nota que menciona:

Se menciona que en países del centro también se presentan los problemas de estiaje:

“En la temporada invernal se presentarán alrededor de 40 frentes fríos y también se prevé una severa temporada de estiaje. Estados del centro del país tienen las presas en bajos niveles y en el norte continúa la sequía, señaló el titular de la Comisión Nacional del Agua (Conagua), José Luis Luege Tamargo. En el noreste de Sonora, el noroeste y sureste de Chihuahua, el noreste y centro de Coahuila, así como el norte y centro de Nuevo León, la mayor parte de Durango y el occidente de Zacatecas hay una sequía extrema con impacto agrícola e hidrológico, precisa.”



- **La sequía del norte de México es la peor en 70 años, advierten autoridades**

LA SEQUÍA DEL NORTE DE MÉXICO ES LA PEOR EN 70 AÑOS, ADVIERTEN AUTORIDADES

Funcionarios del gobierno federal han comenzado a alertar sobre la sequía que afronta el norte del país, y sus consecuencias para 2012

Miércoles, 9 de noviembre de 2011 a las 4:54 PM



Sequía México estiaje sequía México estiaje

El miércoles, 9 de noviembre de 2011 a las 4:54 PM. en su página electrónica de Expansión, se publicó el artículo “La sequía del norte de México es la peor en 70 años, advierten autoridades” en donde se menciona lo siguiente:

“La Secretaría de Desarrollo Social (Sedesol) informó la activación de un programa de abastecimiento para 1,500 comunidades en 28 entidades del país. Ha identificado a los estados de Sonora, Chihuahua, Coahuila, Durango, Nuevo León y Zacatecas como los principales afectados por la falta de agua que provocó la escasez de lluvias de este año en esas entidades.”



III. ZONA DE ESTUDIO

A continuación, se presenta una descripción general de la zona de estudio de la muestra del presente trabajo.



Es importante señalar e identificar una determinada presa de almacenamiento, las características hidrológicas propias de la cuenca de aporte, y de la misma presa. Además de ello también se menciona el número de años y el periodo para el cual se realizó el análisis hidrológico en cada una de las presas de la muestra seleccionada, un total de 40 presas de México que se muestran a continuación.

Número	Clave (BANDAS)	Nombre de la Presa	Número	Clave (BANDAS)	Nombre de la Presa
1	005ALR	ABELARDO L. RODRÍGUEZ	21	215JOD	JOSEFA ORTIZ DE DOMÍNGUEZ
2	025ARC	ADOLFO RUÍZ CORTINES	22	220AMG	LÁZARO CÁRDENAS
3	035AOB	ÁLVARO OBREGÓN	23	225BOQ	LA BOQUILLA
4	055CLL	PRESA CALLES	24	235ESP	PRESA LA ESPERANZA
5	058CEP	JOSE LÓPEZ PORTILLO	25	285LCR	LÁZARO CÁRDENAS
6	060CHH	PRESA CHIHUAHUA	26	290LRY	LEOBARDO REYNOSO
7	065COI	PRESA COINTZIO	27	310MVC	MANUEL ÁVILA CAMACHO
8	075CUA	PRESA CUAUHTÉMOC	28	320MRG	MARTE R. GÓMEZ
9	080CRT	PRESA EL CUARENTA	29	335PAG	PEÑA DEL ÁGUILA
10	100CHI	PRESA EL CHIQUE	30	345PEC	PLUTARCO ELÍAS CALLES
11	110NIA	PRESA EL NIAGARA	31	350PAL	PRESIDENTE ALEMÁN
12	120PRR	PRESA EL PARRAL	32	359REP	REPÚBLICA ESPAÑOLA
13	140TIN	EL TINTERO	33	360REQ	PRESA REQUENA
14	146ERA	ESTUDIANTE RAMIRO CABALLERO	34	370RDG	PRESA RODRÍGUEZ
15	155FIM	FRANCISCO I. MADERO	35	385SIL	SAN ILDEFONSO
16	160FMA	PRESA MADERO	36	395SAN	PRESA SANALONA
17	165FVL	FRANCISCO VILLA	37	420TAX	PRESA TAXHIMAY
18	180GUA	PRESA GUARACHA	38	440TPX	PRESA TEPUXTEPEC
19	191IRR	IGNACIO L. ALATORRE	39	460VCA	VENUSTIANO CARRANZA
20	210JAA	JOSÉ ANTONIO ÁLZATE	40	475VIG	VICENTE GUERRERO

Estas presas están ubicadas en diferentes estados de la República Mexicana, tal como se puede apreciar en el siguiente mapa.



Ilustración 1 Mapa de la Ubicación de las presas analizadas de México



1. Presa Abelardo L. Rodríguez

La presa Abelardo L. Rodríguez está ubicada en el Municipio de Jesús María en Aguascalientes. El clima predominante es de tipo estepario y una precipitación media anual de 531 mm.

La presa está ubicada en la Región Hidrológica Lerma-Santiago, en una latitud de 21.917 grados y longitud de -102.4276 grados, se localiza en una zona de baja sismicidad. El propósito de la presa es para riego cuya superficie actual es de 750 ha.

Para el análisis hidrológico de la presa se empleó un registro histórico de 42 años (1948-1989).

2. Adolfo Ruíz Cortines

La presa Adolfo Ruiz Cortines, conocida como "Mocuzari", está ubicada en el municipio Álamos el estado de Sonora.

El periodo de lluvias se presenta en los meses de julio, agosto, septiembre, con una precipitación media anual de 652.3 mm.

La presa está ubicada en la Región Hidrológica Sonora Sur, en la cuenca Río Mayo 2, con un área de 10762 km². Las coordenadas de su cortina se encuentran en 27.2256 grados de latitud y -109.107138 grados de longitud. Los propósitos de la presa es para generación eléctrica y riego, mientras que la zona de riego actual es de 97257 ha.

Para el análisis hidrológico de la presa se realizó el estudio para un periodo de 51 años (1956-2006).

3. Álvaro Obregón

La presa Álvaro Obregón, conocida como "Oviachic", está ubicada en el municipio Cajeme, en el estado de Sonora; esta es la única presa que se encuentra en el municipio.

La presa está ubicada en la Región Hidrológica Sonora sur, en la cuenca Río Yaqui 2, con un área de 69590 km². Las coordenadas de su cortina se encuentran en 27.822594 grados de latitud y -109.894047 de longitud. Los propósitos de la presa son generación eléctrica y riego. Su volumen al NAMO es 2989.20 hm³ mientras que la zona de riego actual es de 242000 ha.

Para el análisis hidrológico de la presa se seleccionaron un total de 36 años (1953-1988).

4. Presa Calles

La presa Calles, está ubicada en el municipio de San José de Gracia, en el estado de Aguascalientes. El clima predominante en el municipio es frío, sobre todo en la zona de la sierra Fría. La temperatura media anual es de 16°C, la precipitación media anual oscila entre 450 a 600 milímetros.

La presa está ubicada en la Región Hidrológica Lerma-Santiago, en la cuenca Presa Calles con un área de 772 km². Las coordenadas de su cortina se encuentran en 22.14116666667 grados de latitud y -102.4172500000 de longitud. Los propósitos de la presa son control de avenidas, abrevadero, recreativo y riego. Su volumen al NAMO es 340 hm³ mientras que la zona de riego actual es de 3000ha.

Para el análisis hidrológico de la presa se seleccionaron 45 años (1933-1977).



5. José López Portillo

La presa José López Portillo conocida como “El Comedero”, está ubicada en el municipio de Cosala, en el estado de Sinaloa.

El clima del municipio es tropical lluvioso con una temporada de sequía marcada. La temperatura anual es de 24.3°C y la precipitación media anual es de 923.5 mm, con esta se beneficia a pequeñas fracciones de terreno colindantes con el Valle de San Lorenzo, como es el caso de Santa Cruz de Alayá.

Está ubicada en la Región Hidrológica Sinaloa, en la cuenca Río San Lorenzo 1, con un área de 8158km². Las coordenadas de su cortina se encuentran en 24.571388889 grados de latitud y -106.807777777 de longitud. Los propósitos de la presa son para generación eléctrica, abrevadero, recreativo, agua potable y riego. Su volumen al NAMO es 2580.19 hm³ mientras que la zona de riego actual es de 104601 ha.

Para el análisis hidrológico de la presa se seleccionaron un total de 33 años (1984-2016).

6. Presa Chihuahua

La presa Chihuahua, está ubicada en el estado de Chihuahua. La pluviosidad anual promedio apenas llega a los 500 mm.

La presa está ubicada en la Región Hidrológica Bravo-Conchos, con un área drenada de 393 km². Las coordenadas de la cortina son de 28.5718333333° N y de - 106.1685 ° W. Los propósitos de la presa son para control de avenidas y agua potable. Su volumen al NAMO es 23.3830 hm³.

Para el análisis hidrológico de la presa se consideró un periodo de registro de 42 años (1933-1977).

7. Presa Cointzio

La presa Cointzio, está ubicada en el municipio de Morelia, en el estado de Michoacán.

La presa está ubicada en la Región Hidrológica Lerma Santiago, en la cuenca Lago de Cuitzeo, con un área de 486 km². Las coordenadas de su cortina se encuentran en 19.6301388889 grados de latitud y -101.2590000000 de longitud. Los propósitos de la presa son para agua potable, y riego. Su volumen al NAMO es 76.80 hm³ mientras que la zona de riego actual es de 19500 ha.

Para el análisis hidrológico de la presa se consideró un registro histórico de 46 años (1941-1986).

8. Presa Cuauhtémoc

La presa Cuauhtémoc, conocida como “Santa Teresa”, está ubicada en el municipio de Tubutama, en el estado de Sonora, muy cerca de la cabecera municipal.

La presa está ubicada en la Región Hidrológica Sonora Norte, en la cuenca Río Magdalena, con un área de 2670 km². Las coordenadas de su cortina se encuentran en 30.8735555556 grados de latitud y - 111.5168333333 de longitud. El propósito principal de la presa es riego. Su volumen al NAMO es 41.50 hm³ mientras que la zona de riego actual es de 643 ha.

Para el análisis hidrológico de la presa se consideró un registro de estudio para un periodo de 54 años (1950-2006).



9. Presa El Cuarenta

La presa El Cuarenta, está ubicada en el municipio Lagos de Moreno, en el estado de Jalisco. En el municipio existe una buena cantidad de presas; muchas de ellas sólo sirven para aguajes, pero algunas irrigan pequeñas parcelas.

La presa está ubicada en la Región Hidrológica Lerma - Santiago, en la cuenca Presa El Cuarenta, con un área de 2345 km². Las coordenadas de su cortina se encuentran en 30.873555556 grados de latitud y -101.737522222 de longitud. El propósito principal de la presa es riego.

Su volumen al NAMO es 30.16 hm³ mientras que la zona de riego actual es de 2887 ha.

Para el análisis hidrológico de la presa se consideró un registro de estudio para un periodo de 30 años (1950-1979).

10. Presa El Chique

La presa El Chique, se localiza en el municipio de Tabasco, en el estado de Zacatecas.

La hidrografía el municipio tiene varias corrientes que cruzan por este municipio, siendo las de más importancia el Río Juchipila, que al cruzar por ese lugar adquiere el nombre de Tabasco, y los arroyos de Huiacolco y el Laurel y la Presa el Chique. En el municipio predomina el clima templado seco y semiseco con una temperatura media de 18°C.

La presa está ubicada en la Región Hidrológica Lerma - Santiago, en la cuenca Presa El Chique, con un área de 2754 km². Las coordenadas de su cortina se encuentran en 21.996666667 grados de latitud y - 102.895555556 de longitud. El propósito principal de la presa es riego. Su volumen al NAMO es 140.1660 hm³ mientras que la zona de riego actual es de 2750 ha.

El análisis hidrológico de la presa se realizó para un periodo de estudio de 45 años, que comprende de 1958-2002.

11. Presa El Niagara

La presa El Niagara, está ubicada en Aguascalientes, Aguascalientes.

La red hidrológica que drena el municipio comprende a los ríos San Pedro, Morcinique El Chicalote; los arroyos San Francisco, La Avena, El Salto de los Montoros, Calvillito y San Pedro; vasos de captación, entre los que destacan El Niágara, El Muerto, San Nicolás y San Bartolo.

El clima del municipio es semiárido, con una temperatura media anual de 17°C, registrándose las más altas temperaturas en los meses de abril, mayo y junio, y las más bajas en los meses de septiembre, enero y febrero.

La presa está ubicada en la Región Hidrológica Lerma - Santiago, en la cuenca Presa El Niagara con un área de 577 km². Las coordenadas de su cortina se encuentran en 21.779888889 grados de latitud y - 102.371555556 de longitud. Los propósitos de la presa son principalmente para riego, la zona de riego actual es de 1400 ha, mientras su volumen al NAMO es 16.30 hm³.

El análisis hidrológico de la presa se realizó para un periodo de estudio de 49 años (1963-2011).

12. Presa El Parral

La presa El Parral está ubicada en el Municipio de Santa Bárbara en el estado de Chihuahua.



El municipio tiene un clima de transición a semihúmedo templado, con una temperatura máxima de 39° C, y una mínima de -12°C. Su temperatura media anual es de 16°C, su precipitación pluvial media anual es de 469.9 mm con un promedio anual de 72 días de lluvia y una humedad relativa del 50%.

La presa está ubicada en la Región Hidrológica Bravo Conchos, en la cuenca Río Parral con un área de 370 km². Las coordenadas de su cortina se encuentran en 26.9082777778 grados de latitud y -105.7319722222 de longitud. El propósito de la presa es control de avenidas y agua potable. Su volumen al NAMO es 4.30 hm³.

El análisis hidrológico de la presa se realizó para un registro histórico de 35 años (1952-1986).

13. El Tintero

La presa El Tintero, ubicada en el municipio de Buenaventura, en el estado de Chihuahua.

El clima se puede clasificar de árido extremoso; con temperatura máxima de 41.5°C y una mínima de 17.5° C. La precipitación pluvial media anual en el municipio es de 308.6 mm, con una humedad relativa del 45%.

La presa está ubicada en la Región Hidrológica Cuencas Cerradas del Norte, en la cuenca Río Santa María 1, con un área de 3826 km². Las coordenadas de su cortina se encuentran en 29.5628388889 grados de latitud y -107.3841583333 de longitud. Los propósitos de la presa son control de avenidas y riego. Su volumen al NAMO es 138.48 hm³ mientras que la zona de riesgo actual es de 5500 ha.

El análisis hidrológico de la presa se realizó para un periodo de estudio de 30 años (1949-1978).

14. Estudiante Ramiro Caballero

La presa Estudiante Ramiro Caballero está ubicada en Tamaulipas en el Municipio El Mante.

El Río Guayalejo, la principal corriente pluvial del municipio, tiene una longitud de 62.6 kilómetros, y sirve de límite con el estado de Veracruz.

La presa está ubicada en la Región Hidrológica Pánuco, en la cuenca Río Guayalejo 4 con un área de 9643 km². Las coordenadas de su cortina se encuentran en 22.6248611111 grados de latitud y -98.6895277778 de longitud. El propósito principal de la presa es para riego, la zona de riego actual es de 7000 ha y su volumen al NAMO es 571.0720 hm³.

El análisis hidrológico de la presa se realizó para un registro histórico de 30 años que comprende de (1976-2005).

15. Francisco I. Madero

La presa Francisco I. Madero, está ubicada en el municipio de Rosales, en el estado de Chihuahua.

El clima se clasifica de semiárido extremoso, con una temperatura máxima de 41.7°C, y una mínima de -14.1°C. La precipitación pluvial media anual es de 61 días de lluvia, con una humedad relativa del 65%.

La presa está ubicada en la Región Hidrológica Bravo- Conchos, en la cuenca Río Conchos 2 con un área de 10600 km². Las coordenadas de su cortina se encuentran en 28.1662638889 grados de latitud y -105.62884166 de longitud. Los propósitos de la presa son para control de avenidas, uso recreativo y riego. Su volumen al NAMO es 355.3000 hm³ mientras que la zona de riego actual es de 15000 ha.

El análisis hidrológico de la presa se realizó para un periodo de estudio de 59 años (1948-2006).



16. Presa Madero

La presa Madero está ubicada en el municipio de Huichapan, en el estado de Hidalgo.

Las principales fuentes hidrológicas de este municipio son el arroyo Hondo que da tributo al río San Francisco el cual cruza el territorio de este municipio por la parte media de sur a norte, y la presa Francisco I Madero cuyo vaso filtrante da origen a una unidad de riego muy cercana al río San Francisco y al río Pathecitos. Se presenta un clima templado-frío, con una temperatura anual de 16°C; precipitación pluvial media de 437 mm por año con un periodo de lluvias en los meses de mayo a septiembre.

La presa está ubicada en la Región Hidrológica Pánuco, en la cuenca Río Tecozautla, con un área de 290.40 km². Las coordenadas de su cortina se encuentran en 20.3093333333 grados de latitud y - 99.7249444444 de longitud. Los propósitos de la presa son recarga de acuíferos y riego. Su volumen al NAMO es 25.3000 hm³ mientras que la zona de riego actual es de 300 ha.

El análisis hidrológico de la presa se realizó para un periodo de registro de 47 años, que comprende de 1939-1985.

17. Francisco Villa

La presa Francisco Villa, está ubicada en el Municipio de Poanas, en el estado de Durango.

Su clima es extremoso, frío en invierno. Se registran temperaturas promedio anual de 25.9 grados centígrados (semicálido), la precipitación promedio es de 388 mm.

La presa está ubicada en la Región Hidrológica Presidio- San Pedro, en la cuenca Río Poanas, con un área de 1386 km². Las coordenadas de su cortina se encuentran en 24.0019444444 grados de latitud y - 103.9608055556 de longitud. Los propósitos de la presa son para control de avenidas, abrevadero y riego. Su volumen al NAMO es 73.2630 hm³ mientras la zona de riego actual es de 3279 ha

El análisis hidrológico de la presa se realizó para un registro histórico de 39 años (1968-2006).

18. Presa Guaracha

La presa Guaracha, está ubicada en el Municipio de Villamar en el estado de Michoacán.

La presa se ubica en la Región Hidrológica Lerma Santiago, en la cuenca Río Lerma 7 con un área de 176 km². Las coordenadas de su cortina se encuentran en 19.9627222222 grados de latitud y - 102.5781388889 de longitud. El propósito principal de la presa es para riego. Su volumen al NAMO es 38.20 hm³.

El análisis hidrológico de la presa se realizó para un registro histórico de 42 años (1937-1978).

19. Ignacio L. A La Torre

La presa Ignacio L. A la Torre, está localizada en el municipio de Guaymas, en el estado de Sonora.

La presa está ubicada en la Región Hidrológica Sonora Sur, en la cuenca Río Matape 1, con un área de 3157 km². De la corriente Río San Marcial o Matape, con afluente del Río Guaymas. Las coordenadas de su cortina se encuentran en 28.4256111111 grados de latitud y - 110.3975277778



de longitud. Los propósitos de la presa es para control de avenidas y riego. Su volumen al NAMO es 17.78 hm³ mientras que la zona de riego actual es de 1340 ha.

El análisis hidrológico de la presa se realizó para un periodo de estudio de 36 años (1971-2006).

20. José Antonio Álzate

La presa José Antonio Álzate, de nombre común “San Bernabé”, está ubicada en el municipio Temoaya en el Estado de México.

La presa se ubica en la Región Hidrológica Lerma Santiago, en la cuenca Río Lerma 1, esta tiene un área de 2108 km². De la corriente Río Lerma, con afluente del Lago de Chapala. Las coordenadas de su cortina se encuentran en 19.466111111 grados de latitud y - 99.7047777778 de longitud. Los propósitos de la presa son control de avenidas y riego. Su volumen al NAMO es 34.50 hm³ mientras que la zona de riego actual es de 7800 ha.

Para el análisis hidrológico de la presa se seleccionaron un total de 34 años (1962-1995).

21. Josefa Ortiz De Domínguez

La presa Josefa Ortiz de Domínguez, conocida como “El Sabino”, está ubicada en Sinaloa en el Municipio El Fuerte.

La presa se ubica en la Región Hidrológica Sinaloa, en la cuenca Río Fuerte 2, con un área de 2268km². Las coordenadas de su cortina se encuentran en 26.4335500000 grados de latitud y - 108.709202778 de longitud. Los propósitos de la presa son recreativos, acuacultura y pesca así como riego. Su volumen al NAMO es 518.93 hm³ mientras que la zona de riego actual es de 40000 ha.

Para el análisis hidrológico de la presa se tomó un registro histórico de 33 años (1967-1999).

22. Lázaro Cárdenas

La presa Lázaro Cárdenas, de nombre común “La Angostura “está ubicada en el municipio de Nacozari de García, en el estado de Sonora.

La presa está ubicada en la Región Hidrológica Sonora Sur, en la cuenca Río Bavispe con un área de 18305 km². Las coordenadas de su cortina se encuentran en 30.4377777778 grados de latitud y - 109.3788888889 de longitud. Los propósitos de la presa son control de avenidas, agua potable y riego. Su volumen al NAMO es 703.36hm³ mientras que la zona de riego actual es de 1500 ha. Cabe mencionar que los usos originales eran riego y generación de electricidad.

Para el análisis hidrológico de la presa se tomó un registro histórico de 66 años (1941-2006)

23. La Boquilla

La presa La Boquilla, conocida comúnmente como “Lago Toronto” está ubicada en el municipio de San Francisco de Conchos, en el estado de Chihuahua.

La presa se ubica en la Región Hidrológica Bravo Conchos, en la cuenca Río Conchos 1, con un área de 21003 km². Las coordenadas de su cortina se encuentran en 27.5450305556 grados de latitud y -105.4141194444 de longitud. Los propósitos de la presa son con fines recreativos y generación



eléctrica así como para riego. Su volumen al NAMO es 2893.571 hm³ mientras que la zona de riego actual es de 59476 ha.

Para el análisis hidrológico de la presa se tomó un registro histórico de 31 años (1976-2006).

24. Presa La Esperanza

La presa La Esperanza, está situada a unos 5 km al sudeste de la población de Tulancingo, en el municipio de Cuautepec, Estado de Hidalgo.

La presa está ubicada en la Región Hidrológica Norte de Veracruz, en la cuenca Río Grande de Tulancingo con un área de 157 km². Las coordenadas de su cortina se encuentran en 20.0574166667 grados de latitud y - 98.334888888 de longitud. Los propósitos de la presa son control de avenidas y riego. Su volumen al NAMO es 3.92 hm³ mientras que la zona de riego actual es de 1500 ha.

Para el análisis hidrológico de la presa se consideró un registro histórico de 39 años (1947-1985).

25. Lázaro Cárdenas

La presa Lázaro Cárdenas, conocida como "El palmito" está ubicada en el municipio Inde, en el estado de Durango.

La presa está ubicada en la Región Hidrológica Nazas Aguanaval en la cuenca Presa Lázaro Cárdenas, con un área de 18321 km². Las coordenadas de su cortina se encuentran 25.5944444444 grados de latitud y - 105.0152777778 de longitud. Los propósitos de la presa son control de avenidas y riego. Su volumen al NAMO es 2957.61hm³ mientras que la zona de riego actual es de 78000 ha.

Para el análisis hidrológico de la presa se tomó un registro histórico de 36 años (1946-1981)

26. Leobardo Reynoso

La presa Leobardo Reynoso, está ubicada a unos 35 km al Oeste de la Ciudad de Fresnillo, en el municipio del mismo nombre del Estado de Zacatecas.

La presa está ubicada en la Región Hidrológica El Salado en la cuenca Presa Leobardo Reynoso, con un área de 1356 km². Las coordenadas de su cortina se encuentran 23.1799166667 grados de latitud y - 103.2168333333 de longitud. El propósito de la presa es para riego y la zona de riego actual es de 5400 ha. Su volumen al NAMO es 118 hm³.

Para el análisis hidrológico de la presa se tomó un registro histórico de 43 años (1949-1991).

27. Manuel Ávila Camacho

La presa Manuel Ávila Camacho, de nombre común Valsequillo o Balcón del Diablo, está ubicada en Puebla, Puebla.

La presa se ubica en la Región Hidrológica Balsas en la cuenca Río Alto Atoyac, con un área de 3954km². Las coordenadas de su cortina se encuentran 18.9121111111 grados de latitud y 98.1083333333 longitud. Los propósitos de la presa son control de avenidas y otros fines. Tiene por objeto controlar las aguas del río Atoyac, para el aprovechamiento en riego de una faja de terrenos comprendidos en los valles de Tecamachalco, San Jerónimo Tlacotepec y Tehuacán. La presa consiste en una cortina del tipo de tierra, provista por la margen izquierda de una obra de toma y un vertedor de excedencias del tipo de cresta libre con canal lateral.



Además tiene fines recreativos y para riego; la zona de riego actual es de 22000 ha. Su volumen al NAMO es 303.70 hm³.

Para el análisis hidrológico de la presa se tomó un registro histórico de estudio 32 años (1946-1977).

28. Marte R. Gómez

La presa Marte R. Gómez está ubicada en el Municipio de Camargo en el estado de Tamaulipas. Con objeto de aprovechar en riego las aguas del río San Juan, se construyó la presa Marte R. Gómez en el sitio denominado Comales de Arriba.

La presa está ubicada en la Región Hidrológica Bravo Conchos en la cuenca Río San Juan 3, con un área de 32220 km². Las coordenadas de su cortina se encuentran 26.1983055556 grados de latitud y -98.9284166667 de longitud. Lo propósitos de la presa son control de avenidas, fines recreativos y riego. Su volumen al NAMO es 781.70 hm³ mientras que la zona de riego actual es de 66690ha. Para el análisis hidrológico de la presa se tomó un registro histórico de 73 años (1944-2016).

29. Peña Del Águila

La presa Peña del Águila, está ubicada en el municipio de Durango, en el estado de Durango. La presa está ubicada en la Región Hidrológica Presidio San Pedro en la cuenca Río La Saucedá, con un área de 2644 km². Las coordenadas de su cortina se encuentran 24.2030555556 grados de latitud y -104.6555555556 de longitud. El propósito de la presa es riego. Su volumen al NAMO es 27.94 hm³ mientras que la zona de riego actual es de 2472 ha.

Para el análisis hidrológico de la presa se tomó un registro de estudio de 53 años (1954-2006).

30. Plutarco Elías Calles

La presa Plutarco Elías Calles de nombre común "El Novillo" está ubicada en el Municipio de Soyopa en el estado de Sonora.

El sitio de la presa tiene clima semidesértico con una temperatura mínima en invierno cercana a los 0 °C y una máxima aproximada en verano de 50 °C. La precipitación media anual es del orden de 400mm.

La presa está ubicada en la Región Hidrológica Sonora Sur en la cuenca Río Yaqui 1, con un área de 58200 km². Las coordenadas de su cortina se encuentran 28.9767500000 grados de latitud y -109.6421388889 de longitud. El propósito de la presa es control de avenidas, generación eléctrica así como para riego. Su volumen al NAMO es 2833.10 hm³ mientras que la zona de riego actual es de 405 ha.

Para el análisis hidrológico de la presa se tomó un registro histórico de 43 años (1964-2006).

31. Presidente Alemán

La presa Presidente Alemán, de nombre común "Temascal" se encuentra situada en la planicie costera del Golfo de México, a unos 40 km aproximadamente al noroeste de Ciudad Alemán, sobre el río Tonto, principal formador del río Papaloapan, en el municipio de Soyaltepec, del Estado de Oaxaca.



La presa está ubicada en la Región Hidrológica Papaloapan en la cuenca Río Tonto, con un área de 3286 km². Las coordenadas de su cortina se encuentran 18.2327777778 grados de latitud y -96.4125000000 de longitud. El propósito de la presa es control de avenidas, generación eléctrica (la planta hidroeléctrica está a cargo de la C.F.E.), así como para riego. Su volumen al NAMO es 8121.46 hm³ mientras que la zona de riego actual es de 70000 ha.

Para el análisis hidrológico de la presa se seleccionaron un total de 31 años (1949-1979).

32. República Española

La presa República Española, está ubicada en Aldama en el estado de Tamaulipas, construida en 1972 por la Secretaría de Recursos Hidráulicos.

La presa está ubicada en la Región Hidrológica San Fernando - Soto La Marina en la cuenca Río San Rafael 1, con un área total de 463 km². Las coordenadas de su cortina se encuentran 23.2563888889 grados de latitud y -97.9908333333 longitud. El propósito de la presa es para riego. Su volumen al NAMO es 54.77 hm³ mientras que la zona de riego actual es de 300 ha.

Para el análisis hidrológico de la presa se seleccionaron un total de 34 años (1973-2006).

33. Presa Requena

La presa Requena está ubicada en el estado de Hidalgo en el Municipio de Tula de Allende.

Para aprovechar en riego las aguas del río Tepeji en combinación con la presa Taxhimay.

La presa Requena, está ubicada en la Región Hidrológica Pánuco en la cuenca Presa Requena, con un área de 865 km². Las coordenadas de su cortina se encuentran en 19.9630000000 grados de latitud y -99.3103888889 de longitud. Los propósitos de la presa son control de avenidas y riego. Su volumen al NAMO es 52.50 hm³ mientras que la zona de riego actual es de 6500 ha.

Para el análisis hidrológico de la presa se seleccionó un registro histórico de 46 años (1930-1975).

34. Presa Rodríguez

La presa Rodríguez, está ubicada a unos 17 km al sureste de la ciudad de Tijuana en el municipio del mismo nombre del Estado de Baja California. Fue construida de 1928 a 1937 (por la Ambursen Dam Company de E.U.A.).

La presa está ubicada en la Región Hidrológica B. C. Noroeste en la cuenca Tijuana, con un área de 2430 km². Las coordenadas de su cortina se encuentran en 32.4448055556 grados de latitud y -116.9082777778 de longitud. Los propósitos de la presa son control de avenidas y abastecimiento de agua potable a la Ciudad de Tijuana. Su volumen al NAMO es 76.90 hm³.

Para el análisis hidrológico de la presa se seleccionó un registro histórico de 40 años (1939-1978).

35. San Ildefonso

La presa San Ildefonso está ubicada en el Municipio de Amealco De Bonfil en el estado de Querétaro.

La presa está ubicada en la Región Hidrológica Pánuco en la cuenca Río Ñado, con un área de 387km². Las coordenadas de su cortina se encuentran en 20.1986944444 grados de latitud y -99.9622222222 de longitud. Los propósitos de la presa son para control de avenidas y riego. Su volumen al NAMO es 48.31 hm³ mientras que la zona de riego actual es de 4500 ha.



Para el análisis hidrológico de la presa se seleccionó un registro histórico de 44 años (1942-1985)

36. Presa Sanalona

La presa Sanalona está ubicada en el municipio de Culiacán, en el estado de Sinaloa.

Con objeto de aprovechar en riego las aguas del río Tamazula, se construyó la presa de Sanalona.

La presa está ubicada en la Región Hidrológica Sinaloa, en la cuenca Río Tamazula, con un área de 3280 km². Las coordenadas de su cortina se encuentran en 24.8143444444 grados de latitud y -107.1495472222 de longitud. El propósito de la presa es control de avenidas. Su volumen al NAMO es 673.47 hm³.

Para el análisis hidrológico de la presa se seleccionó un registro histórico de 31 años (1947-1977).

37. Presa Taxhimay

La presa Taxhimay está ubicada en el municipio Villa del Carbón, en el Estado de México.

La presa está ubicada en la Región Hidrológica Pánuco, en la cuenca Presa Requena, con un área de 380 km². Las coordenadas de su cortina se encuentran en 19.8359333333 grados de latitud y -99.3851111111 de longitud. Los propósitos de la presa son para recreación y riego. Su volumen al NAMO es 42.80 hm³ mientras que la zona de riego actual es de 2100 ha.

Para el análisis hidrológico de la presa se seleccionó un registro histórico de 45 años (1934-1978).

38. Presa Tepuxtepec

La presa Tepuxtepec, está ubicada en el municipio de Contepec, en el estado de Michoacán de Ocampo, fue construida por la Compañía de Luz y Fuerza del Sureste de México S. A. en el año de 1930 y modificada entre 1973 y 1978 para generación de energía eléctrica y riego.

La presa está ubicada en la Región Hidrológica Lerma- Santiago, en la cuenca Rio Lerma 2, con un área de 5643 km². Las coordenadas de su cortina se encuentran en 20.0007777778 grados de latitud y -100.2290277778 de longitud. Los propósitos de la presa son generación eléctrica y riego. Su volumen al NAMO es 384.32 hm³ mientras que la zona de riego actual es de 3681 ha.

Para el análisis hidrológico de la presa se seleccionó un registro histórico de 63 años (1930-1992).

39. Venustiano Carranza

La presa Venustiano Carranza, está ubicada en el municipio de Juárez, en el estado de Coahuila de Zaragoza, se sitúa a 70 km aproximadamente al noreste de Ciudad Anáhuac, sobre el río Salado, inmediatamente aguas abajo de la confluencia de los ríos Sabinas y Nadadores.

La presa está ubicada en la Región Hidrológica Bravo- Conchos, en la cuenca Rio Salado, con un área de 41002 km². Las coordenadas de su cortina se encuentran en 27.5145055556 grados de latitud y -100.6154333333 de longitud. El propósito de la presa es para riego. Su volumen al NAMO es 1312.86 hm³ mientras que la zona de riego actual es de 29605 ha.

Para el análisis hidrológico de la presa se seleccionó un registro histórico de 35 años (1982-2016).



40. Vicente Guerrero

La presa Vicente Guerrero, está ubicada en el municipio Padilla, en el estado de Tamaulipas. Su construcción se inició en 1967, a contrato con la Cía. Constructora México, S.A., estando en programa su terminación para 1970.

La presa está ubicada en la Región Hidrológica San Fernando Soto La Marina. Las coordenadas de su cortina se encuentran en 23.9597222222 grados de latitud y - 98.6661111111 de longitud. Los propósitos de la presa son control de avenidas, acuacultura y pesca, agua potable y riego. Su volumen al NAMO es 3910.66 hm³ mientras que la zona actual de riego es de 35925 ha.

Para el análisis hidrológico se seleccionó un registro histórico de 36 (1971-2006)



IV. METODOLOGÍA

La metodología para el análisis de la severidad de las sequías en presas de México, se describe detalladamente a continuación.

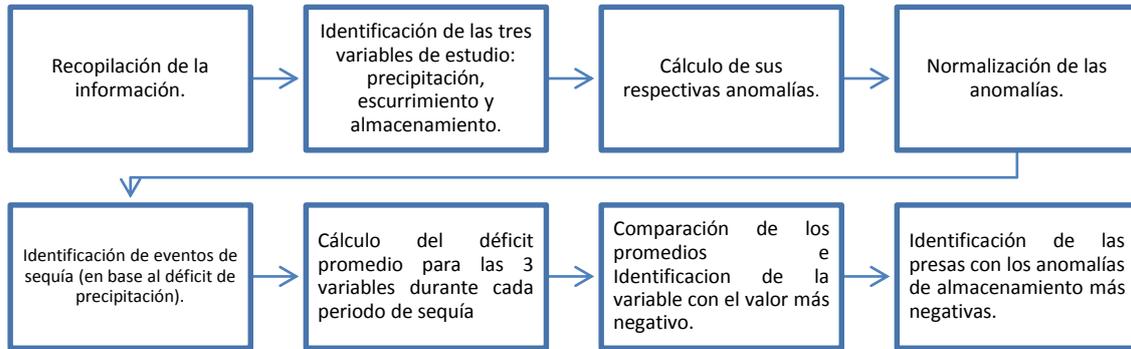


Ilustración 2. Metodología para la caracterización de la sequía.

A. Recopilación de la información

Para el análisis hidrológico de la severidad de las sequías, se tomaron los registros del Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales (BANDAS), publicados por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Dicha información se encuentra en la página:

<http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/Portada%20BANDAS.htm>

El catálogo de presas disponible cuenta con un registro de 185 presas, con una clave que las identifica, y en la cual se muestran diferentes características de cada una de ellas (funcionamiento diario del vaso, gastos, volúmenes, datos horarios, lluvia, evaporación, almacenamiento, desfuegos, entre otros). A partir del catálogo de presas, se seleccionaron aquellas que contaran con registros de periodos mayores o iguales a 30 años consecutivos. Del total de las presas, únicamente 40 cumplieron con esta característica, y como consecuencia esta fue la muestra de este trabajo.

Una vez seleccionadas las presas, que formaron la muestra, se importó la información del BANDAS de su apartado, “Base de Datos de Presas”, a partir de la clave asignada. Los datos se filtraron en base a las notaciones definidas en “Descripción de campos de presas”.

La información utilizada corresponde a los datos mensuales, que se encuentran en las tablas de nombre FMYYYYYY.DBF

NOMBRE	CONTENIDO
FDYYYYYY.DBF	Funcionamiento diario del vaso
FMYYYYYY.DBF	Gastos, volúmenes y lecturas de escala extremos mensuales.
FHYYYYYY.DBF	Datos horarios.
FSYYYYYY.DBF	Datos especiales de los vasos de almacenamiento.

Ilustración 3. Nomenclatura de las tablas del BANDAS.



Los datos extraídos del BANDAS, corresponden a las notaciones descritas en la siguiente tabla, que son los datos que se utilizaron durante todo el análisis.

CAMPO	TIPO	LONGITUD	DESCRIPCIÓN
PK_ANIO	Numérico	4	Año de registro
PK_MES	Numérico	2	Mes de registro
NLLUV_TOT	Numérico	9	4 Lluvia total mensual (mm)
NVLLUV_TOT	Numérico	9	4 Volumen de lluvia mensual (miles de m ³)
NENTRT_TOT	Numérico	9	4 Volumen de entradas totales mensual (miles de m ³)
NAREA_SUM	Numérico	9	4 Suma de áreas diarias (Ha)
NALMA_SUM	Numérico	9	4 Suma de almacenamientos diarios (miles de m ³)

Ilustración 4. Campos de la hoja "Descripción de presas"

B. Identificación de las tres variables de estudio

Una vez extraídos los datos se hicieron las conversiones correspondientes a lámina promedio (expresada en mm), en toda la cuenca. Como se comentó anteriormente, las variables mensuales seleccionadas para el análisis hidrológico son la precipitación, el escurrimiento y el almacenamiento.

$$\text{Suma de área promedio [miles m}^2] = \frac{\text{Suma de áreas diarias [Ha]} * 10000}{\text{Dias}_{\text{DelMes}} * 1000}$$

1. Variable de precipitación [mm]

Cabe señalar que no se dividió entre el área de la cuenca debido a que el valor del volumen de lluvia mensual extraído del BANDAS corresponde a datos del vaso de almacenamiento.

$$\text{Precipitación}_{\text{mensual}} [\text{mm}] = \frac{\text{Volumen de lluvia mensual} [\text{miles m}^3]}{\text{Suma de área promedio} [\text{miles m}^2]} * 1000$$

2. Variable de Escurrimiento [mm]

$$\text{Escurrimiento}_{\text{mensual}} [\text{mm}] = \frac{\text{Volumen de entrada totales mensual} [\text{miles m}^3]}{\text{Área de la cuenca} [\text{km}^2]}$$

3. Variable de Almacenamiento [mm]

Para el cálculo de la lámina de almacenamiento no se dividió entre el área de la cuenca debido a que el valor del volumen de lluvia mensual extraído del BANDAS corresponde a datos del vaso de almacenamiento.

$$\text{Almacenamiento}_{\text{mensual}} [\text{mm}] = \frac{\text{Volumen de almacenamiento diarios} [\text{miles m}^3]}{\text{Suma de área promedio} [\text{miles m}^2]} * 1000$$

Se seleccionó la precipitación porque con ella nos apoyamos para identificar las sequias meteorológicas; el escurrimiento que responde a los déficits de precipitación; y el almacenamiento porque sus niveles reflejan el impacto de la operación de las presas durante condiciones de sequía.



C. Cálculo de las anomalías mensuales

Para el cálculo de las anomalías fue necesario calcular la climatología mensual de las tres variables. Esta última se obtuvo como la suma del valor de la variable de un mes específico, dividido entre el total de años en el periodo.

$$Climatología_{mensual} (mm) = \frac{(Mes\ i_{año1} + Mes\ i_{año2} \dots + Mes\ i_{año\ n})}{n}$$

Donde: i = Mes de análisis ; n = Total de años del periodo analizado

Una vez obtenida climatología mensual para cada variable, se calcularon las anomalías para todo el periodo. Las anomalías se calcularon como la diferencia del valor del dato de la variable mensual y la climatología mensual.

$$Anomalia_{mensual} = Valor_{mensual} - Climatología_{mensual}$$

Posteriormente se normalizaron los datos, con el objetivo de realizar una comparación homogénea entre las tres variables.

$$Valor\ Normalizado = Z = \frac{X - \mu}{\sigma}$$

Donde X = Valor de la anomalía mensual

μ = Media del valor de todo el periodo

σ = desviación estandar de todo el periodo.

D. Identificación de los eventos con déficit de precipitación

Este paso consistió en identificar las sequías meteorológicas mediante la detección de déficits en las anomalías de precipitación. Para definir un evento de sequía se seleccionaron aquellos periodos con al menos 6 meses de anomalías negativas consecutivas.

Al localizar los eventos de déficit de precipitación, se calcularon los promedios de los valores normalizados de las tres variables para cada evento. Se compararon los tres promedios obtenidos y se identificó el valor más negativo. La variable que tuviese el valor más negativo, indicaría que fue la que tuvo el mayor declive ante un déficit de precipitación.

Esta comparación se realizó para cada uno de los eventos identificados en una determinada presa, para ello se elaboró un histograma con todos los eventos identificados, donde fácilmente se observa la variable que reflejó el mayor declive en cada caso.



E. Análisis de los resultados

Por último, se realizó una comparación del decremento promedio de las tres variables durante cada periodo de sequía y para cada presa. Para tener una mejor comparación, el declive se expresó en términos porcentuales y se promedió para todos los eventos detectados.

Una vez generados los resultados por cada presa, se realizó una distribución estadística de los déficits promedio en el almacenamiento. En aquellas presas donde la variable de almacenamiento tuvo un declive mayor al del escurrimiento (en %), esto se interpreta como una operación poco adecuada de la presa ante fenómenos de sequía mientras que aquellas presas cuyo declive en el almacenamiento fue moderado con respecto al decremento en el escurrimiento, se pueden clasificar como presas con una operación adecuada en periodos de sequía.

Finalmente se localizaron las presas en un mapa de la República Mexicana, a partir del porcentaje de mayor declive en el déficit del almacenamiento con respecto a la precipitación y escurrimiento. Este mapa nos permite identificar las presas con una gestión de sequía buena, regular o mala.



V. RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados obtenidos del análisis de las variables de precipitación, escurrimiento y almacenamiento, de cada una de las presas, donde además se indica el porcentaje de eventos en los que la variable de almacenamiento presentó el mayor declive con respecto a las otras variables.

1. Presa Abelardo L. Rodríguez

Durante el periodo de estudio de 42 años, se detectaron 16 eventos de déficit en las anomalías mensuales de la precipitación. De los cuales se identificó que durante 6 casos el declive mayor entre las anomalías de las 3 variables se presentó en el almacenamiento mientras que en 8 y 2 eventos, fue la precipitación y escurrimiento, respectivamente. En este caso, se puede concluir que el almacenamiento en la presa tuvo un desempeño por debajo de la sequía meteorológica e hidrológica en más de un tercio de los eventos de sequía observados en dicha cuenca.

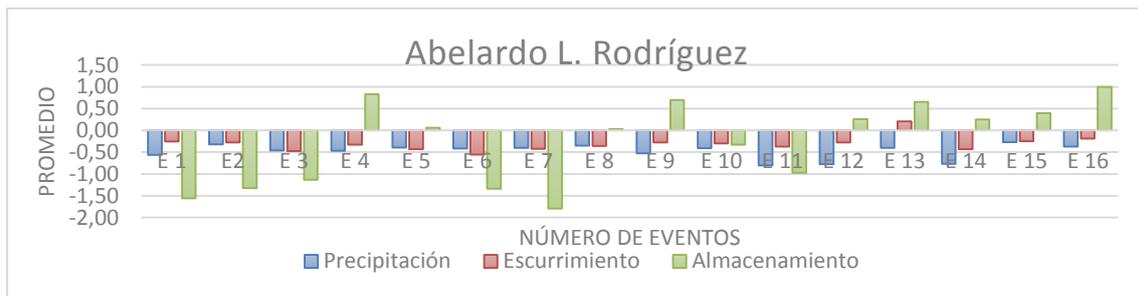


Ilustración 5 Número de eventos con déficit de precipitación en la presa Abelardo L. Rodríguez

2. Adolfo Ruíz Cortines

Durante el periodo de estudio de 51 años, se detectaron 25 eventos de déficit en las anomalías mensuales de la precipitación. De los cuales se identificó que durante 11 casos el declive mayor entre las anomalías de las 3 variables, se presentó en el almacenamiento, mientras que en 12 y 2 eventos, fue la precipitación y escurrimiento, respectivamente. Con esto se puede concluir que el almacenamiento en la presa tuvo un desempeño por debajo de la sequía meteorológica e hidrológica en un 44% de los eventos de sequía observados en dicha cuenca.

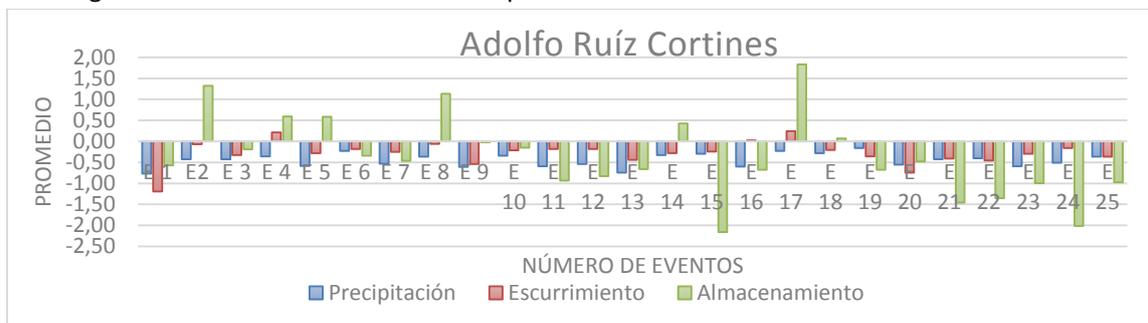


Ilustración 6 Número de eventos con déficit de precipitación en la presa Adolfo Ruíz Cortines

3. Álvaro Obregón

Durante el periodo de estudio de 36 años, se detectaron 15 eventos de déficit en las anomalías mensuales de la precipitación. De los cuales se identificó que durante 7 casos el declive mayor en las anomalías de las 3 variables, se presentó en el almacenamiento, mientras que en 4 y 4 eventos, fue la precipitación y escurrimiento. Se puede concluir que el almacenamiento en la presa tuvo un desempeño por debajo de la sequía meteorológica e hidrológica en un 46,67% de los eventos de sequía observados en dicha cuenca.



Ilustración 7 Número de eventos con déficit de precipitación en la presa Álvaro Obregón.

4. Presa Calles

Durante el periodo de estudio de 45 años, se detectaron 20 eventos de déficit en las anomalías de la variable de precipitación mensual. De los cuales se identificó que durante 8 casos el declive mayor en las anomalías de las 3 variables, se presentó en el almacenamiento, mientras que en 11 y 1 eventos, fue la precipitación y escurrimiento, respectivamente.

Es así como se concluye que el almacenamiento en la presa tuvo un desempeño por debajo de la sequía meteorológica e hidrológica en un 40% de los eventos de sequía observados en dicha cuenca.



Ilustración 8 Número de eventos con déficit de precipitación en la presa Calles

5. José López Portillo

Durante el periodo de estudio de 33 años, se detectaron 9 eventos de déficit en las anomalías mensuales de la precipitación. De los cuales se identificó que en ninguno de los casos el declive mayor en las anomalías de las 3 variables, se presentó en el almacenamiento, mientras que en 7 y 2 eventos, fue la precipitación y escurrimiento, respectivamente. En este caso se puede concluir que el almacenamiento en la presa tuvo un buen desempeño ante la presencia de la sequía meteorológica e hidrológica de los eventos de sequía observados en dicha cuenca.



Ilustración 9 Número de eventos con déficit de precipitación en la presa José López Portillo

6. Presa Chihuahua

Durante el periodo de estudio de 42 años, se detectaron 15 eventos de déficit en las anomalías de la variable de precipitación mensual. De los cuales se identificó que durante 4 casos el declive mayor en las anomalías de las 3 variables, se presentó en el almacenamiento, mientras que en 11 fue en la precipitación y en ningún caso en el escurrimiento. En este caso se puede concluir que el almacenamiento en la presa tuvo un desempeño por debajo de la sequía meteorológica e hidrológica en un 26.67% de los eventos de sequía observados en dicha cuenca.



Ilustración 10 Número de eventos con déficit de precipitación en la presa Chihuahua

7. Presa Cointzio

Durante el periodo de estudio de 42 años, se detectaron 15 eventos de déficit en las anomalías de la variable de precipitación mensual. De los cuales se identificó que durante 5 casos el declive mayor en las anomalías de las 3 variables, se presentó en el almacenamiento, mientras que en 9 y 1 eventos, fue la precipitación y escurrimiento, respectivamente. En este caso se puede concluir que el almacenamiento en la presa tuvo un desempeño por debajo de la sequía meteorológica e hidrológica en más de un tercio de los eventos de sequía observados en dicha cuenca.



Ilustración 11 Número de eventos con déficit de precipitación en la presa Cointzio.

8. Presa Cuauhtémoc

Durante el periodo de estudio de 54 años, se detectaron 18 eventos de déficit en las anomalías de la variable de precipitación mensual. De los cuales se identificó que durante 3 casos el declive mayor en las anomalías de las 3 variables, se presentó en el almacenamiento, mientras que en 9 y 6 eventos, fue la precipitación y escurrimiento, respectivamente. En este caso se puede concluir que el almacenamiento en la presa tuvo un desempeño por debajo de la sequía meteorológica e hidrológica en un 16.67% de los eventos de sequía observados en dicha cuenca.

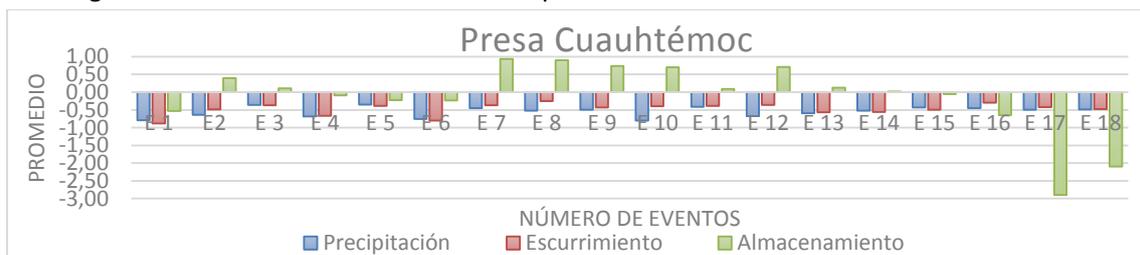


Ilustración 12 Número de eventos con déficit de precipitación en la presa Cuauhtémoc.

9. Presa El Cuarenta

Durante el periodo de estudio de 30 años, se detectaron 13 eventos de déficit en las anomalías mensuales de la precipitación. De los cuales se identificó que durante 3 de estos casos el declive mayor en las anomalías de las 3 variables, se presentó en el almacenamiento, mientras que en 9 y 1 eventos, fue la precipitación y escurrimiento, respectivamente. En este caso se puede concluir que el almacenamiento en la presa tuvo un desempeño por debajo de la sequía meteorológica e hidrológica en 23.08% de los eventos de sequía observados en dicha cuenca.



Ilustración 13 Número de eventos con déficit de precipitación en la presa El Cuarenta.

10. Presa El Chique

Durante el periodo de estudio de 45 años, se detectaron 15 eventos de déficit en las anomalías mensuales de la precipitación. De los cuales se identificó que durante 4 de estos casos el declive mayor en las anomalías de las 3 variables, se presentó en el almacenamiento, se presentó en el almacenamiento, mientras que en 11 fue en la precipitación y en ningún caso en el escurrimiento. En este caso se puede concluir que el almacenamiento en la presa tuvo un desempeño por debajo de la sequía meteorológica e hidrológica en un 26.67% de los eventos de sequía observados en dicha cuenca.



Ilustración 14 Número de eventos con déficit de precipitación en la presa El Chique.

11. Presa El Niagara

Durante el periodo de estudio de 49 años, se detectaron 19 eventos de sequía meteorológica. De los cuales se identificó que durante 2 de estos casos el declive mayor en las anomalías de las 3 variables, se presentó en el almacenamiento, mientras que en 13 y 4 eventos, fue la precipitación y escurrimiento, respectivamente. En este caso se puede concluir que el almacenamiento en la presa tuvo un desempeño por debajo de la sequía meteorológica e hidrológica en un 10.53% de los eventos de sequía observados en dicha cuenca.



Ilustración 15 Número de eventos con déficit de precipitación en la presa El Niagara.

12. Presa El Parral

Durante el periodo de estudio de 35 años, se detectaron 16 eventos de sequía meteorológica. De los cuales se identificó que durante 6 de estos casos el declive mayor en las anomalías de las 3 variables, se presentó en el almacenamiento, mientras que en 8 y 2 eventos, fue la precipitación y escurrimiento, respectivamente. En este caso se puede concluir que el almacenamiento en la presa tuvo un desempeño por debajo de la sequía meteorológica e hidrológica en más de un tercio de los eventos de sequía observados en dicha cuenca.



Ilustración 16 Número de eventos con déficit de precipitación en la presa El Parral.

13. El Tintero

Durante el periodo de estudio de 30 años, se detectaron 10 eventos de sequía meteorológica. De los cuales se identificó que durante 4 de estos casos el declive mayor en las anomalías de las 3 variables, se presentó en el almacenamiento, se presentó en el almacenamiento, mientras que en 6 fue en la precipitación y en ningún caso en el escurrimiento. En este caso se puede concluir que el almacenamiento en la presa tuvo un desempeño por debajo de la sequía meteorológica e hidrológica en un 40% de los eventos de sequía observados en dicha cuenca.



Ilustración 17 Número de eventos con déficit de precipitación en la presa el Tintero.

14. Estudiante Ramiro Caballero

Durante el periodo de estudio de 30 años, se detectaron 11 eventos de déficit en las anomalías mensuales de la precipitación. De los cuales se identificó que durante 1 de estos casos el declive mayor en las anomalías de las 3 variables, se presentó en el almacenamiento, mientras que en 10 fue en la precipitación y en ningún caso en el escurrimiento. En este caso se puede concluir que el almacenamiento en la presa tuvo un desempeño por debajo de la sequía meteorológica e hidrológica en un décimo de los eventos de sequía observados en dicha cuenca.



Ilustración 18 Número de eventos con déficit de precipitación en la presa Estudiante Ramiro Caballero.



15. Francisco I. Madero

Durante el periodo de estudio de 59 años, se detectaron 23 eventos de déficit en las anomalías mensuales de la precipitación. De los cuales se identificó que durante 5 de estos casos el declive mayor en las anomalías de las 3 variables, se presentó en el almacenamiento, mientras que en 17 y 1 eventos, fue la precipitación y escurrimiento, respectivamente. En este caso se puede concluir que el almacenamiento en la presa tuvo un desempeño por debajo de la sequía meteorológica e hidrológica en 21.74% de los eventos de sequía observados en dicha cuenca.

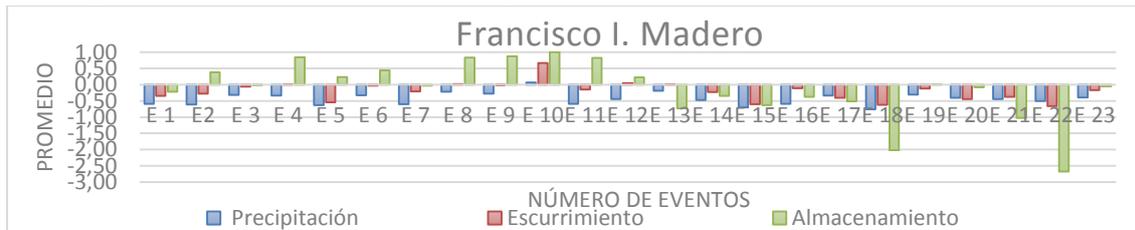


Ilustración 19 Número de eventos con déficit de precipitación en la presa Francisco I. Madero.

16. Presa Madero

Durante el periodo de estudio de 47 años, se detectaron 15 eventos de sequía meteorológica. De los cuales se identificó que durante 5 de estos casos el declive mayor en las anomalías de las 3 variables, se presentó en el almacenamiento, mientras que en 10 fue en la precipitación y en ningún caso en el escurrimiento. En este caso se puede concluir que el almacenamiento en la presa tuvo un desempeño por debajo de la sequía meteorológica e hidrológica en más de un tercio de los eventos de sequía observados en dicha cuenca.



Ilustración 20 Número de eventos con déficit de precipitación en la presa Madero.

17. Francisco Villa

Durante el periodo de estudio de 39 años, se detectaron 13 eventos de déficit en las anomalías de la variable de precipitación mensual. De los cuales se identificó que durante 2 casos el declive mayor en las anomalías de las 3 variables, se presentó en el almacenamiento, mientras que en 9 y 2 eventos, fue la precipitación y escurrimiento, respectivamente. En este caso se puede concluir que el almacenamiento en la presa tuvo un desempeño por debajo de la sequía meteorológica e hidrológica en un 15.38% de los eventos de sequía observados en dicha cuenca.



Ilustración 21 Número de eventos con déficit de precipitación en la presa Francisco Villa.

18. Presa Guaracha

Durante el periodo de estudio de 42 años, se detectaron 16 eventos de déficit en las anomalías mensuales de la precipitación. De los cuales se identificó que durante 7 de estos casos el declive mayor en las anomalías de las 3 variables, se presentó en el almacenamiento, mientras que en 7 y 2 eventos, fue la precipitación y escurrimiento, respectivamente. En este caso se puede concluir que el almacenamiento en la presa tuvo un desempeño por debajo de la sequía meteorológica e hidrológica en 43.75% de los eventos de sequía observados en dicha cuenca.



Ilustración 22 Número de eventos con déficit de precipitación en la presa Guaracha.

19. Ignacio L. A La Torre

Durante el periodo de estudio de 36 años, se detectaron 15 eventos de déficit en las anomalías mensuales de la precipitación. De los cuales se identificó que durante 3 de estos casos el declive mayor en las anomalías de las 3 variables, se presentó en el almacenamiento con respecto a la precipitación y escurrimiento. Por ello decimos que la presa no fue operada adecuadamente el 20.00% de los eventos ocurridos.



Ilustración 23 Número de eventos con déficit de precipitación en la presa Ignacio L. A la Torre.

20. José Antonio Álzate

Durante el periodo de estudio de 34 años, se detectaron 9 eventos de déficit en las anomalías de la variable de precipitación mensual. De los cuales se identificó que durante 1 de estos casos el declive mayor en las anomalías de las 3 variables, se presentó en el almacenamiento, mientras que en 6 y 2 eventos, fue la precipitación y escurrimiento, respectivamente. En este caso se puede concluir que el almacenamiento en la presa tuvo un desempeño por debajo de la sequía meteorológica e hidrológica en 11.11% de los eventos de sequía observados en dicha cuenca.



Ilustración 24 Número de eventos con déficit de precipitación en la presa José Antonio Álzate.



21. Josefa Ortiz de Domínguez

Durante el periodo de estudio de 33 años, se detectaron 17 eventos de déficit en las anomalías mensuales de la precipitación. De los cuales se identificó que durante 5 de estos casos el declive mayor en las anomalías de las 3 variables, se presentó en el almacenamiento, mientras que en 12 fue en la precipitación y en ningún caso en el escurrimiento. Se puede concluir que el almacenamiento en la presa tuvo un desempeño por debajo de la sequía meteorológica e hidrológica en un 29.41% de los eventos de sequía observados en dicha cuenca.



Ilustración 25 Número de eventos con déficit de precipitación en la presa Josefa Ortiz de Domínguez.

22. Lázaro Cárdenas

Durante el periodo de estudio de 66 años, se detectaron 21 eventos de déficit en las anomalías de la variable de precipitación mensual. De los cuales se identificó que durante 7 de estos casos el declive mayor en las anomalías de las 3 variables, se presentó en el almacenamiento, mientras que en 12 y 2 eventos, fue la precipitación y escurrimiento, respectivamente. En este caso se puede concluir que el almacenamiento en la presa tuvo un desempeño por debajo de la sequía meteorológica e hidrológica en un tercio de los eventos de sequía observados en dicha cuenca.



Ilustración 26 Número de eventos con déficit de precipitación en la presa Lázaro Cárdenas.

23. La Boquilla

Durante el periodo de estudio de 31 años, se detectaron 11 eventos de déficit en las anomalías mensuales de la precipitación. De los cuales se identificó que durante 1 de estos casos el declive mayor en las anomalías de las 3 variables, se presentó en el almacenamiento, mientras que en 6 y 3 eventos, fue la precipitación y escurrimiento, respectivamente. En este caso se puede concluir que el almacenamiento en la presa tuvo un desempeño por debajo de la sequía meteorológica e hidrológica en 18.18% de los eventos de sequía observados en dicha cuenca.

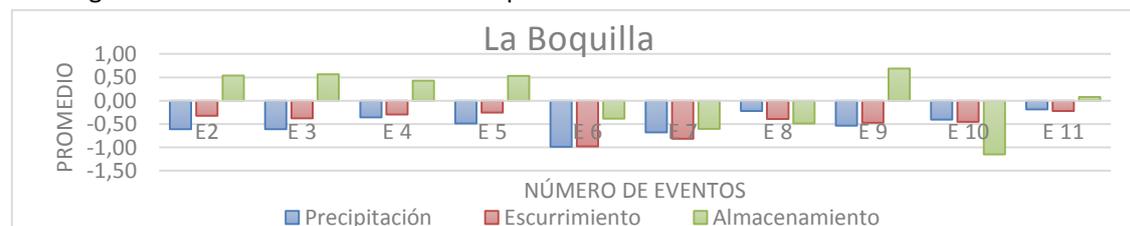


Ilustración 27 Número de eventos con déficit de precipitación en la presa La Boquilla.

24. Presa La Esperanza

Durante el periodo de estudio de 39 años, se detectaron 10 eventos de déficit en las anomalías de la variable de precipitación mensual. De los cuales se identificó que durante 4 de estos casos el declive mayor en las anomalías de las 3 variables, se presentó en el almacenamiento, mientras que en 5 y 1 eventos, fue la precipitación y escurrimiento, respectivamente. En este caso se puede concluir que el almacenamiento en la presa tuvo un desempeño por debajo de la sequía meteorológica e hidrológica en dos quintos de los eventos de sequía observados en dicha cuenca.



Ilustración 28 Número de eventos con déficit de precipitación en la presa La Esperanza.

25. Lázaro Cárdenas (Palmito)

Durante el periodo de estudio de 36 años, se detectaron 16 eventos de déficit en las anomalías mensuales de la precipitación. De los cuales se identificó que durante 9 de estos casos el declive mayor en las anomalías de las 3 variables, se presentó en el almacenamiento, mientras que en 7 fue en la precipitación y en ningún caso en el escurrimiento. Se puede concluir que el almacenamiento en la presa tuvo un desempeño por debajo de la sequía meteorológica e hidrológica en más de la mitad de los eventos de sequía observados en dicha cuenca.



Ilustración 29 Número de eventos con déficit de precipitación en la presa Lázaro Cárdenas (Palmito).

26. Leobardo Reynoso

Durante el periodo de estudio de 43 años, se detectaron 11 eventos de déficit en las anomalías de la variable de precipitación mensual. De los cuales se identificó que durante 2 de estos casos el declive mayor en las anomalías de las 3 variables, se presentó en el almacenamiento, mientras que en 8 y 1 eventos, fue la precipitación y escurrimiento, respectivamente. En este caso se puede concluir que el almacenamiento en la presa tuvo un desempeño por debajo de la sequía meteorológica e hidrológica en un 18.18% de los eventos de sequía observados en dicha cuenca.

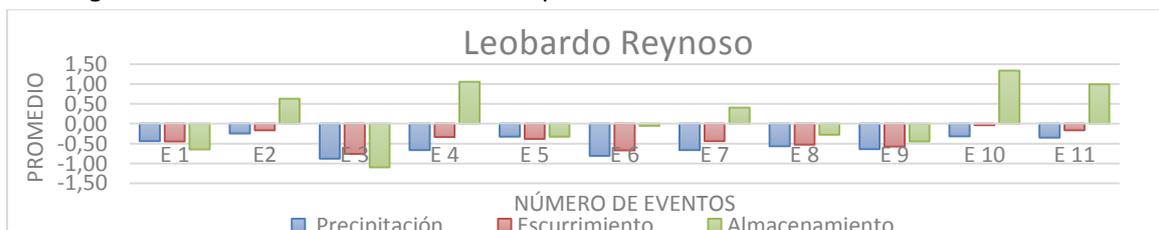


Ilustración 30 Número de eventos con déficit de precipitación en la presa Leobardo Reynoso.

27. Manuel Ávila Camacho

Durante el periodo de estudio de 32 años, se detectaron 10 eventos de déficit en las anomalías mensuales de la precipitación. De los cuales se identificó que durante 1 de estos casos el declive mayor en las anomalías de las 3 variables, se presentó en el almacenamiento, mientras que en 6 y 3 eventos, fue la precipitación y escurrimiento, respectivamente. En este caso se puede concluir que el almacenamiento en la presa tuvo un desempeño por debajo de la sequía meteorológica e hidrológica en un décimo de los eventos de sequía observados en dicha cuenca.



Ilustración 31 Número de eventos con déficit de precipitación en la presa Manuel Ávila Camacho.

28. Marte R. Gómez

Durante el periodo de estudio de 73 años, se detectaron 24 eventos de déficit en las anomalías de la variable de precipitación mensual. De los cuales se identificó que durante 8 de estos casos el declive mayor en las anomalías de las 3 variables, se presentó en el almacenamiento, mientras que en 13 y 3 eventos, fue la precipitación y escurrimiento, respectivamente. En este caso se puede concluir que el almacenamiento en la presa tuvo un desempeño por debajo de la sequía meteorológica e hidrológica en un tercio de los eventos de sequía observados en dicha cuenca.



Ilustración 32 Número de eventos con déficit de precipitación en la presa Marte R. Gómez.

29. Peña Del Águila

Durante el periodo de estudio de 53 años, se detectaron 15 eventos de déficit en las anomalías mensuales de la precipitación. De los cuales se identificó que durante 2 de estos casos el declive mayor en las anomalías de las 3 variables, se presentó en el almacenamiento, mientras que en 12 y 1 eventos, fue la precipitación y escurrimiento, respectivamente. En este caso se puede concluir que el almacenamiento en la presa tuvo un desempeño por debajo de la sequía meteorológica e hidrológica en un 13.33% de los eventos de sequía observados en dicha cuenca.



Ilustración 33 Número de eventos con déficit de precipitación en la presa Peña del Águila.

30. Plutarco Elías Calles

Durante el periodo de estudio de 43 años, se detectaron 10 eventos de déficit en las anomalías de la variable de precipitación mensual. De los cuales se identificó que durante 3 de estos casos el declive mayor en las anomalías de las 3 variables, se presentó en el almacenamiento, mientras que en 6 y 1 eventos, fue la precipitación y escurrimiento, respectivamente. En este caso se puede concluir que el almacenamiento en la presa tuvo un desempeño por debajo de la sequía meteorológica e hidrológica en un 30% de los eventos de sequía observados en dicha cuenca.

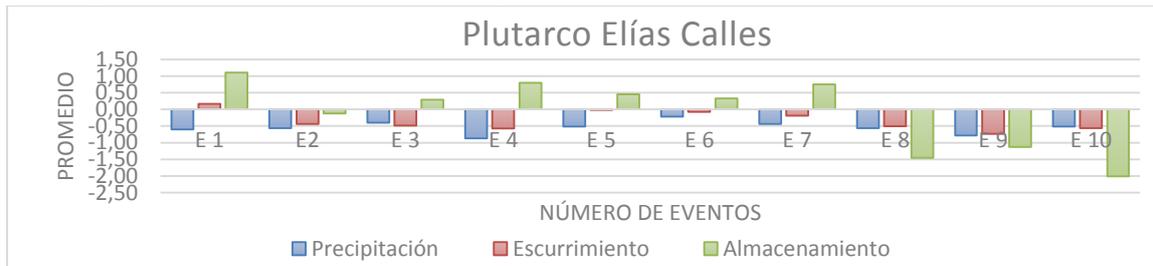


Ilustración 34 Número de eventos con déficit de precipitación en la presa Plutarco Elías Calles.

31. Presidente Alemán

Durante el periodo de estudio de 31 años, se detectaron 11 eventos de déficit en las anomalías mensuales de la precipitación. De los cuales se identificó que durante 3 de estos casos el declive mayor en las anomalías de las 3 variables, se presentó en el almacenamiento, mientras que en 8 fue en la precipitación y en ningún caso en el escurrimiento. Se puede concluir que el almacenamiento en la presa tuvo un desempeño por debajo de la sequía meteorológica e hidrológica en un 27.27% de los eventos de sequía observados en dicha cuenca.



Ilustración 35 Número de eventos con déficit de precipitación en la presa Presidente Alemán.

32. República Española

Durante el periodo de estudio de 34 años, se detectaron 12 eventos de déficit en las anomalías de la variable de precipitación mensual. De los cuales se identificó que durante 3 de estos casos el declive mayor en las anomalías de las 3 variables, se presentó en el almacenamiento, mientras que en 7 y 2 eventos, fue la precipitación y escurrimiento, respectivamente. En este caso se puede concluir que el almacenamiento en la presa tuvo un desempeño por debajo de la sequía meteorológica e hidrológica en un 25% de los eventos de sequía observados en dicha cuenca.



Ilustración 36 Número de eventos con déficit de precipitación en la presa República Española.



33. Presa Requena

Durante el periodo de estudio de 46 años, se detectaron 13 eventos de déficit en las anomalías mensuales de la precipitación. De los cuales se identificó que durante 4 de estos casos el declive mayor en las anomalías de las 3 variables, se presentó en el almacenamiento, mientras que en 8 y 1 eventos, fue la precipitación y escurrimiento, respectivamente. En este caso se puede concluir que el almacenamiento en la presa tuvo un desempeño por debajo de la sequía meteorológica e hidrológica en un 30.77% de los eventos de sequía observados en dicha cuenca.



Ilustración 37 Número de eventos con déficit de precipitación en la presa Requena.

34. Presa Rodríguez

Durante el periodo de estudio de 40 años, se detectaron 19 eventos de déficit en las anomalías de la variable de precipitación mensual. De los cuales se identificó que durante 8 de estos casos el declive mayor en las anomalías de las 3 variables, se presentó en el almacenamiento, mientras que en 7 y 4 eventos, fue la precipitación y escurrimiento, respectivamente. En este caso se puede concluir que el almacenamiento en la presa tuvo un desempeño por debajo de la sequía meteorológica e hidrológica en un 42.11% de los eventos de sequía observados en dicha cuenca.

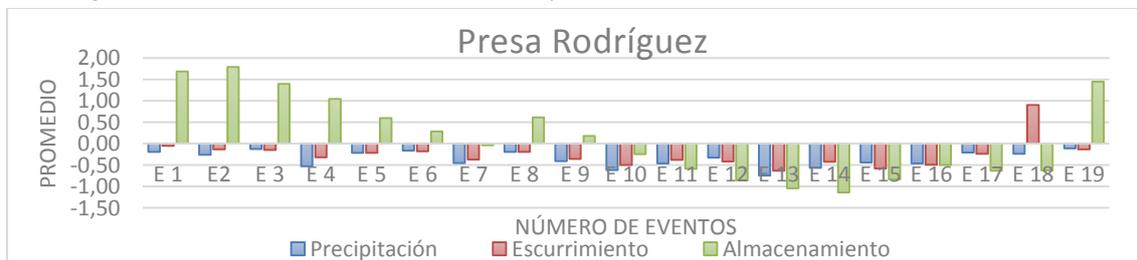


Ilustración 38 Número de eventos con déficit de precipitación en la presa Rodríguez.

35. San Ildefonso

Durante el periodo de estudio de 44 años, se detectaron 13 eventos de déficit en las anomalías mensuales de la precipitación. De los cuales se identificó que durante 5 de estos casos el declive mayor en las anomalías de las 3 variables, se presentó en el almacenamiento, mientras que en 8 fue en la precipitación y en ningún caso en el escurrimiento. Se puede concluir que el almacenamiento en la presa tuvo un desempeño por debajo de la sequía meteorológica e hidrológica en más de un tercio de los eventos de sequía observados en dicha cuenca.



Ilustración 39 Número de eventos con déficit de precipitación en la presa San Ildefonso.

36. Presa Sanalona

Durante el periodo de estudio de 31 años, se detectaron 13 eventos de déficit en las anomalías de la variable de precipitación mensual. De los cuales se identificó que durante 3 de estos casos el declive mayor en las anomalías de las 3 variables, se presentó en el almacenamiento, mientras que en 10 fue en la precipitación y en ningún caso en el escurrimiento. Se puede concluir que el almacenamiento en la presa tuvo un desempeño por debajo de la sequía meteorológica e hidrológica en un 23.08% de los eventos de sequía observados en dicha cuenca.



Ilustración 40 Número de eventos con déficit de precipitación en la presa Sanalona.

37. Presa Taxhimay

Durante el periodo de estudio de 45 años, se detectaron 15 eventos de déficit en las anomalías mensuales de la precipitación. De los cuales se identificó que durante 3 de estos casos el declive mayor en las anomalías de las 3 variables, se presentó en el almacenamiento, mientras que en 12 fue en la precipitación y en ningún caso en el escurrimiento. Se puede concluir que el almacenamiento en la presa tuvo un desempeño por debajo de la sequía meteorológica e hidrológica en un quinto de los eventos de sequía observados en dicha cuenca.



Ilustración 41 Número de eventos con déficit de precipitación en la presa Taxhimay.

38. Presa Tepuxtepec

Durante el periodo de estudio de 63 años, se detectaron 20 eventos de déficit en las anomalías de la variable de precipitación mensual. De los cuales se identificó que durante 5 de estos casos el declive mayor en las anomalías de las 3 variables, se presentó en el almacenamiento, mientras que en 13 y 2 eventos, fue la precipitación y escurrimiento, respectivamente. En este caso se puede concluir que el almacenamiento en la presa tuvo un desempeño por debajo de la sequía meteorológica e hidrológica en un cuarto de los eventos de sequía observados en dicha cuenca.



Ilustración 42 Número de eventos con déficit de precipitación en la presa Tepuxtepec

39. Presa Venustiano Carranza

Durante el periodo de estudio de 35 años, se detectaron 11 eventos de sequía meteorológica. De los cuales se identificó que durante 2 de estos casos el declive mayor en las anomalías de las 3 variables, se presentó en el almacenamiento, mientras que en 8 y 1 eventos, fue la precipitación y escurrimiento, respectivamente. En este caso se puede concluir que el almacenamiento en la presa tuvo un desempeño por debajo de la sequía meteorológica e hidrológica en un 18.18% de los eventos de sequía observados en dicha cuenca.

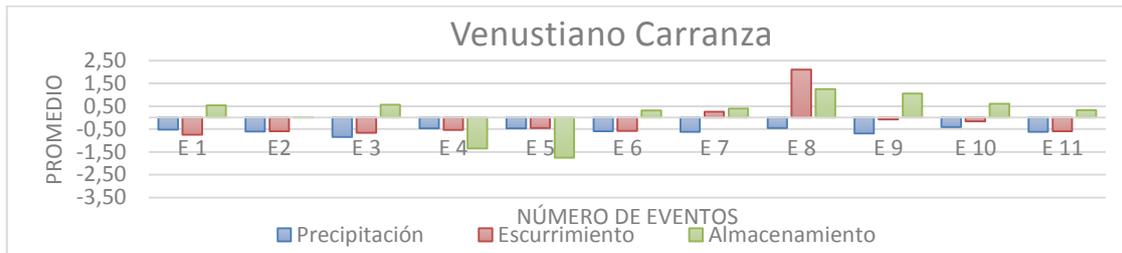


Ilustración 43 Número de eventos con déficit de precipitación en la presa Venustiano Carranza.

40. Presa Vicente Guerrero

Durante el periodo de estudio de 36 años, se detectaron 8 eventos de déficit en las anomalías de la variable de precipitación mensual. De los cuales se identificó que durante 4 de estos casos el declive mayor en las anomalías de las 3 variables, se presentó en el almacenamiento, mientras que en 2 y 2 eventos, fue la precipitación y escurrimiento, respectivamente. En este caso se puede concluir que el almacenamiento en la presa tuvo un desempeño por debajo de la sequía meteorológica e hidrológica en la mitad de los eventos de sequía observados en dicha cuenca.



Ilustración 44 Número de eventos con déficit de precipitación en la presa Vicente Guerrero.



De acuerdo a los resultados obtenidos durante el estudio realizado, se identificó que el 100% de las presas estudiadas, 40, operan con un déficit en el almacenamiento menor al 60% ante la presencia de una sequía meteorológica.

A continuación se muestra la figura 45, donde se observa la distribución estadística del porcentaje del número de eventos observados en el cual el declive mayor de las 3 variables analizadas corresponde al volumen almacenado en las presas.

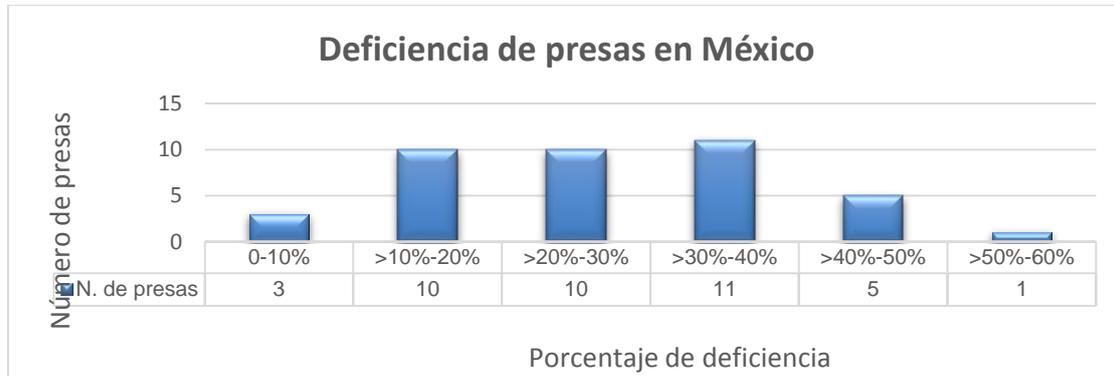


Ilustración 45 Distribución del déficit en el almacenamiento.

Además se puede observar en la figura 47 el lugar que ocupan las 42 presas analizadas de acuerdo al déficit de almacenamiento ante la presencia de una sequía meteorológica e hidrológica.

De acuerdo al análisis realizado, la presa José López Portillo (Sinaloa) no presentó ningún déficit durante el periodo de análisis de 33 años (1984-2016), mientras que la presa Lázaro Cárdenas-palmito (Durango) en un periodo de 36 años (1946-1981), tuvo un déficit de 56.25%, siendo la presa que presentó el mayor declive en las anomalías con respecto a la variable de precipitación y escurrimiento.

Número	Clave (BANDAS)	Nombre de la Presa	Déficit %	Número	Clave (BANDAS)	Nombre de la Presa	Déficit %
1	005ALR	ABELARDO L. RODRÍGUEZ	37,50	21	215JOD	JOSEFA ORTIZ DE DOMÍNGUEZ	29,41
2	025ARC	ADOLFO RUÍZ CORTINES	44,00	22	220AMG	LÁZARO CÁRDENAS	33,33
3	035AOB	ÁLVARO OBREGÓN	46,67	23	225BOQ	LA BOQUILLA	18,18
4	055CLL	PRESA CALLES	40,00	24	235ESP	PRESA LA ESPERANZA	40,00
5	058CEP	JOSE LÓPEZ PORTILLO	0,00	25	285LCR	LÁZARO CÁRDENAS	56,25
6	060CHH	PRESA CHIHUAHUA	26,67	26	290LRY	LEOBARDO REYNOSO	18,18
7	065COI	PRESA COINTZIO	33,33	27	310MVC	MANUEL ÁVILA CAMACHO	10,00
8	075CUA	PRESA CUAUHTÉMOC	16,67	28	320MRG	MARTE R. GÓMEZ	33,33
9	080CRT	PRESA EL CUARENTA	23,08	29	335PAG	PEÑA DEL ÁGUILA	13,33
10	100CHI	PRESA EL CHIQUE	26,67	30	345PEC	PLUTARCO ELÍAS CALLES	30,00
11	110NIA	PRESA EL NIAGARA	10,53	31	350PAL	PRESIDENTE ALEMÁN	27,27
12	120PRR	PRESA EL PARRAL	37,50	32	359REP	REPÚBLICA ESPAÑOLA	25,00
13	140TIN	EL TINTERO	40,00	33	360REQ	PRESA REQUENA	30,77
14	146ERA	ESTUDIANTE RAMIRO CABALLERO	9,09	34	370RDG	PRESA RODRÍGUEZ	42,11
15	155FIM	FRANCISCO I. MADERO	21,74	35	385SIL	SAN ILDEFONSO	38,46
16	160FMA	PRESA MADERO	33,33	36	395SAN	PRESA SANALONA	23,08
17	165FVL	FRANCISCO VILLA	15,38	37	420TAX	PRESA TAXHIMAY	20,00
18	180GUA	PRESA GUARACHA	43,75	38	440TPX	PRESA TEPUXTEPEC	25,00
19	191IRR	IGNACIO L. ALATORRE	20,00	39	460VCA	VENUSTIANO CARRANZA	18,18
20	210IAA	JOSÉ ANTONIO ALZATE	11,11	40	475VIG	VICENTE GUERRERO	50,00

Ilustración 46 Clasificación de las presas con el mayor déficit registrado en el almacenamiento con respecto a la precipitación y el escurrimiento.

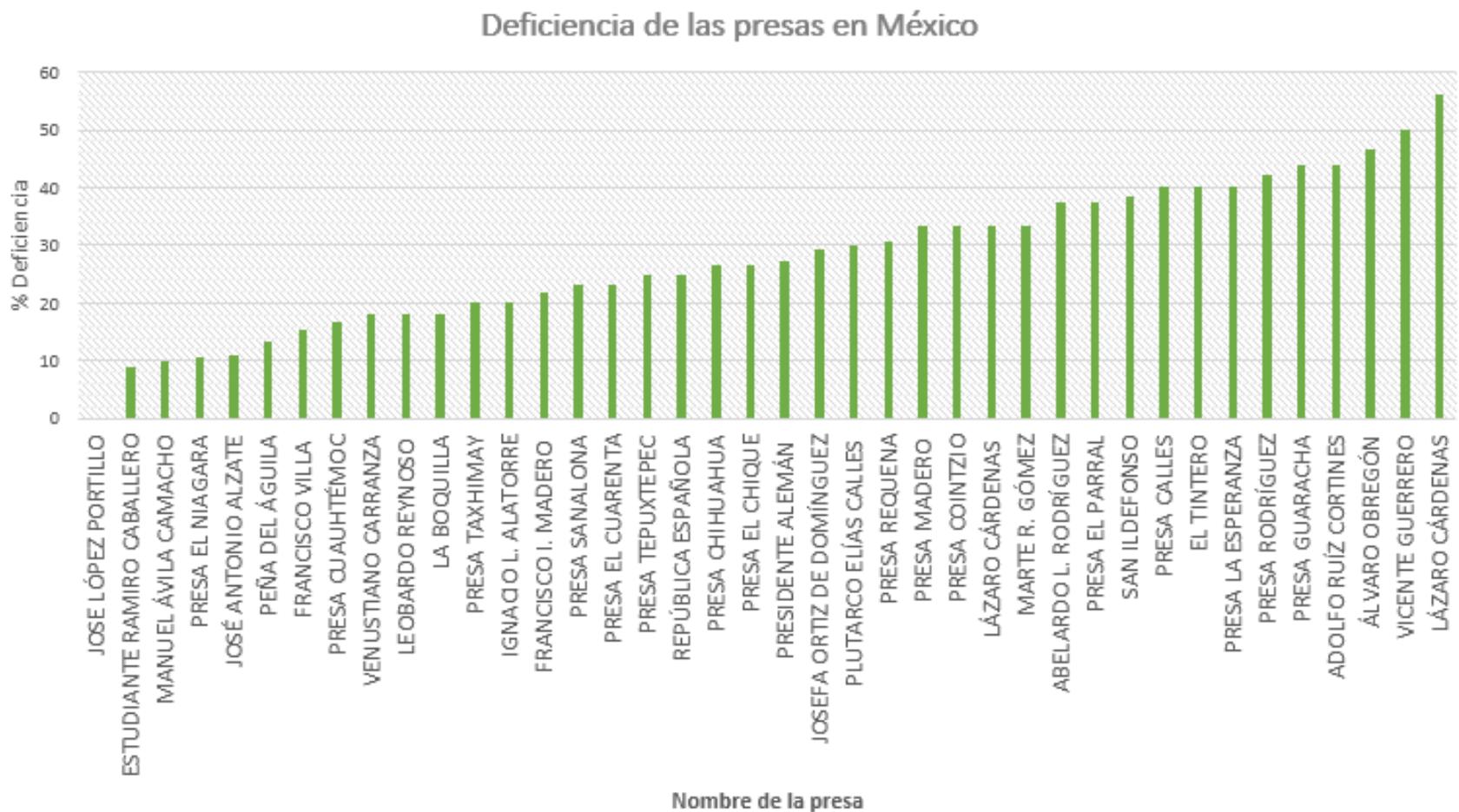


Ilustración 47 Clasificación de las 40 presas con la mayor deficiencia en su operación histórica. Los valores porcentuales representan la proporción del número de eventos en el cual el almacenamiento en la presa tiene el mayor declive promedio con respecto a la variación en la precipitación y el escurrimiento para dicho periodo.



Finalmente se muestra la ubicación de las presas de la muestra de estudio, así como un mapa con los resultados clasificados en grupos porcentuales.



Ilustración 48. Mapa de presas de México y su falta de capacidad operativa durante sequías



VI. CONCLUSIONES

Durante el estudio realizado en este trabajo, empleando datos del Banco Nacional de Aguas Superficiales (Bandas), publicados por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) se llegó a las siguientes conclusiones:

- La sequía meteorológica afecta a todos los estados de la República Mexicana, ya que es un fenómeno que no se puede evitar, sin embargo, se puede enfrentar con adecuadas políticas de operación en las presas ante la presencia de este fenómeno o anomalías.
- En el marco de trabajo se logró evaluar la operación hidrológica de las presas ante las condiciones de sequía, a partir del comportamiento de la variable de almacenamiento en su desempeño ante la sequía meteorológica e hidrológica en su respectiva cuenca.
A través de este trabajo, se logró determinar la severidad de las sequías meteorológicas y su repercusión en el almacenamiento de los vasos de las presas.
- Cabe mencionar que históricamente hay presas bien operadas durante las sequías ya que esto se reflejó en los valores de la variable de almacenamiento.
Ninguna de las 40 presas, que es la muestra total de estudio, presentó un declive mayor al 60% en la variable de almacenamiento con respecto a la de escurrimiento y precipitación, con ello podemos concluir que las presas en México lograron un desempeño aceptable ante la presencia de fenómenos de sequía meteorológica.
- Con este estudio además, se logró identificar aquellas presas que podrían mejorar sus políticas de operación ante los diferentes eventos registrados. Comentando que de la muestra de estudio tomada para este trabajo, se identificó que la presa Lázaro Cárdenas, ubicada en Durango, tuvo un desempeño por debajo de la sequía meteorológica e hidrológica en más del 50% de los eventos de sequía observados en dicha cuenca.

En las presas José Antonio Álzate y Taxhimay, ubicadas en el Estado de México, se tuvo un desempeño sobresaliente, en el que únicamente 10-20% de los eventos de sequía observados en dicha cuenca se ubicaron por arriba de la magnitud de la sequía meteorológica e hidrológica.

- La principal limitación de que la muestra de estudio fuese de tan solo el 21.9% de las presas en México, radica en la base de datos que se tiene disponible por CONAGUA, ya que el otro 78.1% de presas no cuentan con los registros suficientes para realizar un estudio apropiado.
Esta forma de análisis hidrológico, es válido para cualquier presa ya que se calcula el número de eventos de anomalías en el déficit de precipitación, correspondientes a cada una de manera independiente, por ello la importancia de contar con los registros correspondientes. Con este análisis se logró identificar la severidad de la sequía en presas de México.



Recomendaciones

Se deben implementar políticas de operación enfocadas en aquellas presas donde la variable de almacenamiento tuvo un desempeño por debajo de la sequía meteorológica e hidrológica.

Además implementar estrategias en el uso de agua, así como prácticas mejores, es decir, un consumo responsable del agua para generar mayores beneficios a la sociedad durante periodos de estrés hídrico.



VII. BIBLIOGRAFÍA

- Subdirección General Técnica, Gerencia de Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos (GASIR) <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/Portada%20BANDAS.htm>, consultada el 17 octubre 2017
- Base de Datos de Presas, Índice de/Bandas/Bases_Datos_Presas ftp://ftp.conagua.gob.mx/Bandas/Bases_Datos_Presas, fechas de consulta 17 octubre 2017
- COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, Sistema de Seguridad de Presas, <http://201.116.60.136/inventario/hinicio.aspx>, fecha de consulta 15 enero 2018.
- Atlas del Agua en México 2016, Comisión Nacional del Agua, http://201.116.60.25/publicaciones/AAM_2016.pdf, fecha de consulta 7 de noviembre 2017
- COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, Sistema de Seguridad de Presas, SEMARNAT <http://201.116.60.136/inventario/hinicio.aspx>, fecha de consulta 23 de enero 2018
- Instituto Nacional de Ecología, Estudio de la Calidad y Clasificación del agua en el río Tula http://repositorio.inecc.gob.mx/ae/ae_002048.pdf, página 1.4
- Estimación y aprovechamiento del Escurrimiento, Daniel Francisco Campos Aranda, primera reimpresión, Julio 2011.
- PRONACOSE, Programa Nacional contra la sequía, Comisión Nacional del Agua, <http://www.pronacose.gob.mx>, fecha de consulta 01/marzo/2018
- Conceptos sobre Sequía, M.C. Guillermo Crespo Pichardo, http://www.pronacose.gob.mx/pronacose14/Contenido/Documentos/Marco_Conceptual.pdf fecha de última actualización 03/02/2008.
- Terminología CONAGUA, <http://app.conagua.gob.mx/spr/glosario.html>, Fecha de consulta 01/marzo/2018
- Capítulo 4. Infraestructura hidráulica, Estadísticas del Agua en México, edición 2010, http://www.conagua.gob.mx/conagua07/contenido/documentos/capitulo_4.pdf, fecha de consulta 03/marzo/2018, página 78
- Nociones de estabilidad de cortinas, Téllez Quintanar Cecilia, Facultad de Ingeniería, <http://www.ptolomeo.unam.mx>, fecha de consulta 03/marzo/2018
- Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México, Estado de Aguascalientes <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM01aguascalientes/municipios/01005a.html>, H. Ayuntamiento de Jesús María, fecha de consulta 03/marzo/2018
- Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México, Estado de Sonora, Álamos, <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM26sonora/municipios/26003a.html> Ayuntamiento de Alamos
- Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México, Estado de Sonora, Cajeme, <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM26sonora/municipios/26018a.html> H. Ayuntamiento de Cajeme
- Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México, Estado de Aguascalientes, San José de García, <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM01aguascalientes/municipios/01008a.html> Ayuntamiento de San José de García
- Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México, Estado de Sinaloa, Cosala, <http://siglo.inafed.gob.mx/enciclopedia/EMM25sinaloa/municipios/25005a.html>, Ayuntamiento Cosala
- Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México, Estado de Michoacán de Ocampo, municipio Morelia, <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM16michoacan/municipios/16053a.html> Ayuntamiento de Morelia



- Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México, Estado de Sonora, municipio Tubutama, <http://inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM26sonora/municipios/26065a.html>, Ayuntamiento de Tubutama.
- Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México, estado de Jalisco, Lagos de Moreno, <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM14jalisco/municipios/14053a.html>, Ayuntamiento de Lagos de Moreno.
- Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México, estado de Zacatecas en el municipio de Tabasco, <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM32zacatecas/municipios/32044a.html>, Ayuntamiento de Tabasco
- Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México, estado de Aguascalientes en el municipio de Aguascalientes, <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM01aguascalientes/municipios/01001a.html>, Ayuntamiento de Aguascalientes
- Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México, estado de Chihuahua en el municipio de Santa Bárbara, <http://siglo.inafed.gob.mx/enciclopedia/EMM08chihuahua/municipios/08060a.html>, Ayuntamiento de Santa Bárbara
- Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México, estado de Chihuahua en el municipio de Buenaventura, <http://siglo.inafed.gob.mx/enciclopedia/EMM08chihuahua/municipios/08010a.html>, Ayuntamiento de Buenaventura
- Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México, estado de Tamaulipas en el municipio El Mante, <http://siglo.inafed.gob.mx/enciclopedia/EMM28tamaulipas/municipios/28021a.html>, Ayuntamiento de El Mante.
- Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México, estado de Chihuahua en el municipio Rosales, <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM08chihuahua/municipios/08055a.html>, Ayuntamiento de Rosales

NOTAS PERIODÍSTICAS

- CONAGUA PREVÉ UN ESTIAJE SEVERO Y ALREDEDOR DE 40 FRENTE FRÍOS, Angélica Enciso L., martes 8 de noviembre de 2011, p. 40, Periódico La Jornada, <http://www.jornada.unam.mx/2011/11/08/sociedad/040n1soc>, fecha de consulta 5 de abril 2018.
- LA SEQUÍA DEL NORTE DE MÉXICO ES LA PEOR EN 70 AÑOS, ADVIERTEN AUTORIDADES, miércoles, 9 de noviembre de 2011 a las 4:54 PM, <https://expansion.mx/nacional/2011/11/09/la-sequia-del-norte-de-mexico-es-la-peor-en-70-anos-advierten-autoridades>, fecha de consulta 5 de abril 2018.
- SEVEROS ESTRAGOS EN ENTIDADES DEL NORTE POR LA PROLONGADA SEQUÍA, De los corresponsales, lunes 23 de abril de 2012, p. 29, Periódico La Jornada, <http://www.jornada.unam.mx/2012/04/23/estados/029n1est>, fecha de consulta 5 de abril 2018.
- LA SEQUIA AFECTA AL 10% DEL PAIS, Angélica Enciso L , miércoles 29 de marzo de 2017, Periódico La Jornada, <http://www.jornada.unam.mx/2017/03/29/sociedad/036n4soc> , fecha de consulta 5 de abril 2018.



VIII. ANEXOS

A. Conceptos que se usan en los archivos históricos

“La lista siguiente muestra las claves registradas en los archivos históricos y que indican el tipo de información que se almacena en los registros de los archivos de datos”, publicado por la Comisión Nacional del Agua a través del Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales.

Clave	Descripción	Unidades
01LL	Lluvia	mm
02EV	Evaporación	mm
03EL	Elevación (nivel del agua)	m
04AR	Áreas de inundación	Ha
05AL	Almacenamiento	miles de m ³
06VA	Variación de almacenamiento	miles de m ³
07VL	Volumen de lluvia	miles de m ³
08E1	Entrada hidrométrica 1	miles de m ³
09E2	Entrada hidrométrica 2	miles de m ³
10E3	Entrada hidrométrica 3	miles de m ³
11E4	Entrada hidrométrica 4	miles de m ³
12E5	Entrada hidrométrica 5	miles de m ³
13E6	Entrada hidrométrica 6	miles de m ³
14E7	Entrada hidrométrica 7	miles de m ³
15E8	Entrada hidrométrica 8	miles de m ³
16ER	Suma de entradas por ríos	miles de m ³
17SE	Suma de entradas totales	miles de m ³
18T1	Toma 1 (Estación hidrométrica)	miles de m ³
19T2	Toma 2 (Estación hidrométrica)	miles de m ³
20T3	Toma 3 (Estación hidrométrica)	miles de m ³
21T4	Toma 4 (Estación hidrométrica)	miles de m ³
22T5	Toma 5 (Estación hidrométrica)	miles de m ³
23T6	Toma 6 (Estación hidrométrica)	miles de m ³
24T7	Toma 7 (Estación hidrométrica)	miles de m ³
25T8	Toma 8 (Estación hidrométrica)	miles de m ³
26ST	Suma de tomas	miles de m ³
27DF	Desfogues	miles de m ³
28FT	Filtraciones	miles de m ³
29DR	Derrames	miles de m ³
30VE	Volumen de evaporación	miles de m ³
31SS	Suma de salidas totales	miles de m ³
32ES	(Entradas-Salidas) No controladas	miles de m ³
33AP	Aportaciones deducidas diarias	miles de m ³
34ET	Entradas totales por ríos	miles de m ³
35EN	Entradas netas por ríos	miles de m ³
36DM	Datos especiales mensuales	



UNAM, FACULTAD DE INGENIERÍA
Análisis hidrológico para determinar la severidad de la sequía en presas de México.



Registro de las 185 presas reconocidas por CONAGUA, se muestra la selección de las presas que tenían información de 30 o más años consecutivos. Con ello se definió la muestra de estudio para el presente estudio.

CLAVE	PRESA	AÑOS CON DATOS
005ALR	ABELARDO L. RODRIGUEZ	61
006ABR	ABELARDO RODRIGUEZ	12
010AGZ	ABRAHAM GONZALEZ	44
015ACH	ACHIMEC	23
016ABN	ING. AURELIO BENASSINI	5
020ALM	ADOLFO LOPEZ MATEOS	35
025ARC	ADOLFO RUIZ CORTINEZ	54
030AGO	AGOSTITLAN	34
035A0B	ALVARO OBREGON	57
040ALO	ALVARO OBREGON	40
041AMI	LA AMISTAD	5
042BRJ	BARRAJE DE IBARRA	17
043ANG	LA ANGSTURA	26
045BBD	PRESA BASILIO BADILLO	31
046B0C	BENJAMIN ORTEGA	9
047CAB	CABORCA	12
050BJU	PRESA BENITO JUAREZ	42
055CLL	PRESA CALLES	76
058CEP	JOSE LOPEZ PORTILLO	31
060CHH	PRESA CHIHUAHUA	43
062CTA	CINCUENTA ANIVERSARIO	20
065COI	PRESA COINTZIO	60
068COM	EL COMAQUITO	16
070CON	CONSTITUCION 1917	24
075CUA	PRESA CUAUHEMOC	59
080CRT	EL CUARENTA	51
081CON	CONSTITUCION DE 1814	1
085DAM	PRESA DANXHO	45
086DGZ	PRESA DE GONZALO	5
090CAZ	EL CAZADERO	41
095CTN	PRESA CENTENARIO	59
100CHI	PRESA EL CHIQUE	49
102EST	EL ESTRIBON	11
103CHI	CHILAN	10
104EUC	EL CUCHILLO	18
104VOL	EL VOLANTIN	10
105HUR	HURTADO	12
105MOL	PRESA EL MOLINO	55
106COL	LA COLONIA	10
107GLS	GUILLERMO LUGO SANABRIA	12
108CAJ	LAGUNA DE CAJITITLAN	6
109RED	LA RED	1
110NIA	PRESA EL NIAGARA	49
111VGR	VILLA GUERRERO	3
112MEX	MEXICACAN	9
113SMI	SAN MIGUEL	4
114GEC	ELIAS GONZALEZ CHAVEZ	7
115PAT	EL PALOTE	30
120PRR	PRESA EL PARRAL	35
125PEJ	PRESA EL PEJO	13
130REJ	PRESA EL REJON	37
135ROD	LAGUNA EL RODEO	58
140TIN	EL TINTERO	58
141TUL	PRESA EL TULE	14
144ELZ	EMILIO LOPEZ ZAMORA	11
145END	PRESA ENDO	42
146ERA	ESTUDIANTE RAMIRO CABALLERO	30
147EPG	EMILIO PORTES GIL	24
150EBU	EUSTAQUIO BUELNA	11
155FIM	FRANCISCO I. MADERO	61
160FMA	PRESA MADERO	47
165FVL	FRANCISCO VILLA	39
170FZA	FRANCISCO ZARCO	44
175GVI	GUADALUPE VICTORIA	37
176GPE	DE GUADALUPE	3
180GUA	PRESA GUARACHA	65
181GBA	GUILLERMO BLAKE AGUILAR	6
185HUA	PRESA HUAPANANGO	55
190IAL	IGNACIO ALLENDE	34
191IRR	IGNACIO L. ALATORRE	38
195IRA	IGNACIO RAMIREZ	46
200VIG	ING. VALENTIN GAMA	33
201TIN	TIERRA NUEVA	2
202JEM	INSURGENTE JOSE EVARISTO MOLINA	10
205JAR	PRESA JARIPO	48
208ILP	PRESA JOSE LOPEZ PORTILLO	1
210JAA	JOSE ANTONIO ALZATE	46
212IGO	ISIDRO G. OROZCO	18
212JRG	JAVIER ROJO GOMEZ	14
215JOD	JOSEFA ORTIZ DE DOMINGUEZ	33
217JLA	JULIAN ADAME	12
220AMG	LAZARO CARDENAS	68
225BOQ	LA BOQUILLA	73
230CAL	LA CALERA	16
233CDZ	LA CODORNIZ	26
235ESP	PRESA LA ESPERANZA	48
238PRI	LA PATRIA ES PRIMERO	35
240VEG	SANTIAGO CAMARENA	39
245LCH	LAGO DE CHAPALA	73

CLAVE	PRESA	AÑOS CON DATOS
250LAC	LAGUNA ALCUZHUE	5
255LAM	LAGUNA DE AMELA	41
260LFR	LAGUNA DEL FRESNO	31
265LMT	LAGUNA DE MEZTITLAN	47
270LYU	LAGUNA DE YURIRIA	61
275LSB	LAGUNA DE SAN BARTOLO	23
280LAJ	PRESA LAS LAJAS	43
285LCR	LAZARO CARDENAS	65
290LRY	LEOBARDO REYNOSO	56
295OLE	PRESA LOS OLIVOS	23
298LDC	LUIS DONALDO COLOSIO	5
300LLL	LUIS L. LEON	36
302MOM	PRESA MADIN	3
305MAL	PRESA MALPAIS	34
310MVC	MANUEL AVILA CAMACHO	44
315MAZ	PRESA INSURGENTE MARIANO ABASOLO	17
320MRG	MARTE R. GOMEZ	70
321MLU	MEDIA LUNA	26
322MOC	MELCHOR OCAMPO	26
324MIM	MIGUEL DE LA MADRID	5
325MHD	MIGUEL HIDALGO	26
326MAL	MIGUEL ALEMAN	5
330NTZ	NEZAHUALCOYOTL	36
332PBL	PRESA PABELLON	15
333PAS	PALOMAS	22
335PAG	PEÑA DEL AGUILA	53
336PTS	ANGEL ALBINO CORZO (PEÑITAS)	11
340PEN	PEÑUELTAS	28
341PJM	PEDRO J. MENDEZ	28
342BLC	PRESA DERIVADORA LAS BLANCAS	13
342PAG	PRESA EL AGUILA	11
343COL	LA COLINA	3
345PEC	PLUTARCO ELIAS CALLES	45
350PAL	PRESIDENTE ALEMAN	48
355PUC	PRESA PUCUATO	37
355VIL	LA VILLITA	7
357RLV	RAMON LOPEZ VELARDE	18
359REP	REPUBLICA ESPAÑOLA	34
360MAF	MANUEL FELGUEZ	6
360REQ	PRESA REQUENA	61
361RFV	RODOLFO FELIX VALDEZ	14
365RGO	RODRIGO GOMEZ	43
365ZIM	ZIMAPAN	3
370RDG	PRESA RODRIGUEZ	46
375SAB	PRESA SABANETA	40
380SAL	LAGUNA SALINILLAS	66
383SGA	SAN GABRIEL	27
385SIL	SAN ILDEFONSO	47
389SJS	SAN JOSE	8
390SJA	SAN JOSE ATLANGA	39
395SAN	PRESA SANALONA	39
397SEL	SANTA ELENA	7
400SRO	SANTA ROSA	22
401VBR	VALLE DE BRAVO	4
402VIV	VILLA VICTORIA	4
403BOS	EL BOSQUE	3
404FAB	FRANCISCO TRINIDAD FABELA	9
405STR	SANTA ROSA	70
405NAD	NADO	9
407SBY	SANTIAGO BAYACORA	16
408STE	PRESA SANTA TERESA	12
410SOL	PRESA SOLIS	52
415GDL	LA GOLONDRINA	6
415TAC	TACOTAN	48
418TRC	TARECUATO	17
420TAX	PRESA TAXHIMAY	59
425TEN	TENASCO	32
430TEA	TEPETITLAN ANTIGUA	20
435TPN	TEPETITLAN NUEVA	47
440TPX	PRESA TEPUXTEPEC	68
441TMU	TERCER MUNDO	8
442TRM	RAMON CORONA	16
445URE	PRESA UREPETIRO	38
450VCV	VICENTE C VILLASEÑOR	35
455VTR	PRESA VALERIO TRUJANO	15
460VCA	VENUSTIANO CARRANZA	80
461FRA	LA FRAGUA	7
462CNT	EL CENTENARIO	5
462MIG	SAN MIGUEL	9
465VAG	VICENTE AGUIRRE	40
470VGU	VICENTE GUERRERO	10
475VIG	VICENTE GUERRERO	36
476VHJ	VILLA HIDALGO	12
477YOS	YOSOCUITA	5
480ZIR	PRESA ZICUIRAN	33
510CPE	CAJON DE PEÑA	7
515SCE	PRESA CHICOASEN	17
516CHI	CHICAYAN	30
517CAP	CONSTITUCION DE APATZINGAN	5
535CEZ	EL CARRIZO	8
552ICO	JOCOQUE	16
580PSA	PRESA LA PURISIMA	15
585TRO	SOLIDARIDAD	12
600NAR	LOS NARANJOS	10

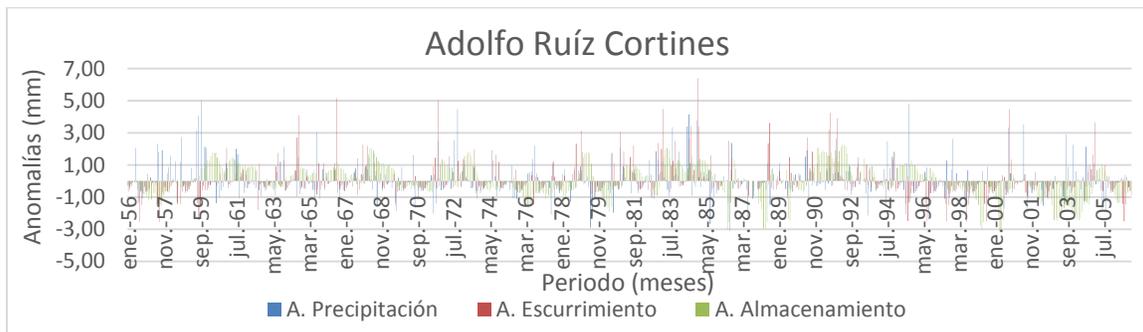
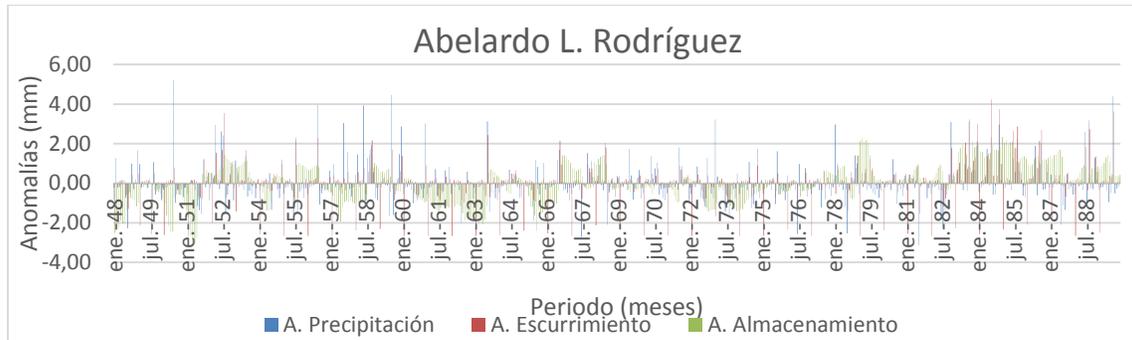


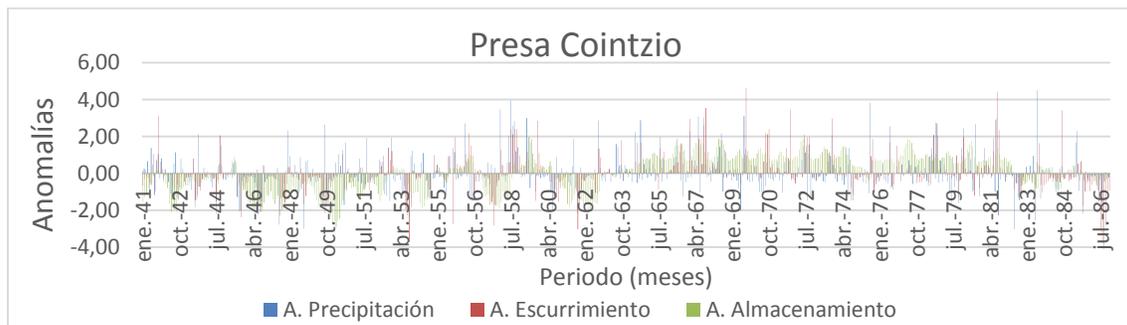
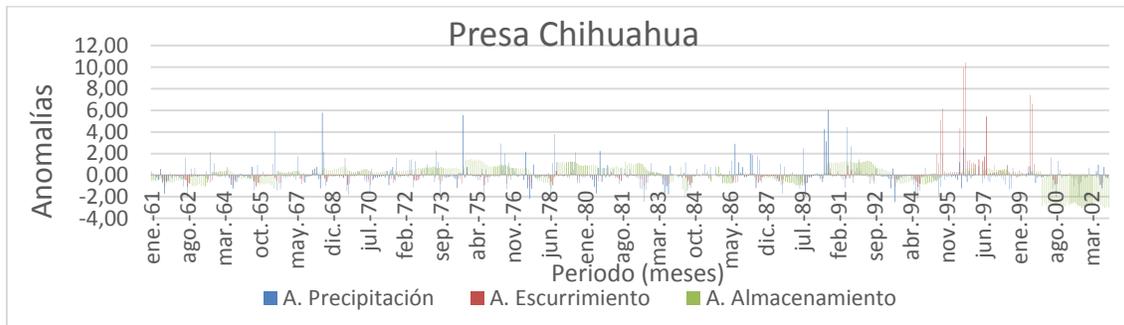
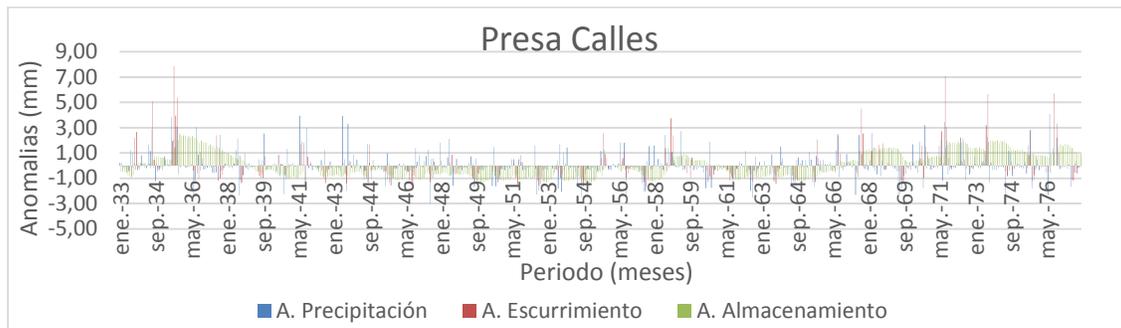
B. Datos Generales de las Presas de la muestra de estudio

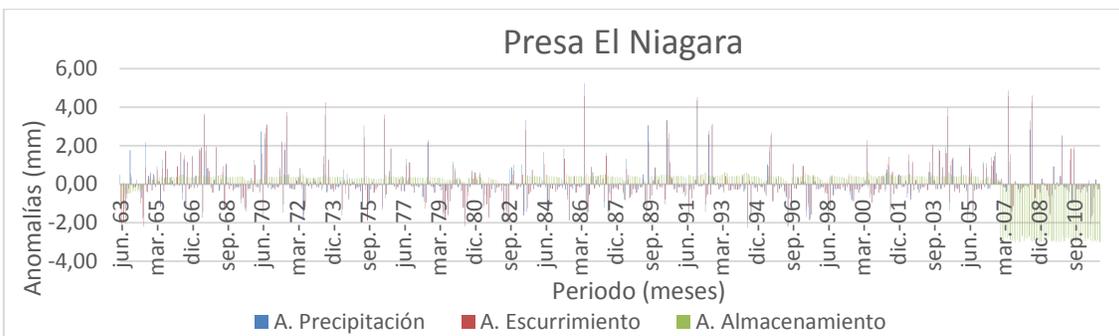
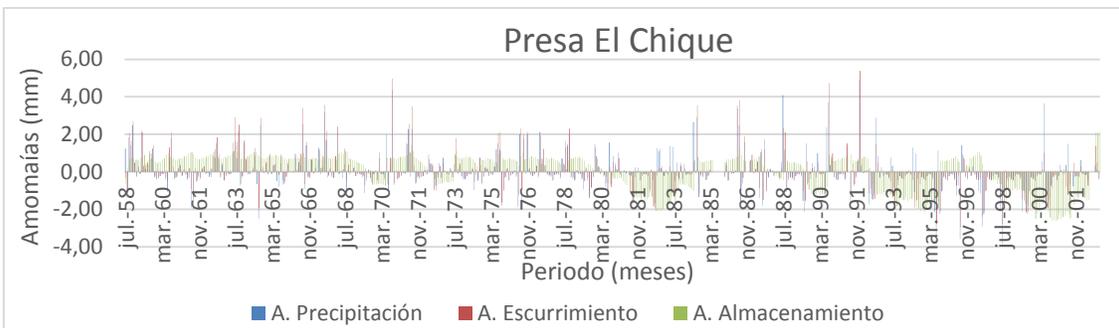
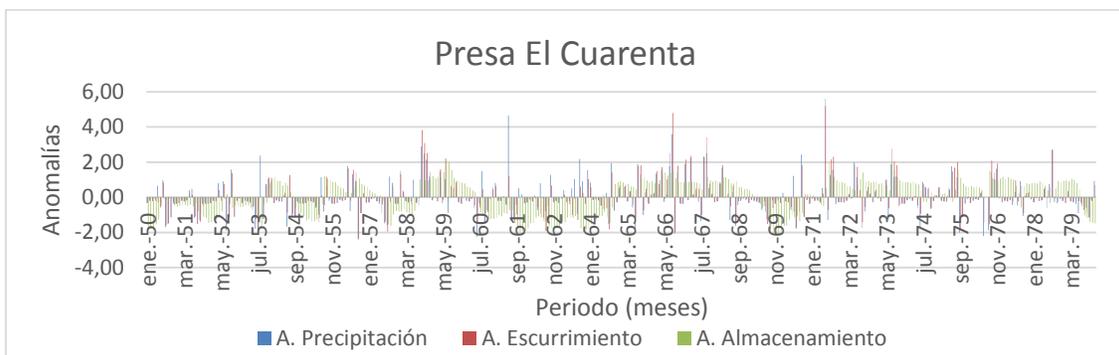
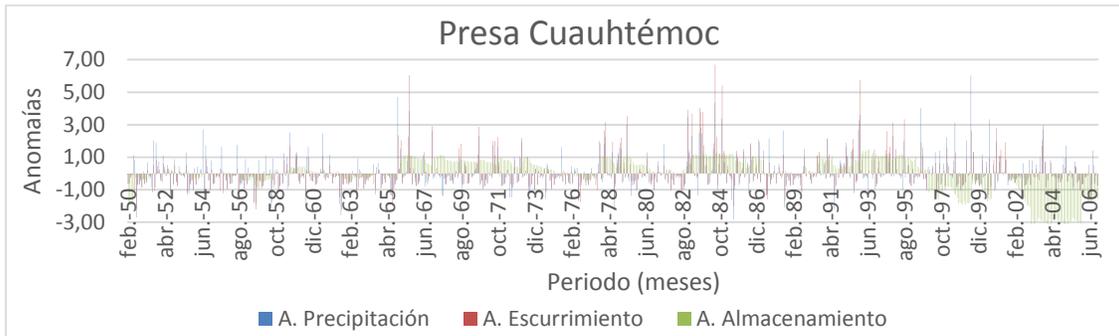
CLAVE	PRESA	Nombre Común	Ubicación	Municipio	Cuenca	Corriente	Área de la cuenca (km2)	Vol del NAMO (hm3)
005ALR	ABELARDO L. RODRÍGUEZ	Abelardo L. Rodríguez	Aguascalientes	Jesus María	Presa El Niagara	A. Morcinique	189,6	15,99
025ARC	ADOLFO RUÍZ CORTINES	Mocuzari	Sonora	Álamos	Río Mayo 2	R. Mayo	10762	950,3
035AOB	ÁLVARO OBREGÓN	Oviachic	Sonora	Cajeme	Río Yaqui 2	R. Yaqui	69590	2989,2
055CLL	PRESA CALLES	Calles	Aguascalientes	San José de Gracia	Presa Calles	R. Santiago	772	340
058CEP	JOSE LÓPEZ PORTILLO	El Comedero	Sinaloa	Cosala	Río San Lorenzo 1	Río San Lorenzo	8158	2580,19
060CHH	PRESA CHIHUAHUA	Chihuahua	Chihuahua	Chihuahua	Río conchos 3	R. Chuviscar	393	23,38
065COI	PRESA COINTZIO	Cointzio	Michoacan	Morelia	Lago de Cuitzeo	R. Grande de Morelia	486	76.800
075CUA	PRESA CUAUHTÉMOC	Santa Teresa	Sonora	Tabutama	Río Magdalena	R. Altar	2670	42
080CRT	PRESA EL CUARENTA	El Cuarenta	Jalisco	Lagos de Moreno	Presa El Cuarenta	R. Grande	2345	30
100CHI	PRESA EL CHIQUE	El Chique	Zacatecas	Tabasco	Presa El Chique	R. JUCHIPILA	2754	140
110NIA	PRESA EL NIAGARA	El Niagara	Aguascalientes	Aguascalientes	Presa El Niágara	R. San Pedro o Aguascalientes	577	16,3
120PRR	PRESA EL PARRAL	Parral	Chihuahua	Santa Barbara	Río Parral	R. Parral	370	4,3
140TIN	EL TINTERO	El Tintero	Chihuahua	Buenaventura	Río Santa Maria 1	R. Santa Maria	3826	138,48
146ERA	ESTUDIANTE RAMIRO CABALLERO	Las Animas	Tamaulipas	El Mante	Río Guayalejo 4	A. Las Animas	9643	571
155FIM	FRANCISCO I. MADERO	Las virgenes	Chihuahua	Rosales	Río San Pedro	R. San Pedro	10600	355,3
160FMA	PRESA MADERO	El Purgatorio	Hidalgo	Huichapan	Río Tecozautla	R. Hondo	290,4	25
165FVL	FRANCISCO VILLA	El Bosque	Durango	Poanas	Río Poanas	R. Poanas	1386	73
180GUA	PRESA GUARACHA	San Antonio	Michoacan	Villamar	Río Lerma 7	A Pino y El Cerezo	176	38,2
191IRR	IGNACIO L. ALATORRE	Punta de Agua	Sonora	Guaymas	Río Matape 1	R. San Marcial o Matape	3157	178
210JAA	JOSÉ ANTONIO ALZATE	San Bernabe	Estado de México	Temoaya	Río Lerma 1	R. Lerma	2108	34,5
215JOD	JOSEFA ORTIZ DE DOMÍNGUEZ	El Sabino	Sinaloa	El Fuerte	Río Fuerte 2	A. Alamo, Canal interconexior	2268	518,93
220AMG	LÁZARO CÁRDENAS	Angostura	Sonora	Nacozari de Garcia	Río Bavispe	R. Bavispe	18305	703
225BOQ	LA BOQUILLA	Lago Toronto	Chihuahua	San Francisco de Conchos	Río Conchos 1	R. Conchos	21003	2.894
235ESP	PRESA LA ESPERANZA	La Esperanza	Hidalgo	Cuautepec de Hinojosa	Río Grande de Tulancingo	R. Chico	157	3,92
285LCR	LÁZARO CÁRDENAS (palmito)	EL Palmito	Durango	INDE	Presa Lázaro Cárdenas	R. Nazas	18321	2957,61
290LRY	LEOBARDO REYNOSO	Goberndaor L. R. (Trujillo)	Zacatecas	Fresnillo	Presa Leobardo Reynoso	R. San Francisco o Los Lazos	1356	118
310MVC	MANUEL ÁVILA CAMACHO	Valsequillo o Balcon del Diablo	Puebla	Puebla	Río Alto Atoyac	R. Atoyac	3954	303,7
320MRG	MARTE R. GÓMEZ	El Azúcar	Tamaulipas	Camargo	Río San Juan 3	R. San Juan	32220	781,7
335PAG	PEÑA DEL ÁGUILA	Peña del Águila	Durango	Durango	Río La Saucedá	R. La Saucedá	2644	28
345PEC	PLUTARCO ELÍAS CALLES	El Novillo	Sonora	Soyopa	Río Yaqui 1	R. Yaqui	58200	2833,1
350PAL	PRESIDENTE ALEMÁN	Temascal	Oaxaca	San Miguel Soyaltepec	Río Tonto	R. Tonto	3286	8121,46
359REP	REPÚBLICA ESPAÑOLA	Real Viejo o El Sombrero	Tamaulipas	Aldama	Río San Rafael 1	R. San Rafael	463	55
360REQ	PRESA REQUENA	Requena	Hidalgo	Tula de Allende	Presa Requena	R. Tepeji	865	-
370RDG	PRESA RODRÍGUEZ	Tijuana o Abelardo L. Rodriguez	Baja California	Tijuana	Tijuana	R. Tijuana	2430	76,9
385SIL	SAN ILDEFONSO	El Tepozan	Queretaro	Amealco De Bonfil	Río Ñado	R. Prieto	387	48,31
395SAN	PRESA SANALONA	Sanalona	Sinaloa	Cualiacan	Río Tamazula	R. Tamazula	3280	673,47
420TAX	PRESA TAXHIMAY	Taxhimay	Estado de México	Villa del Carbon	Presa Requena	R. S Luis de las Peras	380	42,8
440TPX	PRESA TEPUXTEPEC	Tepuxtepec	Michoacán de Ocampo	Contepec	Río Lerma 2	R. Lerma	5643	384,32
460VCA	VENUSTIANO CARRANZA	Don Martin	Coahuila de Zaragoza	Juárez	Río Salado	R. Salado	41002	1312,86
475VIG	VICENTE GUERRERO	Las Adjuntas	Tamaulipas	Padilla	Área no aforada	R. Soto La Marina	14363	3910

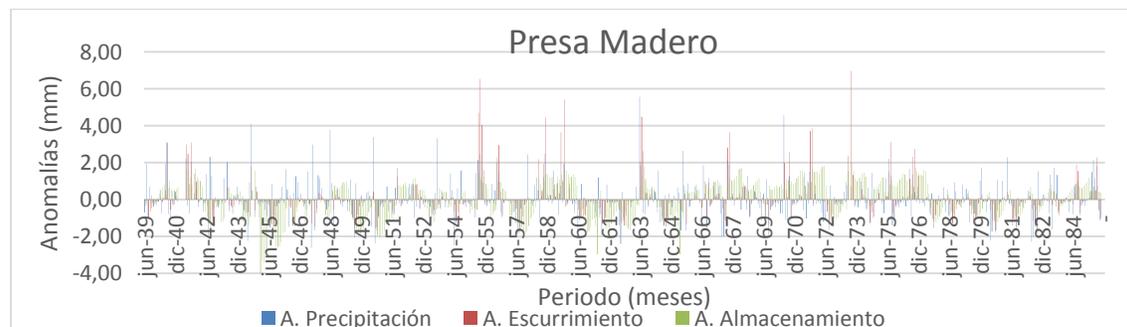
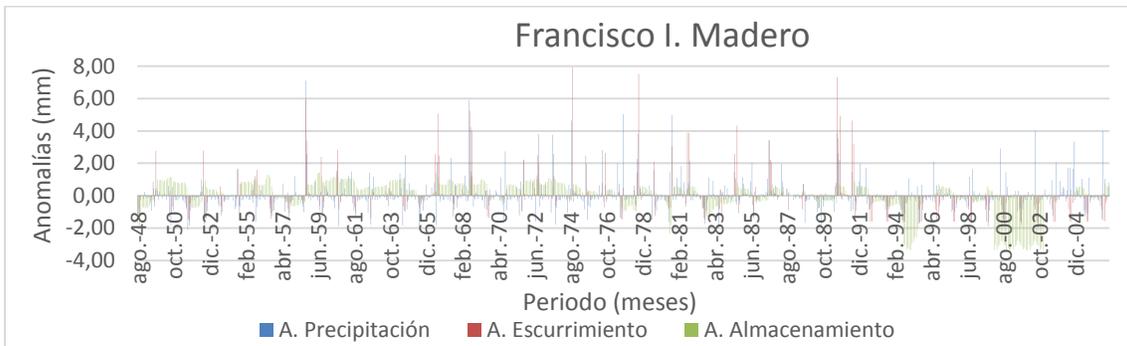
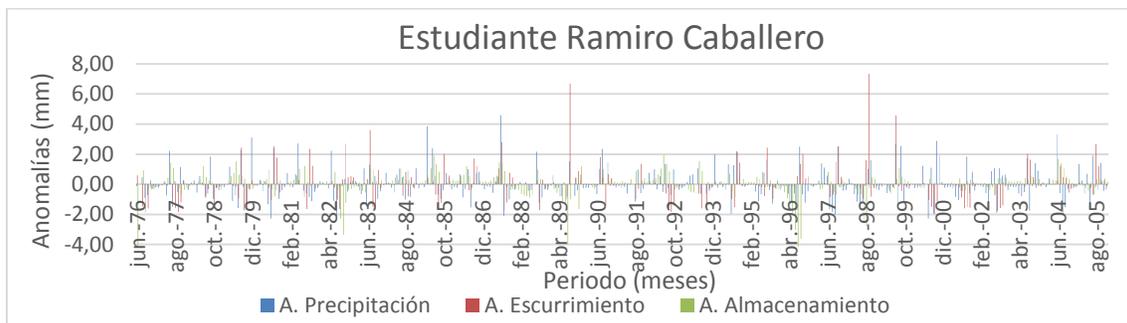
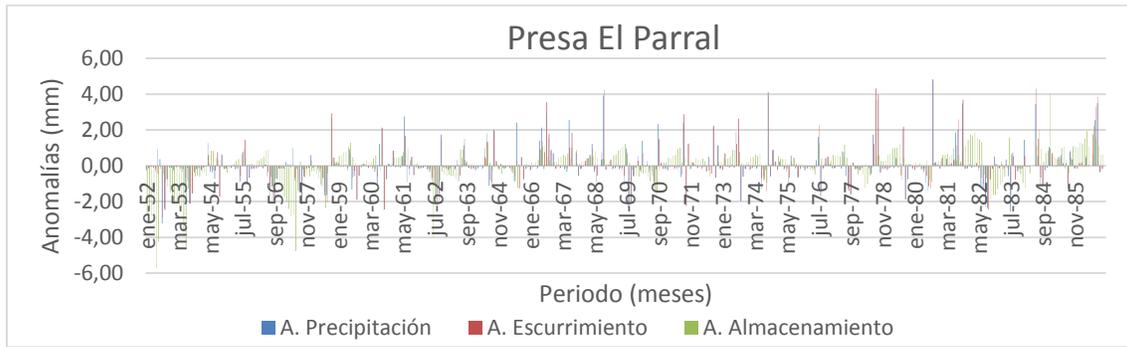


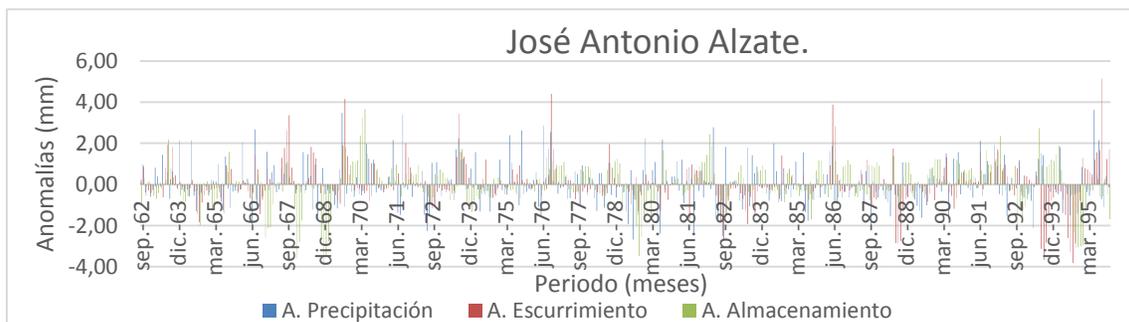
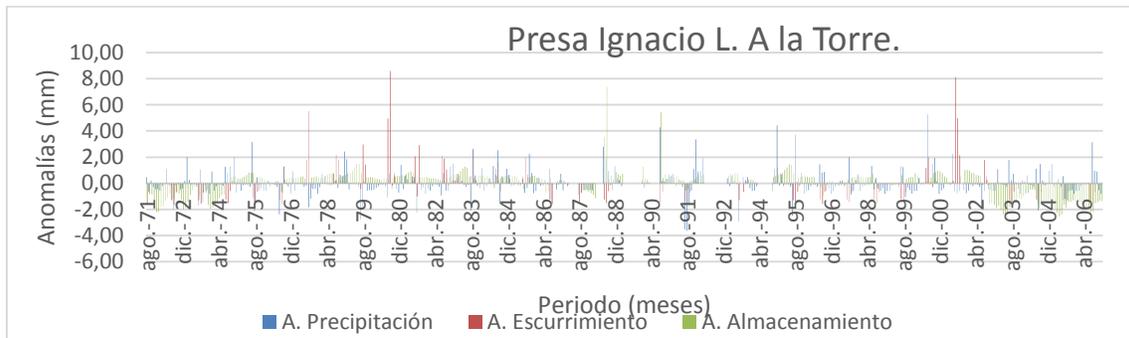
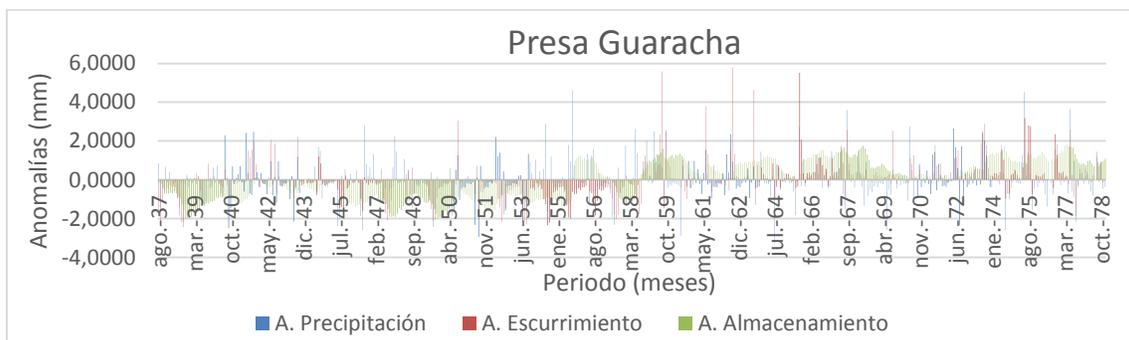
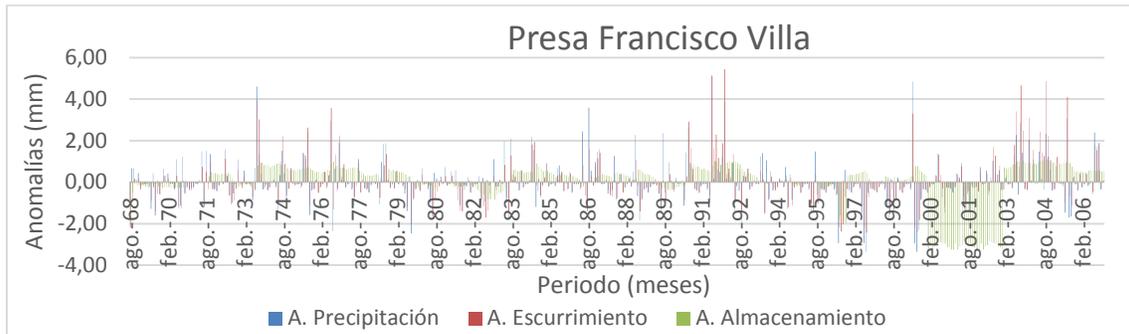
C. Histogramas de los valores de las anomalías mensuales normalizados, por cada presa.

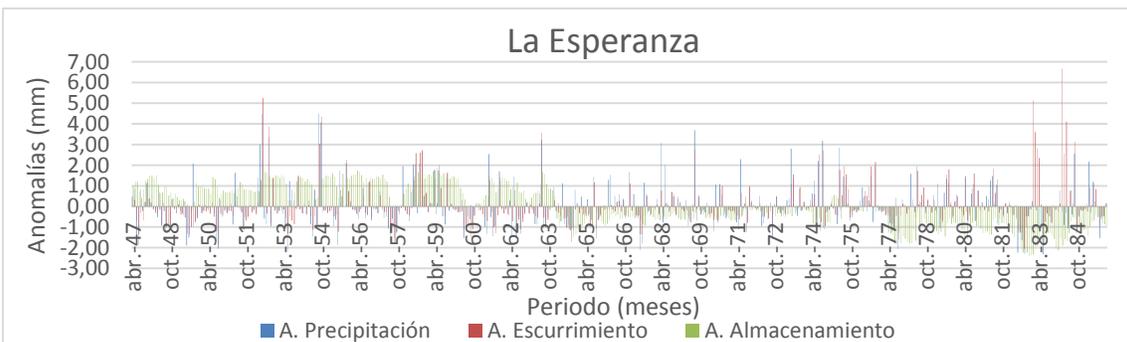
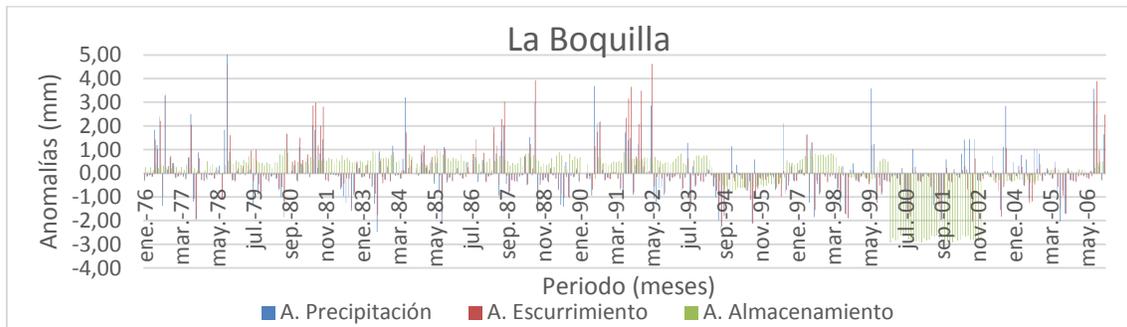
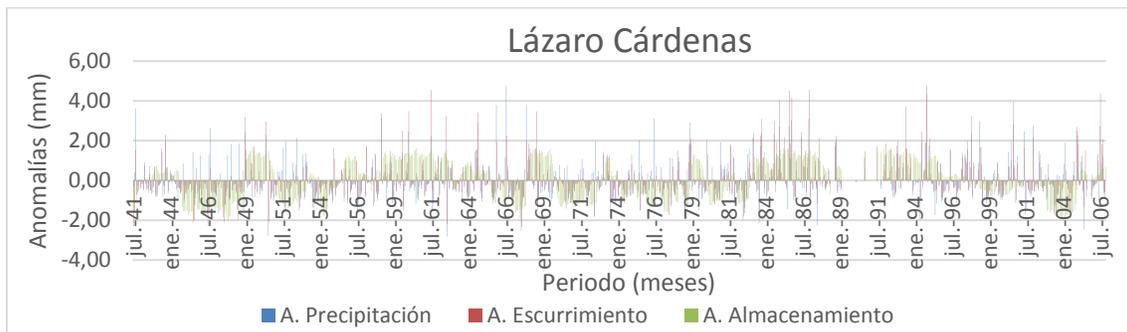
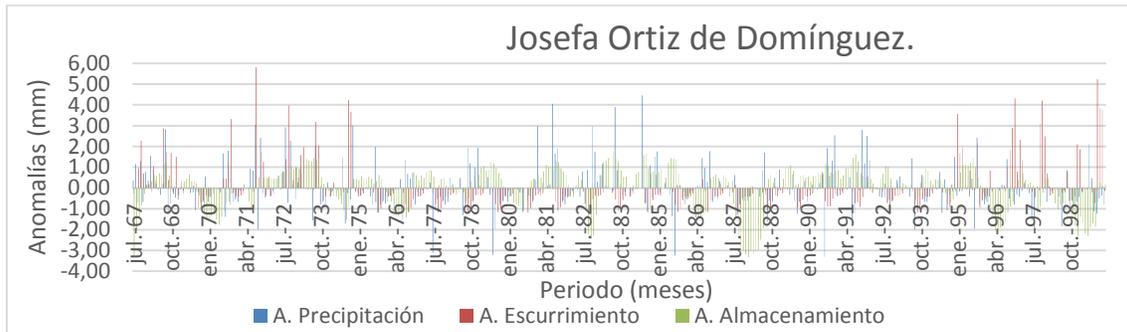


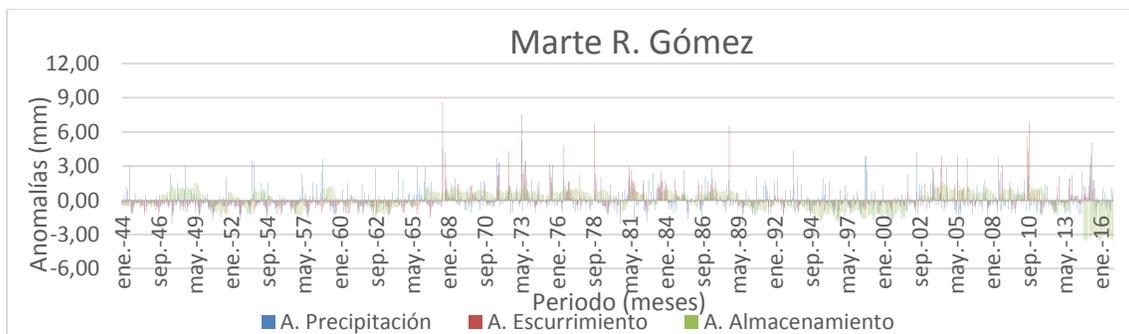
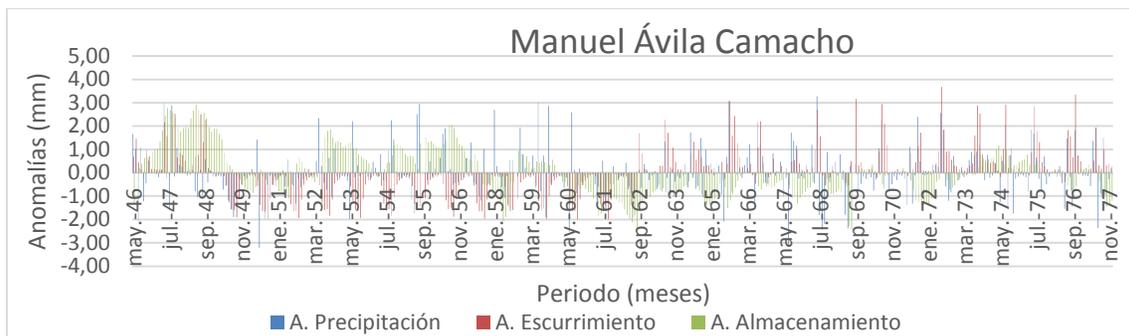
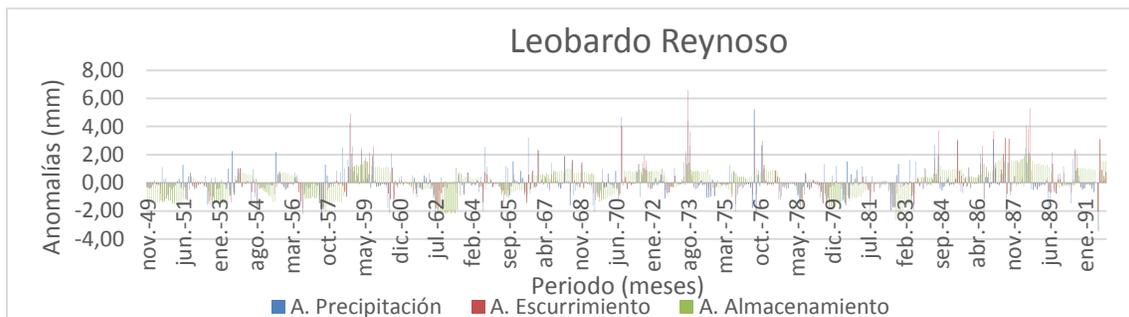
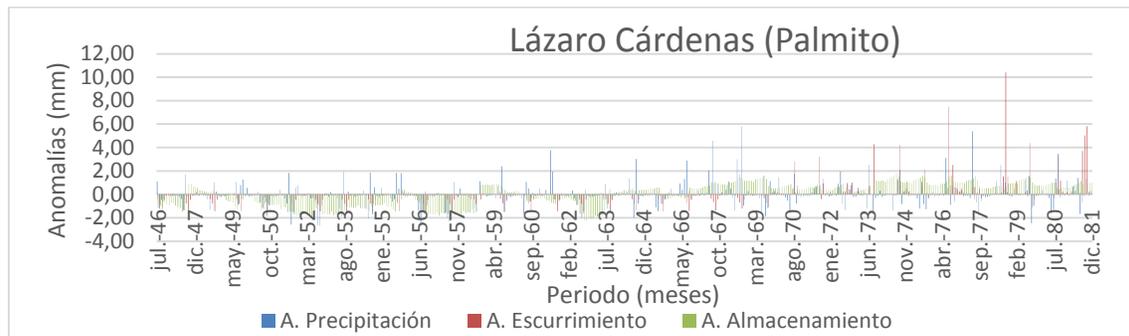


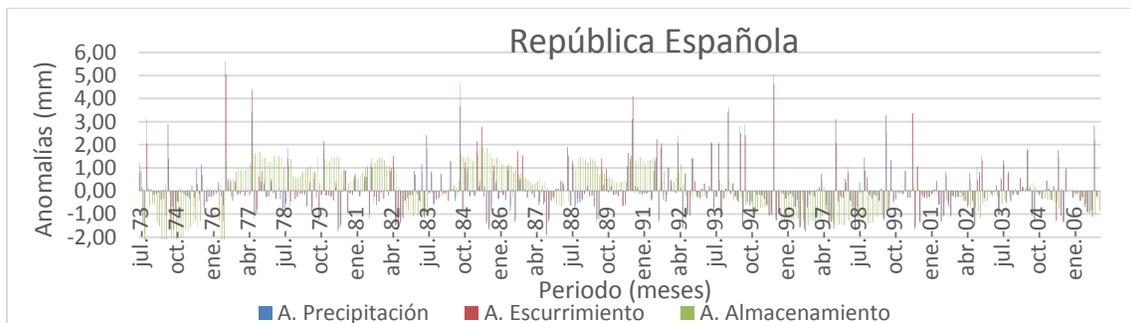
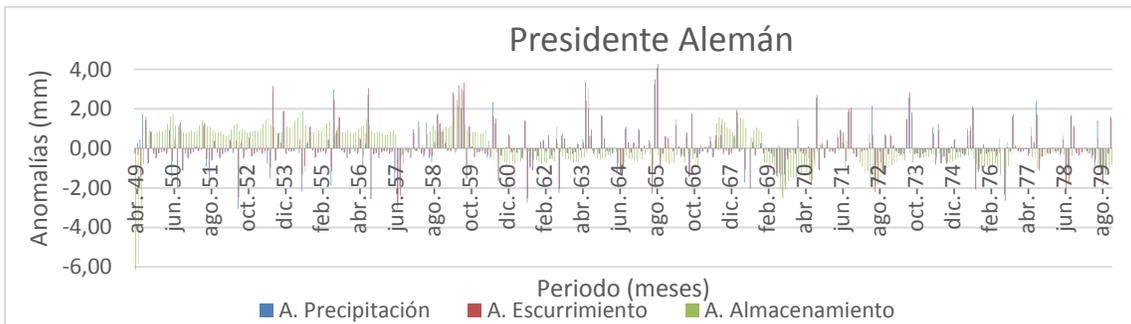
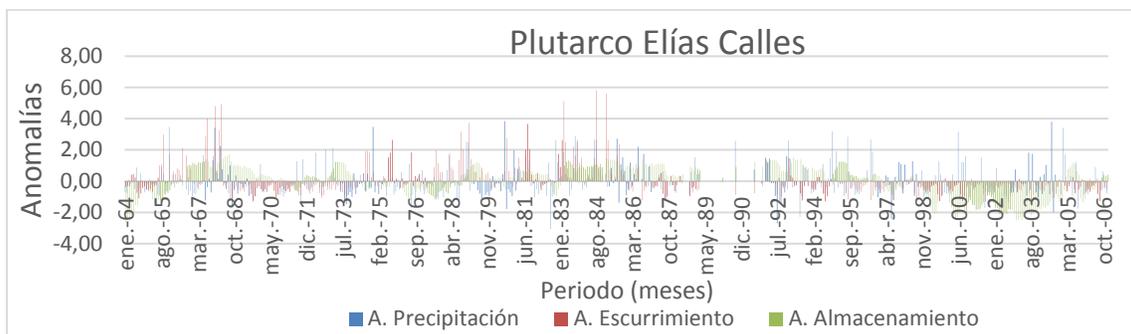
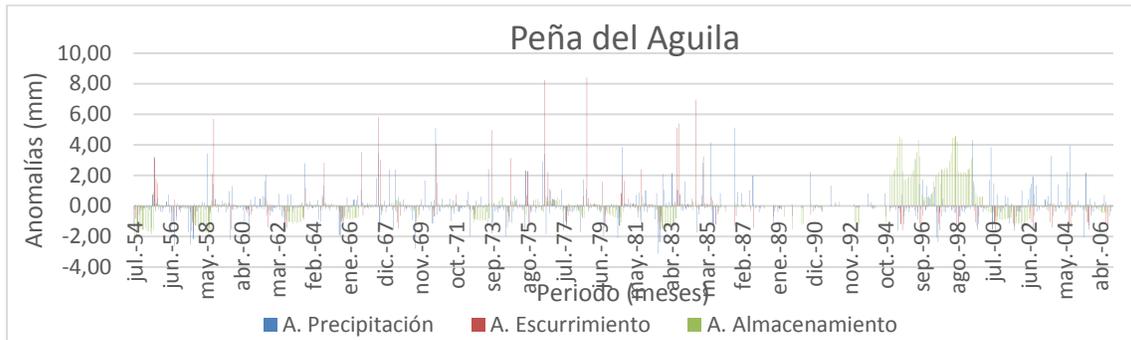


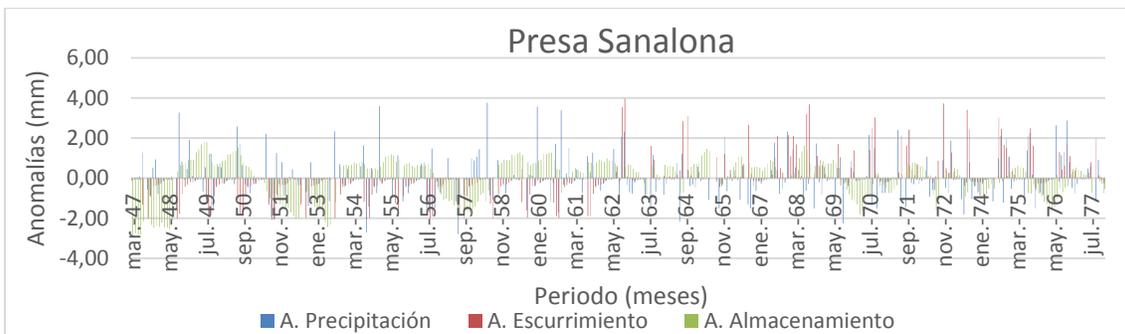
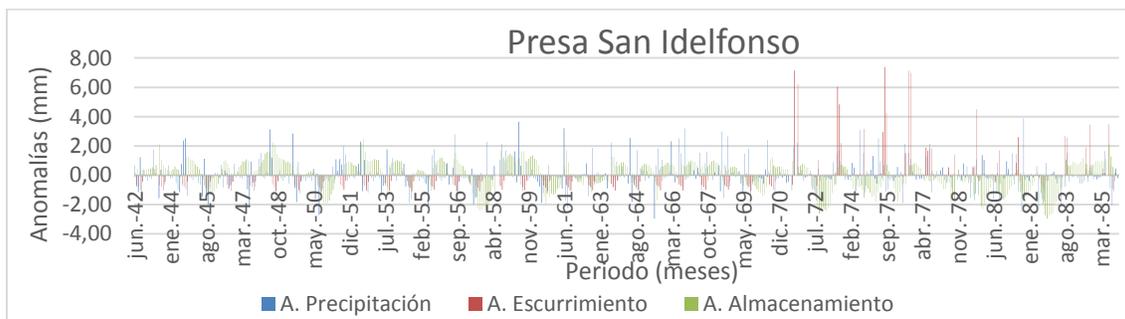
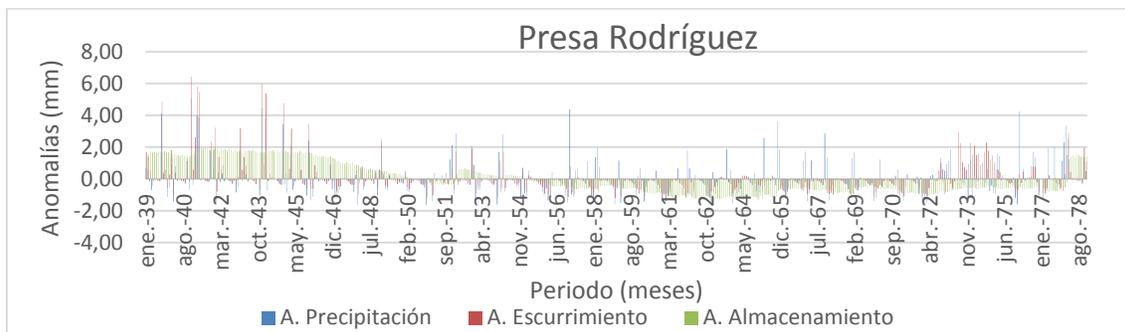
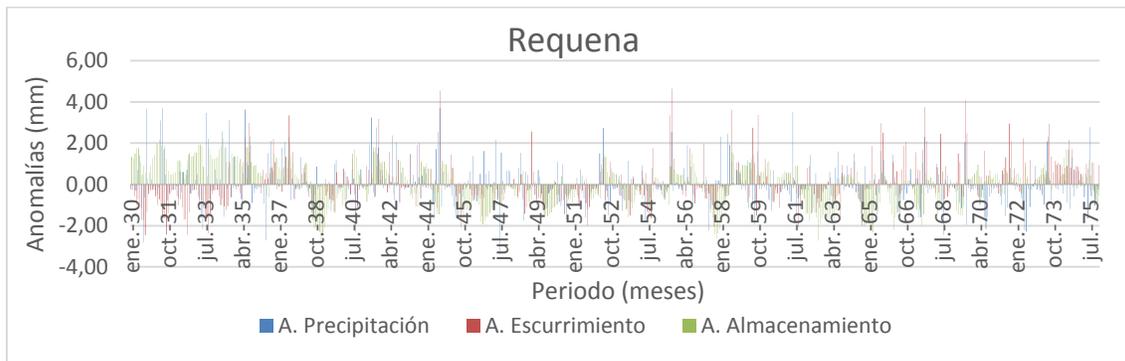


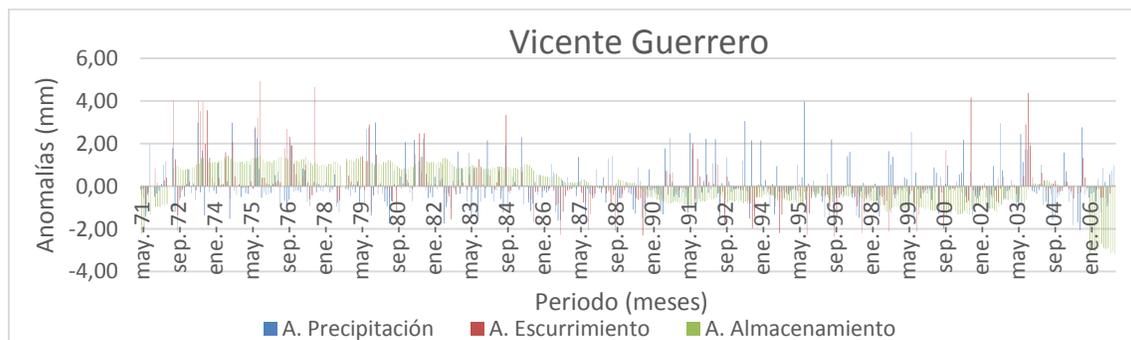
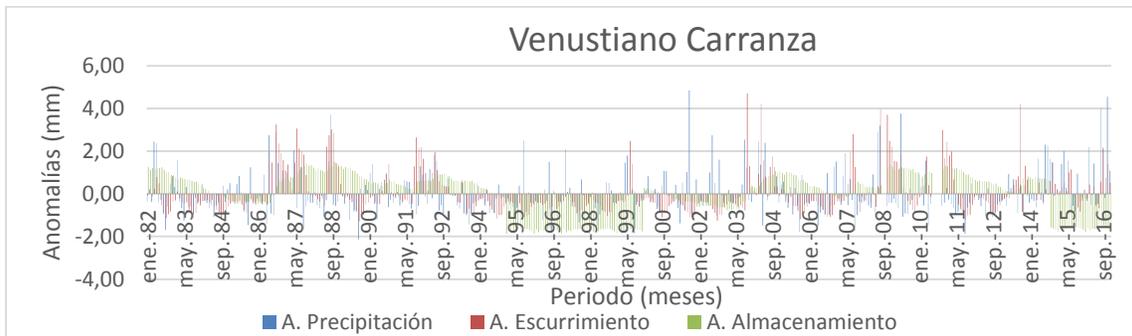
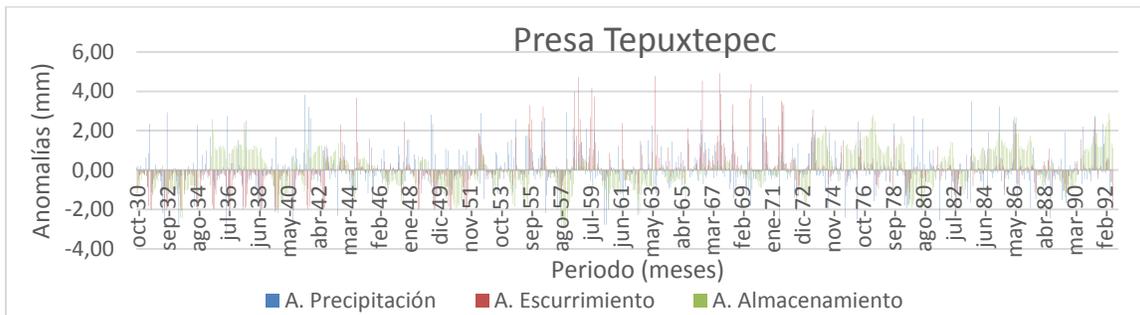
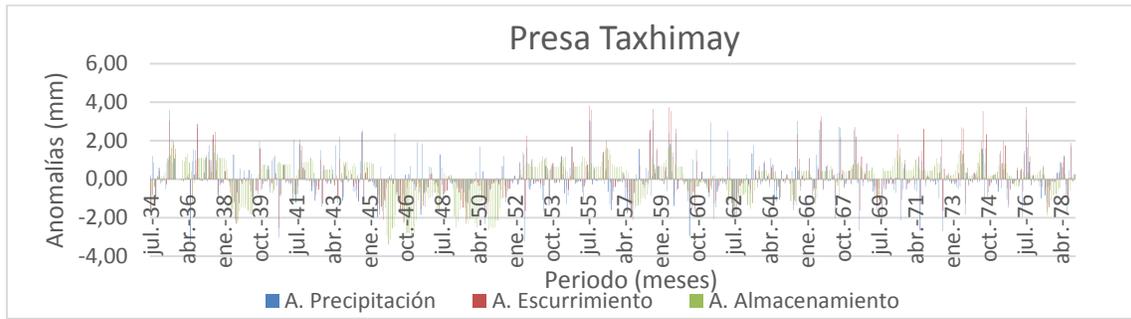














D. Resultados del número de eventos registrados

N. de Presas	Clave	Nombre de la Presa	Variable con el mayor declive			
			Precipitación	Escurrimiento	Almacenamiento	
1	005ALR	ABELARDO L. RODRÍGUEZ	N. eventos	8	2	6
			%	50,00	12,50	37,50
2	025ARC	ADOLFO RUIZ CORTINES	N. eventos	12	2	11
			%	48,00	8,00	44,00
3	035AOB	ÁLVARO OBREGÓN	N. eventos	4	4	7
			%	26,67	26,67	46,67
4	055CLL	PRESA CALLES	N. eventos	11	1	8
			%	55,00	5,00	40,00
5	058CEP	JOSÉ LÓPEZ PORTILLO	N. eventos	7	2	0
			%	77,78	22,22	0,00
6	060CHH	PRESA CHIHUAHUA	N. eventos	11	0	4
			%	73,33	0,00	26,67
7	065COI	PRESA COINTZIO	N. eventos	9	1	5
			%	60,00	6,67	33,33
8	075CUA	PRESA CUAUHTÉMOC	N. eventos	9	6	3
			%	50,00	33,33	16,67
9	080CRT	PRESA EL CUARENTA	N. eventos	9	1	3
			%	69,23	7,69	23,08
10	100CHI	PRESA EL CHIQUÉ	N. eventos	11	0	4
			%	73,33	0,00	26,67
11	110NIA	PRESA EL NIAGARA	N. eventos	13	4	2
			%	68,42	21,05	10,53
12	120PPR	PRESA EL PARRAL	N. eventos	8	2	6
			%	50,00	12,50	37,50
13	140TIN	EL TINTERO	N. eventos	6	0	4
			%	60,00	0,00	40,00
14	146ERA	ESTUDIANTE RAMIRO CABALLERO	N. eventos	10	0	1
			%	90,91	0,00	9,09
15	155FIM	FRANCISCO I. MADERO	N. eventos	17	1	5
			%	73,91	4,35	21,74
16	160FMA	PRESA MADERO	N. eventos	10	0	5
			%	66,67	0,00	33,33
17	165FVL	FRANCISCO VILLA	N. eventos	9	2	2
			%	69,23	15,38	15,38
18	180GUA	PRESA GUARACHA	N. eventos	7	2	7
			%	43,75	12,50	43,75
19	191IRR	IGNACIO L. ALATORRE	N. eventos	12	0	3
			%	80	0	20
20	210JAA	JOSÉ ANTONIO ÁLZATE	N. eventos	6	2	1
			%	66,67	22,22	11,11
21	215JOD	JOSEFA ORTIZ DE DOMÍNGUEZ	N. eventos	12	0	5
			%	70,59	0,00	29,41
22	220AMG	LÁZARO CÁRDENAS	N. eventos	12	2	7
			%	57,14	9,52	33,33
23	225BOQ	LA BOQUILLA	N. eventos	6	3	2
			%	54,55	27,27	18,18
24	235ESP	PRESA LA ESPERANZA	N. eventos	5	1	4
			%	50,00	10,00	40,00
25	285LCR	LÁZARO CÁRDENAS	N. eventos	7	0	9
			%	43,75	0,00	56,25
26	290LRY	LEOBARDO REYNOSO	N. eventos	8	1	2
			%	72,73	9,09	18,18
27	310MVC	MANUEL ÁVILA CAMACHO	N. eventos	6	3	1
			%	60,00	30	10,00
28	320MRG	MARTE R. GÓMEZ	N. eventos	13	3	8
			%	54,17	12,50	33,33
29	335PAG	PEÑA DEL ÁGUILA	N. eventos	12	1	2
			%	80,00	6,67	13,33
30	345PEC	PLUTARCO ELÍAS CALLES	N. eventos	6	1	3
			%	60,00	10,00	30,00
31	350PAL	PRESIDENTE ALEMÁN	N. eventos	8	0	3
			%	72,73	0,00	27,27
32	359REP	REPÚBLICA ESPAÑOLA	N. eventos	7	2	3
			%	58,33	16,67	25,00
33	360REQ	PRESA REQUENA	N. eventos	8	1	4
			%	61,54	7,69	30,77
34	370RDG	PRESA RODRÍGUEZ	N. eventos	7	4	8
			%	36,84	21,05	42,11
35	385SIL	SAN ILDEFONSO	N. eventos	8	0	5
			%	61,54	0,00	38,46
36	395SAN	PRESA SANALONA	N. eventos	10	0	3
			%	76,92	0,00	23,08
37	420TAX	PRESA TAXHIMAY	N. eventos	12	0	3
			%	80,00	0,00	20,00
38	440TPX	PRESA TEPUXTEPEC	N. eventos	13	2	5
			%	65,00	10,00	25,00
39	460VCA	VENUSTIANO CARRANZA	N. eventos	8	1	2
			%	72,73	9,09	18,18
40	475VIG	VICENTE GUERRERO	N. eventos	2	2	4
			%	25,00	25,00	50,00