



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTIMACIÓN DE DATOS FALTANTES EN LOS
REGISTROS HIDROLÓGICOS EMPLEANDO LA TÉCNICA
DE REGRESIÓN LINEAL SIMPLE. APLICACIÓN EN LA
REGIÓN HIDROLÓGICA 26.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A N:

**ERICK FREYERMUTH MILLÁN
ARMANDO ROBLES VALVERDE**



**DIRECTOR DE TESIS:
DRA. LILIA REYES CHÁVEZ
2014**



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA
COMITÉ DE TITULACIÓN
FING/DICyG/SEAC/UTIT/11/2014

Señores
ARMANDO ROBLES VALVERDE
ERICK FREYERMUTH MILLAN
Presente.

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso la profesora **DRA. LILIA REYES CHÁVEZ**, que aprobó este Comité, para que lo desarrollen conforme a la opción I. "Titulación mediante tesis o tesina y examen profesional", para obtener su título de **INGENIERO CIVIL**.

"ESTIMACIÓN DE DATOS FALTANTES EN LOS REGISTROS HIDROLÓGICOS EMPLEANDO LA TÉCNICA DE REGRESIÓN LINEAL SIMPLE. APLICACIÓN EN LA REGIÓN HIDROLÓGICA 26."

INTRODUCCIÓN

- I. LA ADMINISTRACIÓN HIDROLÓGICA EN MÉXICO Y LA INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA.
 - II. LLUVIAS CICLÓNICAS E INUNDACIONES.
 - III. DETERMINACIÓN DEL RIESGO ANTE LOS FENÓMENOS NATURALES Y POLÍTICAS DE ACCIÓN CUANDO OCURRE DESASTRES HUMANOS EN MÉXICO.
 - IV. TÉCNICAS ESTADÍSTICAS EMPLEADAS EN EL ANÁLISIS DE REGISTROS HISTÓRICOS DE GASTOS Y PRECIPITACIONES.
 - V. OBTENCIÓN DE LOS DATOS FALTANTES EN LOS REGISTROS DE OCHO ESTACIONES PERTENECIENTES A LA REGIÓN HIDROLÓGICA 26.
 - VI. CONCLUSIONES Y/O RECOMENDACIONES.
- BIBLIOGRAFÍA**

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cd. Universitaria a 27 de febrero de 2014
EL PRESIDENTE DEL COMITÉ

M. EN I. JOSÉ LUIS TRIGOS SUÁREZ

JLTS/MTH*mm

Vo Bo.

ING. SERGIO MANUEL ROBLES
11-03-2014

Vo Bo

Dra Lilia Reyes Chávez
03-03-2014

Dr. Cristóbal Escobedo S.
03-03-2014

Roberto Sierra
04/03/14.

Edgar G. Masuda B.
6/03/14

Agradecimientos

Primeramente quisiéramos agradecer a la Universidad Nacional Autónoma de México, por habernos enseñado que para ser un buen profesionista se debe ser primero un ser humano coherente en sus pensamientos y acciones.

A la Dra. Lilia, nuestra tutora y amiga, por introducirnos al hermoso mundo de la hidráulica y aceptarnos como sus tesistas, brindándonos su total confianza y parte de su valioso tiempo.

Un agradecimiento especial para nuestros sinodales que con sus invaluable comentarios, nos ayudaron a enriquecer nuestro trabajo para hacerlo mejor.

Queremos agradecer a nuestros padres, hermanos, familiares y amigos por habernos apoyado durante todo nuestro tiempo en la universidad y haber estado con nosotros en todo momento.

A todos ustedes muchas gracias.

Armando y Erick.

INTRODUCCIÓN.....	1
1. LA ADMINISTRACIÓN HIDROLÓGICA EN MÉXICO Y LA INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA	4
1.1 Regiones hidrológicas.....	4
1.2. Regiones Hidrológico-Administrativas.....	8
1.3. Principales Ríos en la República Mexicana	11
1.4. Infraestructura Hidráulica en México.....	13
1.4.1 Presas y bordos.....	13
1.4.2. Infraestructura hidroagrícola.....	20
1.4.3 Acueductos.....	25
1.4.4. El Sistema Cutzamala	27
2. LLUVIAS CICLÓNICAS E INUNDACIONES	29
2.1 Ciclones tropicales.....	29
2.1.1 Clasificación y Trayectoria.....	30
2.2. Inundaciones.	36
2.3. Cuantificación de la Precipitación y escurrimiento.....	38
2.3.1. Estaciones Climatológicas.....	38
2.3.2. Estaciones Hidrométricas.....	40
2.4. Zonas de Riesgo en la República Mexicana.....	43
2.4.1. Acciones estructurales para evitar o reducir inundaciones.....	46
2.5. Eventos Hidrometeorológicos Ingrid y Manuel.....	47
2.5.1. Cronología de los ciclones. Prensa Nacional.	49
2.5.1.1 Ciclón Manuel. Monitoreo Por CONAGUA.....	51
2.5.1.1.1. Destrucción causada por Manuel	53
2.5.1.2. Ciclón Ingrid. Monitoreo por CONAGUA.....	54
2.5.1.2.1 Destrucción causada por Ingrid.	56
3. DETERMINACIÓN DEL RIESGO ANTE LOS FENÓMENOS NATURALES Y POLÍTICAS DE ACCIÓN CUANDO OCURREN DESASTRES HUMANOS EN MÉXICO	58
3.1. El Riesgo y sus componentes.....	58
3.1.1 Peligro	59
3.1.2. Exposición	60
3.1.3. Vulnerabilidad.....	61
3.2. Implicaciones socio-económicas de los desastres.....	62

3.2.1. Evaluación del impacto socioeconómico de los desastres	62
3.3. Sistemas de alerta temprana	63
3.3.1. Sistema de Alerta Temprana de Ciclones Tropicales	64
3.3.1.1 Etapas y Acciones. Fase de Acercamiento.....	65
3.3.1.2 Etapas y Acciones. Fase de Alejamiento.....	66
3.4. Acciones del gobierno mexicano ante los desastres naturales.....	67
3.4.1. Planes de mitigación, prevención y reacción ante un desastre natural.	67
3.4.1.1. Plan de defensa nacional (Plan DN-III).....	67
3.5. Sistema Nacional de Protección Civil (SINAPROC).....	69
3.5.1. Estructura organizacional de protección civil en México.....	70
3.6. Fondo de Desastres Naturales de México (FONDEN).....	70
3.6.1. Instrumentos Financieros del FONDEN.....	71
3.6.1.1. Programa FONDEN para la Reconstrucción:.....	71
3.6.1.2. Fideicomiso FONDEN.....	72
3.6.1.3. Fondo para la Atención de emergencias FONDEN	72
3.6.1.4. FOPREDEN	72
3.6.1.5. FIPREDEN.....	72

4. MODELOS ESTADÍSTICOS EMPLEADOS EN EL ANÁLISIS DE REGISTROS HISTÓRICOS DE GASTOS Y PRECIPITACIONES..... 73

4.1. Pruebas de homogeneidad.....	73
4.1.1. Prueba estadística de Helmer	73
4.1.2 Prueba estadística t de Student.....	74
4.1.3. Prueba estadística de Cramer	74
4.2. Prueba de independencia de eventos.....	75
4.3. Distribuciones de probabilidades univariadas	76
4.3.1. Distribución exponencial con parámetro β	76
4.3.2. Distribución exponencial de dos parámetros.....	77
4.3.3. Distribución Normal	77
4.3.4. Distribución Lognormal con dos parámetros	78
4.3.5. Distribución Lognormal con tres parámetros	78
4.3.6. Distribución Gamma con dos parámetros.....	78
4.3.7. Distribución Gamma con tres parámetros	79
4.3.8. Distribución LogPearson tipo III.....	80
4.3.9. Distribución de Valores Extremos Tipo I (Gumbel).....	80

4.4. Determinación de los parámetros y eventos de diseño para las Distribuciones de probabilidades univariadas	81
4.4.1. Distribución exponencial con parámetro β	81
4.4.2. Distribución exponencial con parámetros β y x_0	81
4.4.3. Distribución Normal	81
4.4.4. Distribución Lognormal con dos parámetros	82
4.4.5. Distribución Lognormal con tres parámetros	83
4.4.6. Distribución Gamma de dos parámetros	84
4.4.7. Distribución Gamma con tres parámetros	84
4.4.8. Distribución LogPearson tipo III.....	85
4.4.9. Distribución de Valores Extremos Tipo I (Gumbel).....	86
4.5. Prueba de bondad de ajuste	86
4.6. Análisis de correlación y regresión lineal	87
4.6.1. Proceso de normalización de Box-Cox de doble potencia.....	87
4.6.2 Regresión lineal simple	89
5. OBTENCIÓN DE LOS DATOS FALTANTES EN LOS REGISTROS DE OCHO ESTACIONES PERTENECIENTES A LA REGIÓN HIDROLÓGICA 26	93
5.1. Descripción del sitio de estudio.....	93
5.1.1 Descripción de los Ríos.....	93
5.1.2 Descripción de las estaciones Hidrométricas	95
5.2 Determinación de los datos faltantes en los registros de las estaciones en estudio ..	100
5.2.1 Empleo de la media anual	100
5.2.2 Empleo de Regresión Lineal Simple.....	101
5.3. Evaluación de la aleatoriedad y estacionariedad de los registros hidrológicos	105
5.3.1 Determinación de la Independencia para los Gastos Máximos Anuales	105
5.3.2 Determinación de la Homogeneidad para los Gastos Máximos Anuales	115
5.4 Obtención de la Mejor Función de Ajuste para las ocho estaciones en estudio	122
5.4.1 Estimación de los eventos de Diseño.....	126
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	131
BIBLIOGRAFÍA.....	133
ANEXO A	139

INTRODUCCIÓN

Las inundaciones han sido uno de los eventos que causan estragos importantes en el ámbito económico-social en nuestro país, ya que las afectaciones que producen se reflejan en la vida y actividad diaria del territorio nacional.

Cada año las inundaciones producen desastres, ya que las diversas actividades humanas van deteriorando la mayoría de las cuencas y cauces de los ríos, un ejemplo de esto es la presencia de depósitos de basura en los cauces, la obstrucción de drenajes naturales, el aumento de la pérdida de suelo como consecuencia de talas clandestinas, y la urbanización de la parte baja de la cuenca sitios que son propensos a inundaciones ante la ocurrencia de lluvias torrenciales.

Los desastres representan, para el Gobierno de México, un costo altamente variable y con frecuencia significativo en el ámbito federal y estatal. El costo que los desastres tienen para los gobiernos locales varía entre entidades federativas, activos y tipos de desastres; la mayor parte de los costos se utiliza para la reconstrucción de activos públicos clave, principalmente carreteras, **infraestructura hidráulica** y vivienda de población de escasos recursos y los principales peligros naturales que ocasionan dichos costos son los **huracanes e inundaciones**.

Mención especial merecen las inundaciones y daños causados por los huracanes Ingrid y Manuel, sucedidos en el mes de septiembre del 2014 los cuales causaron grandes estragos en el territorio nacional. En los últimos cincuenta años, México no había sido afectado por fenómenos meteorológicos que se presentaran al mismo tiempo en océanos diferentes. <http://www.animalpolitico.com/2013/09/mexico-territorio-de-ingrid-y-manuel/#ixzz2wqcHMAAf>

A nivel nacional, las inundaciones provocadas por Ingrid y Manuel generaron daños en un total de 1.5 millones de casas en 22 de los 32 estados del país y afectaron severamente al menos 72 carreteras, según los primeros cálculos oficiales.

El gobierno de México, tendrá que desembolsar sólo para rehabilitar las carreteras 40,000 millones de pesos según Comunicaciones y Transportes. <http://eleconomista.com.mx/sociedad/2013/09/21/reconstruccion-reto-mexico-despues-ingrid-manuel>

Para tener una idea de los perjuicios que produce un fenómeno meteorológico, en 2007 los daños de las inundaciones en Tabasco fueron equivalentes a unos 700 mdd, según las proyecciones preliminares que dio a conocer en octubre de ese año la Asociación Mexicana de Instituciones de Seguros (AMIS).

El huracán 'Wilma', que azotó en octubre de 2005 las costas de Quintana Roo y afectó severamente Cancún, se colocó como el mayor desastre para la industria aseguradora, con daños equivalentes a 1,752 mdd.

En su estudio Indicadores de Riesgo de Desastre y Gestión de Riesgos, publicado en 2010, el BID señaló que los fenómenos naturales cuya amenaza tiene mayor importancia para el país son los terremotos y los huracanes. Mayoral, 2013.

Desde mediados de la década de los ochenta, la tendencia principal en el tema de la intervención relacionada con los desastres, ha sido a favor de visiones más amplias sobre el problema y con tendencias a la formulación de **políticas, estrategias e instrumentos** de intervención sobre lo que hoy en día se conoce como la gestión del riesgo.

El propósito de los planes de atención a emergencias es distribuir un cuerpo de tareas claro, concreto y conciso con acciones detalladas, para la atención de emergencias hidrometeorológicas antes, durante y después de un evento extremo que afecta dentro de la jurisdicción del Organismo de Cuenca o Dirección Local de que se trate.

Dentro del ámbito hidrológico, también existe la problemática de no poder contar con registros del comportamiento de los volúmenes de agua que provocan las inundaciones debido a múltiples factores como pueden ser: el deterioro o pérdida de la instrumentación durante la ocurrencia del evento, imposibilidad de poder acceder al sitio de medición para la recopilación de la información o no contar con una estación hidrométrica en el sitio afectado.

Otro caso que se puede presentar es contar con un registro incompleto de la variable hidrológica de interés. En ambos casos se tendrá un periodo de mayor incertidumbre que se verá reflejado en la proyección o revisión de las obras civiles.

Para reducir la incertidumbre que genera esta carencia de valores, se ha considerado en algunas ocasiones que el valor de la media anual puede ser adecuado para ocupar los espacios carentes de información. Conforme han pasado los años, otras técnicas estadísticas han sido aplicadas en el campo de la hidrología proporcionando valores del comportamiento de las variables sustentado en el razonamiento matemático, sin embargo, no han sido tan aplicadas por algunos especialistas.

El objetivo de este trabajo es demostrar y resaltar la importancia de trabajar con las herramientas estadísticas y matemáticas para la determinación de datos faltantes, en particular con el método de Regresión Lineal Simple contrastando los resultados obtenidos con los valores de los registros rellenados con el valor de la media.

Para tratar de visualizar la importancia del empleo de las herramientas anteriormente presentadas, el presente trabajo se estructuró de la siguiente forma:

El capítulo uno incluye los aspectos fundamentales de cómo es la administración hidrológica en México y la infraestructura hidráulica existente, con la finalidad de comprender la organización del recurso y la magnitud de las obras hidráulicas existentes, mismas que pueden presentar daños ante las inundaciones.

En el capítulo dos se describen las características más importantes del evento hidrometeorológico extremo conocido como huracán, la definición del concepto de inundación, dado que una de las consecuencias que se pueden presentar ante los volúmenes de agua que traen consigo los ciclones. También se dedica un subcapítulo a los Huracanes Ingrid y Manuel cuya ocurrencia fue en

septiembre del 2013 ya que abarcaron el 90% del territorio Nacional presentándose grandes pérdidas humanas y económicas.

En el capítulo tres se aborda el concepto de riesgo, sus componentes y la clasificación del grado de afectación así como los planes de acción que pone en marcha el Gobierno Federal y Estatal.

El capítulo cuatro describe una parte de la teoría estadística como son el empleo de algunas de funciones de distribución empleadas en la hidrología para la representación de las variables hidrometeorológicas, el concepto e importancia de la homogeneidad e independencia de las variables en estudio, así como la técnica de regresión lineal simple, misma que será empleada para la obtención de datos faltantes en los registros históricos.

El capítulo cinco presenta la aplicación, en ocho estaciones de la Región Hidrológica 26, de los modelos matemáticos mencionados anteriormente, se rellenarán los datos faltantes de los registros considerando dos casos, el primero rellenando los datos faltantes de los registros con el valor medio anual y el segundo considerando la técnica de Regresión Lineal Simple para obtener los datos faltantes, posteriormente se compararán los valores obtenidos por ambas metodologías.

Finalmente en el capítulo seis se plantean las conclusiones y/o recomendaciones que se derivan de los resultados obtenidos en el capítulo anterior.

1. LA ADMINISTRACIÓN HIDROLÓGICA EN MÉXICO Y LA INFRAESTRUCTURA HIDRÁULICA

Los Estados Unidos Mexicanos cuentan con una extensión territorial de 1, 964, 375 km²; la cual se encuentra ubicada entre los meridianos 118°22' y 86°42' de longitud oeste y entre las latitudes 14°32' y 32°43' norte.

Los climas en México son variados. El suroeste es húmedo, con precipitaciones promedio mayores a los 2,000 mm por año; mientras que el resto del país, dos terceras partes aproximadamente, se consideran áridas o semiáridas y en las cuales las precipitaciones anuales promedio son menores a los 500 mm.

Por lo anterior el comportamiento del volumen de escurrimiento es variable, mientras en el sureste del país se presentan escurrimientos todo el año, en el norte se presenta carencia o escasez del mismo.

En este capítulo se explicará, de manera breve, cómo se realiza la administración de los recursos hidrológicos, qué organismo es el encargado de la administración y cuál es la principal infraestructura hidráulica con la que se cuenta en el país.

Considerando el aspecto hidrológico se definirá y explicará el concepto de Ciclones o Huracanes ya que en nuestro país estos fenómenos naturales son los que provocan los principales daños a nivel económico-social y se terminará mencionando cuáles son las zonas potencialmente inundables ante volúmenes súbitos de escurrimiento.

1.1 Regiones hidrológicas.

La superficie terrestre que aporta escurrimiento superficial a algún punto de interés se denomina **cuenca**.

Las cuencas se pueden definir a través de un conjunto de reglas sobre las características topográficas del medio físico, denominándose entonces **cuencas hidrográficas**.

Las cuencas también se pueden definir a partir de puntos de drenaje tales como presas, confluencias de ríos o estaciones hidrométricas con el fin de calcular la disponibilidad del agua, denominándose entonces **cuencas hidrológicas**.



Figura 1.1. Ejemplo de cuenca hidrográfica e hidrológica respectivamente. Imagen tomada de Cuencas Hidrográficas <http://hidrografianurr.blogspot.mx>

En el país se han identificado 1,471 cuencas hidrográficas, esto según lo dicho tanto por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y el Instituto Nacional de Ecología (INE). Para poder informar la disponibilidad de agua superficial, estas cuencas hidrográficas se han agrupado en cuencas hidrológicas. CONAGUA, 2011.

Para el 31 de diciembre del año 2010, se había publicado la disponibilidad de 726 cuencas hidrológicas; las cuales se encuentran organizadas en 37 regiones hidrológicas, que a su vez están distribuidas en las 13 regiones hidrológico-administrativas.

En la Figura 1.2 se muestra la ubicación de las Regiones Hidrológicas y en la tabla 1.1 se describen algunas de las características hidrológicas.

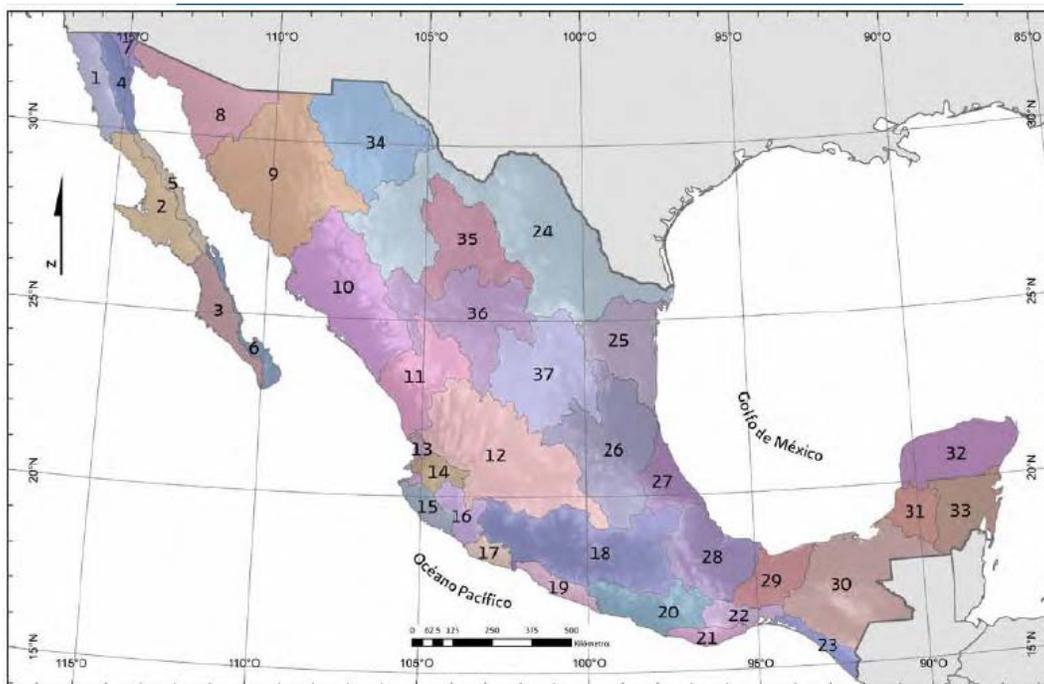


Figura 1.2. Regiones hidrológicas en México. CONAGUA 2012

Nombre de Región hidrológica	Extensión territorial continental (km ²)	Precipitación normal anual 1971-2000 (mm)	Escorrentamiento natural medio superficial interno (hm ³ /año)	Importaciones (+) o exportaciones (-) de otros países (hm ³ /año)	Escorrentamiento natural medio superficial total (hm ³ /año)	Número de cuencas hidrológicas
1. B.C. Noroeste	28,492	249	359		359	16
2. B.C. Centro-Oeste	44,314	103	449		449	16
3. B.C. Suroeste	29,722	184	318		318	15
4. B.C. Noreste	14,418	190	105		105	8
5. B.C. Centro-Este	13,626	101	53		53	15
6. B.C. Sureste	11,558	274	219		219	14
7. Río Colorado	6,911	107	80	1,850	1,930	4
8. Sonora Norte	61,429	304	139		139	5
9. Sonora Sur	139,370	505	4,934		4,934	16
10. Sinaloa	103,483	713	14,350		14,350	23
11. Presidio-San Pedro	51,717	818	8,299		8,299	23
12. Lerma-Santiago	132,916	723	13,211		13,211	58
13. Río Huicicila	5,225	1,387	1,277		1,277	6
14. Río Ameca	12,255	1,020	2,235		2,235	9
15. Costa de Jalisco	12,967	1,175	3,684		3,684	11
16. Armería-Coahuayana	17,628	908	3,985		3,985	10
17. Costa de Michoacán	9,205	888	1,612		1,612	6
18. Balsas	118,268	952	17,057		17,057	15
19. Costa Grande de Guerrero	12,132	1,234	6,091		6,091	28
20. Costa Chica de Guerrero	39,936	1,391	18,714		18,714	32
21. Costa de Oaxaca	10,514	967	3,389		3,389	19
22. Tehuantepec	16,363	821	2,606		2,606	15

Tabla 1.1. Características Hidrográficas de las regiones Hidrológicas en México. CONAGUA, 2012, Subdirección General Técnica.

Nombre de Región hidrológica	Extensión territorial continental (km ²)	Precipitación normal anual 1971-2000 (mm)	Escurrimiento natural medio superficial interno (hm ³ /año)	Importaciones (+) o exportaciones (-) de otros países (hm ³ /año)	Escurrimiento natural medio superficial total (hm ³ /año)	Número de cuencas hidrológicas
23. Costa de Chiapas	12,293	2,347	12,617	1,586	14,203	25
24. Bravo-Conchos	229,740	453	5,588	-432	5,156	37
25. San Fernando-Soto La Marina	54,961	757	4,842		4,842	45
26. Pánuco	96,989	892	20,330		20,330	77
27. Norte de Veracruz	26,592	1,427	14,306		14,306	12
28. Papaloapan	57,355	1,460	48,176		48,176	18
29. Coatzacoalcos	30,217	1,946	39,482		39,482	15
30. Grijalva-Usumacinta	102,465	1,709	73,316	44,080	117,396	83
31. Yucatán Oeste	25,443	1,229	707		707	2
32. Yucatán Norte	58,135	1,091	0		0	0
33. Yucatán Este	38,308	1,243	1,109	864	1,973	1
34. Cuencas Cerradas del Norte	90,829	404	1,701		1,701	22
35. Mapimi	62,639	361	957		957	6
36. Nazas-Aguanaval	93,032	425	1,912		1,912	16
37. El Salado	87,801	431	2,876		2,876	8
Total	1,959,248	843	331,085	47,948	379,033	731

Tabla 1.1. Continuación. Características Hidrográficas de las regiones Hidrológicas en México. CONAGUA, 2012, Subdirección General Técnica.

1.2. Regiones Hidrológico-Administrativas.

Para fines de administración y preservación de las aguas nacionales, a partir de 1997 el país se ha dividido en 13 regiones Hidrológico-Administrativas. Las Regiones Hidrológico-Administrativas están formadas por agrupaciones de cuencas, consideradas las unidades básicas de gestión de los recursos hídricos, respetando los límites municipales. En la figura 1.3 se muestra la división de las 13 regiones hidrológico-administrativas y en la tabla 1.2 se muestra la información socioeconómica de cada Región.



Figura 1.3.Regiones Hidrológico-Administrativas de México. CONAGUA 2012.

No	Región hidrológico-administrativa	Población 2007 (habitantes)	Población 2010 (habitantes)	Superficie continental (km²)	Densidad de población (hab/km²)	PIB 2009 (%)	Municipios y delegaciones (Número)
I	Península de Baja California	3,580,948	3,970,476	156,500	25	3.51	11
II	Noroeste	2,572,252	2,583,710	197,523	13	2.52	78
III	Pacífico Norte	3,959,279	4,177,398	150,524	28	2.72	51
IV	Balsas	10,353,977	10,990,154	116,104	95	6.21	420
V	Pacífico Sur	4,116,080	4,770,777	82,844	58	2.41	378
VI	Río Bravo	10,703,815	11,295,363	388,750	29	14.92	144
VII	Cuencas Centrales del Norte	4,120,949	4,248,529	185,813	23	3.89	78
VIII	Lerma Santiago Pacífico	20,625,203	22,326,511	191,374	117	18.50	332
IX	Golfo Norte	4,941,244	4,982,167	125,778	40	2.05	148
X	Golfo Centro	9,583,822	10,012,262	102,225	98	5.34	432
XI	Frontera Sur	6,502,913	7,060,280	99,328	71	5.29	137
XII	Península de Yucatán	3,903,937	4,103,596	141,367	29	8.00	126
XIII	Aguas del Valle de México	21,090,206	21,815,315	18,110	1,205	24.66	121
Total		106,054,625	112,336,538	1,956,240	57	100	2,456

Tabla 1.2. Datos geográficos y socioeconómicos por Región Hidrológico-Administrativa. CONAGUA, 2010.

En el rubro de la población, en 2010 los habitantes que vivían en cotas superiores a los 1,500 metros sobre el nivel del mar eran el 53.2% de la población total.

En el mismo año existían 39 núcleos de población con un número mayor a 500 mil habitantes; de estos núcleos de población, 33 pertenecían a zonas metropolitanas (ZM), de las cuales el 40% se localiza en el centro del país.

De acuerdo con un estudio realizado por la Comisión Nacional de Población (CONAPO), se prevé que para el 2030 el número de habitantes en México aumentará alrededor de 8 millones de personas. Además, para ese mismo año, el 81% de la población se asentará en localidades urbanas.

Para el 2030, con los datos obtenidos de la CONAPO, se estima que el 70% del aumento de la población ocurrirá en las regiones hidrológico-administrativas de Lerma –Santiago-Pacífico (VIII), Valle de México (XIII), Río Bravo (VI) y Península de Baja California (I). Caso contrario ocurrirá en las regiones de Pacífico Norte (III) y Pacífico Sur (V), donde la población disminuirá.

En la tabla 1.3 se presentan las proyecciones de población para las regiones Hidrológico-Administrativas.

Población en el año 2010 y 2030, por Regiones Hidrológico-Administrativas (miles de habitantes)				
No	Región Hidrológico-Administrativa	Población		Incremento esperado de población
		Año 2010	Año 2030	Al año 2030
I	Península de Baja California	4,017	5,915	1,898
II	Noroeste	2,604	2,910	306
III	Pacífico Norte	4,198	3,795	-403
IV	Balsas	11,067	11,127	60
V	Pacífico Sur	4,796	4,022	-774
VI	Río Bravo	11,382	13,252	1,870
VII	Cuencas Centrales del Norte	4,271	4,568	297
VIII	Lerma Santiago Pacífico	22,487	23,512	1,025
IX	Golfo Norte	5,018	5,099	81
X	Golfo Centro	10,064	9,925	-139
XI	Frontera Sur	7,118	7,498	380
XII	Península de Yucatán	4,146	5,807	1,661
XIII	Aguas del Valle de México	21,943	23,673	1,730
Total		113,111	121,103	7,992

Tabla 1.3. Incremento de población esperado por Región Hidrológico-Administrativa. INEGI; 2010, CONAPO, 2007.

1.3. Principales Ríos en la República Mexicana

Dado que las cuencas Hidrológicas se definen en función de los ríos, resulta necesario mencionar cuáles son los principales cauces definidos por la Secretaría de Gobernación, vía el Centro Nacional de Prevención de Desastres en el territorio nacional.

De acuerdo a su caudal, existen 42 ríos principales los cuales se mencionan a continuación.

No.	Ríos	Escorrentamiento Medio Anual (hm ³)	Vertiente	Sección	
1	Colorado	1,868	Pacífico	Norte	
2	Sonora	203			
3	Yaqui	6,534			
4	Mayo	965			
5	Fuerte	4,973			
6	Sinaloa	1,744			
7	Culiacán	3,141			
8	San Lorenzo	1,735			
9	Acaponeta	1,619			
10	San Pedro				
11	Lerma-Santiago	20,976		Del Golfo	Centro
12	Armería	1,141			
13	Coahuayana	1,313			
14	Balsas	11,911			
15	Papagayo	4,167			
16	Verde	5,302			Norte
17	Tehuantepec	1,030			
18	Suchiate	2,605			
19	Bravo	6,383			
20	Conchos	2,346			
21	Salado	1,053			
22	Pesquería		Centro		
23	San Fernando	635			
24	Soto la Marina	1,182			
25	Tamesí	2,264			
26	Pánuco	13,284			
27	Tuxpan	2,073			
28	Cazones	2,265			
29	Tecolutla				
30	Jamapa				
31	Papaloapan	52,200			

Tabla 1.4. Principales ríos de la República Mexicana. SEGOB-CENAPRED, 2001.

No.	Ríos	Escurrimiento Medio Anual (hm³)	Vertiente	Sección
32	Coatzacoalcos		Del Golfo	Sur
33	Uxpana			
34	Grijalva	45,842		
35	Usumacinta	81,393		
36	Candelaria	1,591		
37	Hondo	1,633		
38	Casas Grandes	91	Del interior	Comarca de los Pueblos Indios
39	Santa María	55		
40	Carmen	116		
41	Nazas	1,111		
42	Aguanaval	3,149		Comarca Lagunera

Tabla 1.4. Continuación. Principales ríos de la República Mexicana. SEGOB-CENAPRED, 2001.



Figura 1.4. Principales ríos de la República Mexicana. <http://www.agua.org.mx/h2o>

1.4. Infraestructura Hidráulica en México

La República Mexicana tiene una infraestructura hidráulica con capacidad de almacenamiento de 150,000 millones de m³ que equivale al 37% del escurrimiento medio anual en todo el país. Si bien esto es una gran capacidad, aún falta mucho por hacerse en este ámbito. SEGOB-CENAPRED, 2001.

Dentro de la infraestructura hidráulica con la que cuenta el país para proporcionar el agua requerida para los diferentes usuarios nacionales, destaca la siguiente, CONAGUA 2011:

- 4,462 presas y bordos de almacenamiento.
- 6.50 millones de hectáreas con riego.
- 2.9 millones de hectáreas con temporal tecnificado.
- 631 plantas potabilizadoras en operación.
- 2,029 plantas de tratamiento de aguas residuales municipales en operación.

1.4.1 Presas y bordos

De las 4,462 presas y bordos en México, 667 están clasificadas como grandes presas, de acuerdo con la definición de la Comisión Internacional de Grandes Presas (ICOLD, por sus siglas en inglés).

Se tiene un registro incompleto de los bordos, siendo pequeñas obras de almacenamiento en su mayoría de terracería. En julio del 2009, en la CONAGUA, se tenían registrados 1,085 bordos.

La capacidad de almacenamiento de las presas del país es de aproximadamente 150 mil millones de m³. El volumen almacenado anualmente en las principales presas, depende de la precipitación y los escurrimientos en las distintas regiones del país, así como de las políticas de operación de las presas, determinados por sus objetivos tanto de abastecimiento a los diversos usos como de control de avenidas.

La ubicación de las presas se muestra en la figura 1.5 y sus principales características en la tabla 1.5. La localización sigue, entre otros factores, el régimen hidrológico de la corriente, la topografía y características geológicas del sitio, así como los usos a los cuales se destinará, entre ellos la generación de energía eléctrica, el abastecimiento público, la irrigación y el control de avenidas.

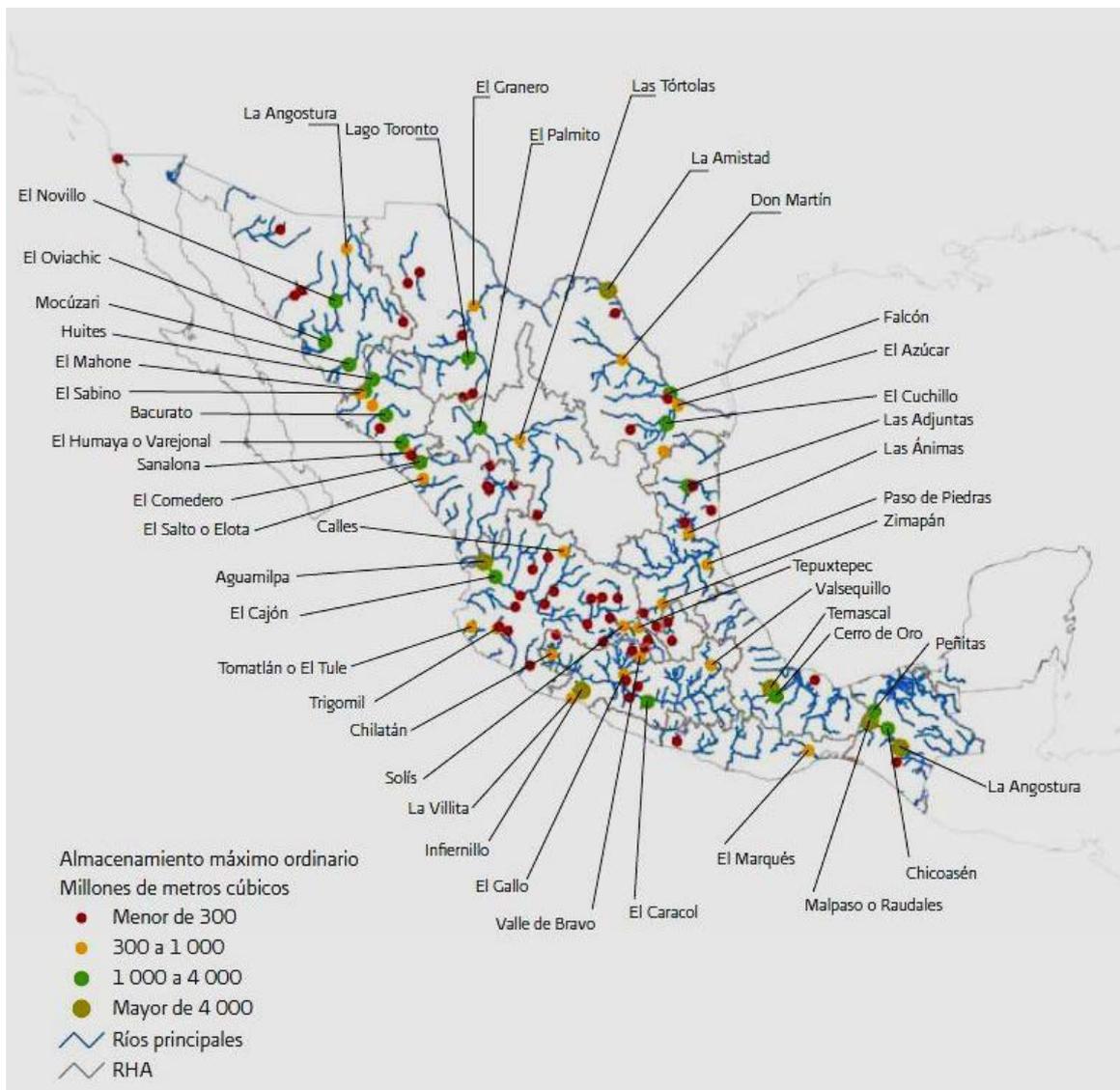


Figura 1.5. Principales presas de acuerdo a su capacidad de almacenamiento. CONAGUA, 2011.

No.	Clave	Nombre Oficial	Nombre Común	Capacidad NAMO (hm ³)	Región Hidrológico-Administrativa	Usos
1	693	Dr. Belisario Domínguez	La Angostura	12 762	XI Frontera Sur	G
2	1453	Infiernillo	Infiernillo	12 500	IV Balsas	G, C
3	706	Netzahualcóyotl	Malpaso Raudales	10 596	XI Frontera Sur	G, C
4	2754	Presidente Miguel Alemán	Temascal	8 119	X Golfo Centro	G, C
5	2516	Solidaridad	Aguamilpa	5 540	VIII Lerma-Santiago-Pacífico	G, I
6	345	Internacional La Amistad	La Amistad	4 462	VI Río Bravo	G, I, A, C
7	3440	Internacional Falcón	Falcón	3 912	VI Río Bravo	A, C, G
8	3617	General Vicente Guerrero Consumador de la Independencia Nacional	Las Adjuntas	3 910	IX Golfo Norte	I, A
9	1084	Lázaro Cárdenas	El Palmito	3 336	VII Cuencas Centrales del Norte	I, C
10	3148	Adolfo López Mateos	El Humaya o Varejonal	3 072	III Pacífico Norte	G, I
11	3243	Álvaro Obregón	El Oviachic	2 989	II Noroeste	G, I
12	3320	Plutarco Elías Calles	El Novillo	2 963	II Noroeste	G, I
13	3218	Miguel Hidalgo y Costilla	El Mahone	2 921	III Pacífico Norte	G, I
14	3216	Luis Donaldo Colosio	Huites	2 908	III Pacífico Norte	G, I
15	750	La Boquilla	Lago Toronto	2 894	VI Río Bravo	I, G
16	3210	José López Portillo	El Comedero	2 800	III Pacífico Norte	G, I
17	2742	Miguel de la Madrid	Cerro de Oro	2 600	X Golfo Centro	I
18	2538	Leonardo Rodríguez Alcaine	El Cajón	2 282	VIII Lerma-Santiago-Pacífico	G
19	3203	Gustavo Díaz Ordaz	Bacurato	1 860	III Pacífico Norte	G, I
20	701	Manuel Moreno Torres	Chicoasén	1 632	XI Frontera Sur	G

Tabla 1.5. Nombre y capacidad de las principales presas en el Territorio Nacional. CONAGUA,2011.

No.	Clave	Nombre Oficial	Nombre Común	Capacidad NAMO (hm ³)	Región Hidrológico-Administrativa	Usos
21	1463	Carlos Ramírez Ulloa	El Caracol	1 521	IV Balsas	G
22	3241	Adolfo Ruiz Cortines	Mocúzari	1 114	II Noroeste	G, I
23	688	Angel Albino Corzo	Peñitas	1 091	XI Frontera Sur	G
24	2689	Cuchillo-Solidaridad	El Cuchillo	1 025	VI Río Bravo	A, I
25	3490	Marte R. Gómez	El Azúcar	995	VI Río Bravo	I
26	2708	Presidente Benito Juárez	El Marqués	977	V Pacífico Sur	I
27	1679	Ing. Fernando Hiriart Balderrama	Zimapán	930	IX Golfo Norte	G
28	1436	Solís	Solís	870	VIII Lerma-Santiago-Pacífico	I, C
29	3302	Lázaro Cárdenas	La Angostura	864	II Noroeste	I, A
30	3229	Sanalona	Sanalona	673	III Pacífico Norte	G, I
31	494	Venustiano Carranza	Don Martín	614	VI Río Bravo	I, A, C
32	3557	Estudiante Ramiro Caballero Dorantes	Las Ánimas	571	IX Golfo Norte	I
33	3211	Josefa Ortiz de Domínguez	El Sabino	514	III Pacífico Norte	I
34	1710	Cajón de Peña	Tomatlán o El Tule	511	VIII Lerma-Santiago-Pacífico	I
35	2257	José María Morelos	La Villita	510	IV Balsas	G, I
36	3693	Chicayán	Paso de Piedras	468	IX Golfo Norte	I
37	2206	Constitución de Apatzingán	Chilatán	450	IV Balsas	I, C
38	3154	Ing. Aurelio Benassini Viscaíno	El Salto o Elota	415	III Pacífico Norte	I, C
39	1477	El Gallo	El Gallo	410	IV Balsas	I
40	2126	Valle de Bravo	Valle de Bravo	391	IV Balsas	A
41	1045	Francisco Zarco	Las Tórtolas	365	VII Cuencas Centrales del Norte	C, I

Tabla 1.5. Continuación. Nombre y capacidad de las principales presas en el Territorio Nacional. CONAGUA, 2011.

No.	Clave	Nombre Oficial	Nombre Común	Capacidad NAMO (hm ³)	Región Hidrológico-Administrativa	Usos
42	49	Plutarco Elías Calles	Calles	340	VIII Lerma-Santiago-Pacífico	I
43	2826	Manuel Ávila Camacho	Valsequillo	331	IV Balsas	I
44	1782	General Ramón Corona Madrigal	Trigomil	324	VIII Lerma-Santiago-Pacífico	I
45	2382	Tepuxtepec	Tepuxtepec	323	VIII Lerma-Santiago-Pacífico	G, I
46	825	Ing. Luis L. León	El Granero	309	VI Río Bravo	I, C
47	3202	Ing. Guillermo Blake Aguilar	El Sabinal	300	III Pacífico Norte	C, I
48	2631	José López Portillo	Cerro Prieto	300	VI Río Bravo	A, I
49	813	Francisco I. Madero	Las Vírgenes	296	VI Río Bravo	I, C
50	1328	Laguna de Yuriria	Yuriria	288	VIII Lerma-Santiago-Pacífico	I
51	1825	Manuel M. Diéguez	Santa Rosa	258	VIII Lerma-Santiago-Pacífico	G
52	1035	Federalismo Mexicano	San Gabriel	255	VI Río Bravo	I, A, C
53	1507	Vicente Guerrero	Palos Altos	250	IV Balsas	I
54	3478	Presidente Lic. Emilio Portes Gil	San Lorenzo	231	IX Golfo Norte	I
55	4365	Trojes Solidaridad	Trojes	220	VIII Lerma-Santiago-Pacífico	I
56	3239	Abelardo L. Rodríguez	Hermosillo	220	II Noroeste	I, A, C
57	2167	El Bosque	El Bosque	220	IV Balsas	A, C
58	2286	Melchor Ocampo	El Rosario	200	VIII Lerma-Santiago-Pacífico	I
59	3662	Canseco	Laguna de Catemaco	200	X Golfo Centro	G
60	1583	Endhó	Endhó	182	XIII Aguas del Valle de México	I, C

Tabla 1.5. Continuación. Nombre y capacidad de las principales presas en el Territorio Nacional. CONAGUA, 2011.

No.	Clave	Nombre Oficial	Nombre Común	Capacidad NAMO (hm ³)	Región Hidrológico-Administrativa	Usos
61	2136	Villa Victoria	Villa Victoria	177	IV Balsas	A
62	3308	Ing. Rodolfo Félix Valdéz	El Molinito	150	II Noroeste	I, C
63	1315	Ignacio Allende	La Begoña	150	VIII Lerma-Santiago-Pacífico	I, C
64	1926	Tacotán	Tacotán	149	VIII Lerma-Santiago-Pacífico	I, C
65	1702	Basilio Vadillo	Las Piedras	146	VIII Lerma-Santiago-Pacífico	I
66	1304	La Gavia	La Gavia	145	VIII Lerma-Santiago-Pacífico	C
67	3747	El Chique	El Chique	140	VIII Lerma-Santiago-Pacífico	I
68	917	El Tintero	El Tintero	138	VI Río Bravo	I, C
69	1499	Revolución Mexicana	El Guineo	127	V Pacífico Sur	I, C
70	2011	Huapango	Huapango	122	IX Golfo Norte	I
71	3790	Gobernador Leobardo Reynoso	Trujillo	118	VII Cuencas Centrales del Norte	I
72	3197	Lic. Eustaquio Buelna	Guamúchil	113	III Pacífico Norte	I, A, C
73	1365	La Purísima	La Purísima	110	VIII Lerma-Santiago-Pacífico	I, C
74	1459	Andrés Figueroa	Las Garzas	103	IV Balsas	I
75	711	Juan Sabines	El Portillo II o Cuxquepeques	100	XI Frontera Sur	I
76	1203	Santiago Bayacora	Bayacora	100	III Pacífico Norte	I
77	237	Abelardo Rodríguez L.	Rodríguez o Tijuana	92	I Península de Baja California	A,C
78	5133	Derivadora Las Blancas	Las Blancas	90	VI Río Bravo	I, C
79	836	Las Lajas	Las Lajas	90	VI Río Bravo	I, C

Tabla 1.5.Continuación. Nombre y capacidad de las principales presas en el Territorio Nacional. CONAGUA, 2011.

No.	Clave	Nombre Oficial	Nombre Común	Capacidad NAMO (hm ³)	Región Hidrológico-Administrativa	Usos
80	1887	El Salto	El Salto	85	VIII Lerma-Santiago-Pacífico	A
81	731	Abraham González	Guadalupe	85	II Noroeste	I, C
82	2202	Cointzio	Cointzio	85	VIII Lerma-Santiago-Pacífico	I, A
83	1057	General Guadalupe Victoria	El Tunal	81	III Pacífico Norte	I
84	3807	Miguel Alemán	Excamé	81	VIII Lerma-Santiago-Pacífico	I, G, C
85	1800	Ing. Elías González Chávez	Puente Calderón	80	VIII Lerma-Santiago-Pacífico	A
86	1040	Francisco Villa	El Bosque	79	III Pacífico Norte	I
87	2886	Constitución de 1917	Presa Hidalgo	70	X Golfo Norte	I
88	2113	Tepetitlán	Tepetitlán	68	VIII Lerma-Santiago-Pacífico	I
89	4604	Corral de Palmas	Rompepicos	65	VI Río Bravo	C
90	3267	Cuauhtémoc	Santa Teresa	62	II Noroeste	I
91	2359	San Juanico	La Laguna	60	IV Balsas	I, C
92	1478	Hermenegildo Galeana	Ixtapilla	58	IV Balsas	I
93	2005	Guadalupe	Guadalupe	57	XIII Aguas del Valle de México	I
94	3562	República Española	Real Viejo o El Sombrero	55	X Golfo Norte	I
95	4677	Ing. Juan Guerrero Alcocer	Vinoramas	55	III Pacífico Norte	I, A, C
96	867	Pico del Águila	Pico del Águila	50	VI Río Bravo	I
97	1166	San Bartolo	Santa Lucía	46	III Pacífico Norte	I
98	381	La Fragua	La Fragua	45	VI Río Bravo	I
99	1918	Ing. Santiago Camarena	La Vega	44	VIII Lerma-Santiago-Pacífico	I
100	4758	La Patria es Primero	Las Alazanas	40	X Golfo Norte	I

Tabla 1.5. Continuación. Nombre y capacidad de las principales presas en el Territorio Nacional. CONAGUA, 2011.

En la tabla 1.5, las abreviaturas corresponden a:

- G: Generación de Energía Eléctrica
- I: Irrigación
- A: Uso abastecimiento Público
- C: Control de avenidas

Y la clave corresponde al Inventario Nacional de Presas.

Las presas, a la par de beneficiar a las poblaciones, también pueden ser factores de desastres, debido a una falla en su estructura o cuando se deja pasar, a través de sus compuertas, grandes gastos en tiempos muy pequeños, además modifican el clima local, retienen sedimentos y nutrientes. Según el CENAPRED una presa es considerada particularmente peligrosa, desde el punto de vista de vidas humanas, cuando aguas abajo de la misma existen poblaciones con más de 200 viviendas o mayores de 1,000 habitantes que pueden ser afectados o bien cuando existen centros de intensa actividad industrial o áreas con un alto índice de productividad agrícola o explotación diversa, de 500 o más hectáreas.

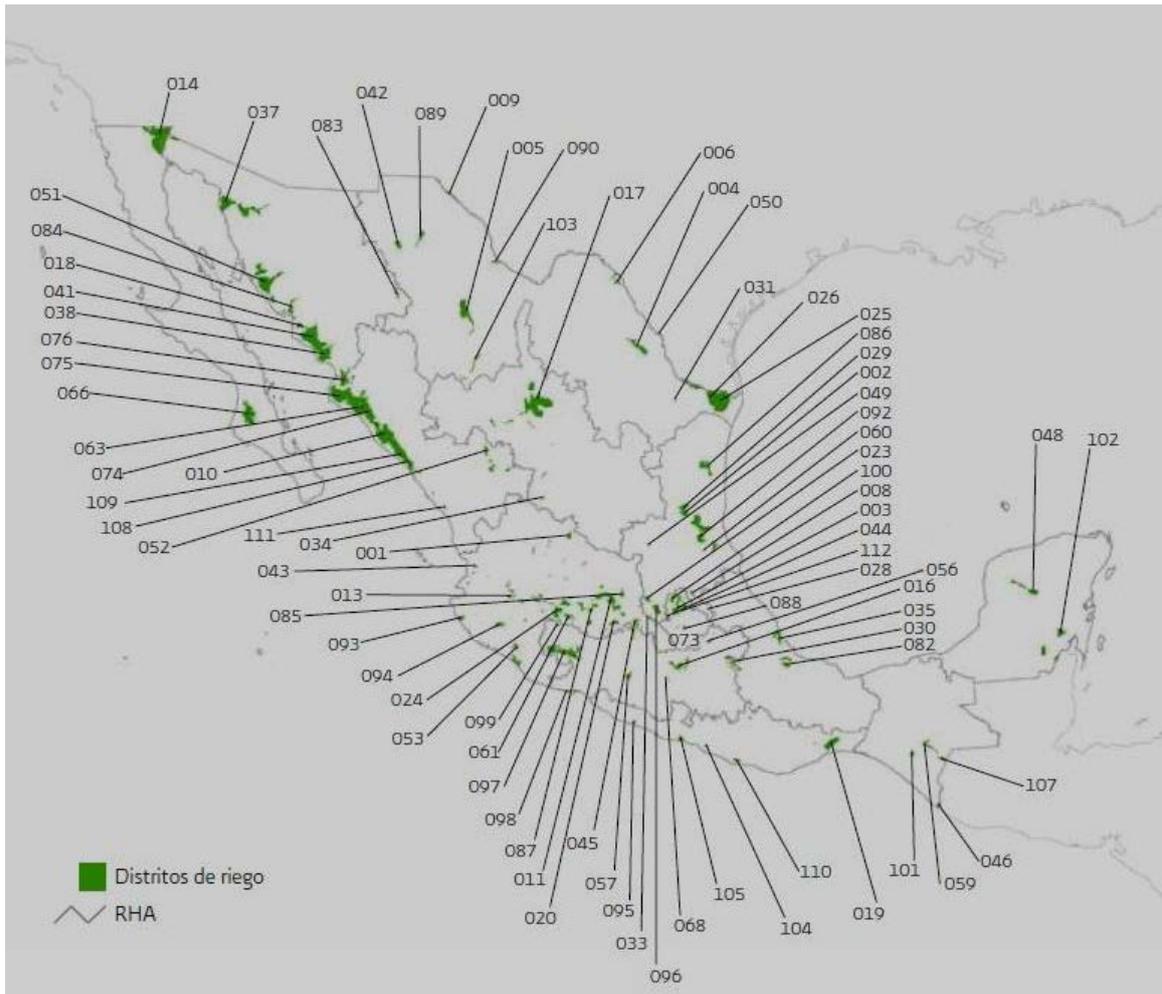
1.4.2. Infraestructura hidroagrícola

En México, el área con infraestructura que permite el riego es de aproximadamente 6.5 millones de hectáreas, de las cuales 3.5 millones corresponden a 85 **distritos de riego** (DR), figura 1.6, y las restantes 3.0 millones de hectáreas a más de 39 mil **unidades de riego** (UR).

Los DR y UR fueron diseñados de acuerdo con la tecnología prevaleciente para la aplicación del agua por gravedad en las parcelas. En muchos casos sólo se construyeron las redes de canales y drenes principales, quedando las obras parcelarias a cargo de los usuarios. Esto, sumado al deterioro de la infraestructura, acumulado en varias décadas por la insuficiencia de recursos económicos destinados a su conservación y mejoramiento, propiciaron una baja en la eficiencia global en el manejo del agua.

Cabe destacar que el rendimiento de la superficie bajo régimen de irrigación es superior al correspondiente a la agricultura de temporal. En el 2009, para los principales cultivos por superficie cosechada, el maíz grano, el sorgo grano y el frijol, el rendimiento medido en ton/ha, de la superficie de riego, fue de 2.2 a 3.6 veces mayor que la productividad de temporal.

Los DR son proyectos de irrigación desarrollados por el Gobierno Federal desde 1926, año de creación de la Comisión Nacional de Irrigación, e incluyen diversas obras, tales como vasos de almacenamiento, derivaciones directas, plantas de bombeo, pozos, canales y caminos, entre otros. En la tabla 1.6 se presentan los datos por distrito de riego.



Nota: Los números corresponden a las claves de cada distrito de riego.

Figura 1.6. Ubicación de los Distritos de riego a nivel Nacional. CONAGUA. Subdirección General de Infraestructura Hidroagrícola. 2010.

Región Hidrológica Administrativa	Número de DR	Superficie total (ha)	Usuarios	Superficie física regada, año agrícola 2008/09 (ha)	Volumen distribuido (hm ³)
I Península de Baja California	2	246 906	17 990	226 041	2 734.5
II Noroeste	7	502 281	39 323	391 472	3 941.2
III Pacífico Norte	9	789 034	90 500	755 450	9 811.4
IV Balsas	9	225 511	55 192	151 325	2 447.9
V Pacífico Sur	5	75 389	6 118	28 460	538.6
VI Río Bravo	12	554 597	33 184	368 433	3 261.1
VII Cuencas Centrales del Norte	1	116 577	34 126	69 820	1 023.8
VIII Lerma-Santiago-Pacífico	14	499 237	86 024	318 291	4 141.6
IX Golfo Norte	13	265 594	28 221	135 960	1 520.7
X Golfo Centro	2	43 508	7 200	31 248	796.1
XI Frontera Sur	4	36 399	5 279	25 969	353.8
XII Península de Yucatán	2	36 871	5 197	10 051	66.1
XIII Aguas del Valle de México	5	104 998	54 311	79 611	1 581.9
Total	85	3 496 902	462 665	2 592 131	32 218.6

Tabla 1.6. Distritos de Riego por Región Hidrológico-Administrativa. CONAGUA. Estadísticas Agrícolas de los Distritos de Riego. Año agrícola 2008-2009. Subdirección General de Infraestructura Hidroagrícola. 2009.

El agua empleada en los DR se aprovecha por gravedad o por bombeo, cuando por la conformación topográfica de la fuente respecto del aprovechamiento, se requiere de auxilio electromecánico. A su vez, la fuente superficial puede ser una presa, derivación o bombeo directo a la corriente; en tanto que la fuente subterránea se aprovecha necesariamente a través del bombeo de pozos.

La productividad del agua en los DR es un indicador clave para evaluar la eficiencia con la que se utiliza el agua para la producción de alimentos, que depende de la eficiencia en la conducción desde la fuente de abastecimiento hasta las parcelas y la aplicación de la misma.

En el entorno actual, en que es previsible la disminución de la disponibilidad del agua por el cambio climático, es imperativo elevar las eficiencias de conducción. Cabe aclarar que la productividad del agua puede tener una gran variación en función de las condiciones meteorológicas, así como de las características fenológicas de cada cultivo.

Con la creación de la CONAGUA en 1989 y la promulgación de la actual Ley de Aguas Nacionales en 1992, dio inicio la transferencia de los DR a los usuarios, apoyada en un programa de rehabilitación parcial de la infraestructura que se concesiona en módulos de riego a las asociaciones de usuarios.

Las Unidades de Riego, también llamadas URDERALES, son operadas por ejidatarios y pequeños propietarios, que en algunos casos se encuentran organizados en las unidades. Por

su complejidad, variedad y extensión generalmente reducida, no se cuenta con información actualizada y detallada sobre los beneficiarios, superficies e infraestructura. Se tiene estimado el volumen utilizado y se cuenta con estadísticas agrícolas a partir del ciclo 2004-2005 en las UR, tabla 1.7.

	RHA	Superficie cosechada (ha)	Producción (ton)	Rendimiento (ton/ha)
I	Península de Baja California	40 763	868 156	21.30
II	Noroeste	204 384	2 502 962	12.25
III	Pacífico Norte	479 372	7 051 692	14.71
IV	Balsas	382 051	8 475 717	22.18
V	Pacífico Sur	108 971	1 244 127	11.42
VI	Río Bravo	334 590	3 404 590	10.18
VII	Cuencas Centrales del Norte	286 643	7 622 051	26.59
VIII	Lerma-Santiago-Pacífico	940 423	20 387 677	21.68
IX	Golfo Norte	580 464	8 823 117	15.20
X	Golfo Centro	102 668	4 019 517	39.15
XI	Frontera Sur	38 843	1 594 410	41.05
XII	Península de Yucatán	50 357	934 058	18.55
XIII	Aguas del Valle de México	81 637	1 927 185	23.61
	Total	3 631 166	68 855 259	18.96

Tabla 1.7. Superficie cosechada, producción y rendimiento de UR por RHA, año agrícola 2007-2008. CONAGUA, 2009. Estadísticas Agrícolas de las Unidades de Riego 2007-2008.

En las planicies tropicales y subtropicales del país, en donde existe un exceso de humedad y constantes inundaciones, el Gobierno Federal constituyó los **Distritos de Temporal Tecnificado (DTT)**, en los que se construyeron obras hidráulicas para el desalojo de los excedentes de agua.

La lista de las principales características de los DTT se muestra en la tabla 1.8. Al igual que los distritos de riego, los DTT se han transferido paulatinamente a los usuarios organizados.

No	Clave	Nombre	RHA	Entidad federativa	Superficie (miles de ha)	Usuarios (número)
1	001	La Sierra	XI Frontera Sur	Tabasco	32.1	1 178
2	002	Zanapa Tonalá	XI Frontera Sur	Tabasco	106.9	6 919
3	003	Tesechoacán	X Golfo Centro	Veracruz de Ignacio de La Llave	18.0	1 139
4	005	Pujal Coy II	IX Golfo Centro	San Luis Potosí y Tamaulipas	220.0	9 987
5	006	Acapetahua	XI Frontera Sur	Chiapas	103.9	5 050

Tabla 1.8. Características de los Distritos de Temporal Tecnificado, CONAGUA. Subdirección General de Infraestructura Hidroagrícola. 2010.

No	Clave	Nombre	RHA	Entidad federativa	Superficie (miles de ha)	Usuarios (número)
6	007	Centro de Veracruz	X Golfo Centro	Veracruz de Ignacio de La Llave	75.0	6 367
7	008	Oriente de Yucatán	XII Península de Yucatán	Yucatán	667.0	25 021
8	009	El Bejuco	III Pacífico Norte	Nayarit	25.4	2 261
9	010	San Fernando	IX Golfo Norte	Tamaulipas	505.0	13 975
10	011	Margaritas - Comitán	XI Frontera Sur	Chiapas	48.0	5 397
11	012	La Chontalpa ^a	XI Frontera Sur	Tabasco	91.0	5 000
12	013	Balancán - Tenosique ^a	XI Frontera Sur	Tabasco	115.3	4 289
13	015	Edzná - Yohaltún ^a	XII Península de Yucatán	Campeche	85.1	1 120
14	016	Sanes Huasteca ^a	XI Frontera Sur	Tabasco	26.4	1 321
15	017	Tapachula	XI Frontera Sur	Chiapas	94.3	5 852
16	018	Huixtla	XI Frontera Sur	Chiapas	107.6	6 010
17	020	Margaritas - Pijijiapan	XI Frontera Sur	Chiapas	68.0	4 712
18	023	Isla Rodríguez Clara	X Golfo Centro	Veracruz de Ignacio de La Llave	13.7	627
19	024	Zona sur de Yucatán	XII Península de Yucatán	Yucatán	67.3	880
20	025	Río Verde	XII Península de Yucatán	Campeche	134.9	1 984
21	026	Valle de Ucum ^a	XII Península de Yucatán	Quintana Roo	104.8	1 739
22	027	Frailescaá	XI Frontera Sur	Chiapas	56.8	3 083
23	035	Los Naranjos ^a	X Golfo Centro	Veracruz de Ignacio de La Llave	92.6	6 045
				Total	2 859.1	119 956

^aDistritos de temporal tecnificado que aún no han sido transferidos a los usuarios

Tabla 1.8. Continuación. Características de los Distritos de Temporal Tecnificado, CONAGUA. Subdirección General de Infraestructura Hidroagrícola. 2010.

1.4.3 Acueductos

Existen más de 3 mil kilómetros de acueductos en México que llevan agua a diversas ciudades y comunidades rurales del país, con una capacidad total de más de 112 metros cúbicos por segundo. Los principales por su longitud y capacidad se muestran en la tabla 1.9.

	Acueducto	RHA	Longitud (km)	Caudal de diseño (L/s)	Año de término	Abastece a	Responsable de la operación
1	Río Colorado-Tijuana	I	130	4 000	1982	Ciudades de Tijuana y Tecate y al poblado La Rumorosa en Baja California.	Comisión de Servicios de Agua del Estado de Baja California.
2	Vizcaino-Pacífico Norte	I	206	62	1990	Localidades de Bahía Asunción, Bahía Tortugas y poblados pesqueros de Punta Abreojos en Baja California.	Organismo operador del municipio de Mulegú, B.C
3	Sistema Cutzamala	IV y XIII	162	19 000	1993	La Zona Metropolitana de la Ciudad de México con agua de las presas Valle de Bravo, Villa Victoria y El Bosque, entre otras.	Conagua
4	Linares Monterrey	VI	133	5 000	1984	Al área Metropolitana de la ciudad de Monterrey, N.L., con agua de la presa Cerro Prieto.	Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey, I.P.D.
5	El Cuchillo-Monterrey	VI	91	5 000	1994	Al área metropolitana de la ciudad de Monterrey con agua proveniente de la presa el Cuchillo.	Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey, I.P.D.
6	Lerma	VIII y XIII	60	14 000	1975	Ciudad de México con agua de los acuíferos localizados en la zona alta del Río Lerma.	Sistema de Aguas de la Ciudad de México

Tabla 1.9. Principales acueductos en México por RHA. CONAGUA. Subdirección General de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento. 2010.

	Acueducto	RHA	Longitud (km)	Caudal de diseño (L/s)	Año de término	Abastece a	Responsable de la operación
7	Armería-Manzanillo	VIII	50	250	1987	Ciudad de Manzanillo, Colima.	Comisión de Agua Potable, Drenaje y Alcantarillado de Manzanillo, Colima.
8	Chapala-Guadalajara	VIII	42	7 500	1991	La zona metropolitana de la ciudad de Guadalajara con agua del Lago de Chapala.	Sistema Intermunicipal para los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado (SIAPA)
9	Presa Vicente Guerrero-Ciudad Victoria	IX	54	1 000	1992	Ciudad Victoria, Tamaulipas con agua proveniente de la presa Vicente Guerrero.	Comisión Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Victoria, Tamaulipas.
10	Uxpanapa- La Cangrejera	X	40	20 000	1985	22 industrias ubicadas en la parte sur del estado de Veracruz.	Conagua
11	Yurivia-Coatzacoalcos y Minatitlán	X	64	2 000	1987	Ciudades de Coatzacoalcos y Minatitlán, Veracruz, con agua del Río Ocotál y Tizapa.	Comisión Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Coatzacoalcos, Veracruz
12	Río Huitzilapan-Xalapa	X	55	1 000	2000	Ciudad de Xalapa-Enríquez, Veracruz.	Comisión Municipal de Agua Potable y Saneamiento de Xalapa, Veracruz
13	Chicbul-Ciudad del Carmen	XII	122	390	1975	Localidades de Sabancuy, Isla Aguada y Ciudad del Carmen, Campeche	Sistema Municipal de Agua Potable de Ciudad del Carmen, Campeche

Tabla 1.9. Continuación. Principales acueductos en México por RHA. CONAGUA. Subdirección General de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento. 2010.

1.4.4. El Sistema Cutzamala

El Sistema Cutzamala, CONAGUA 2011, abastece a 11 delegaciones del Distrito Federal y 11 municipios del Estado de México, es uno de los sistemas de abastecimiento de agua potable más grandes del mundo, no sólo por la cantidad de agua que suministra (aproximadamente 485 millones de metros cúbicos anualmente), sino por el desnivel (1,100 m) que se vence, figura 1.7. Aporta el 18% del abastecimiento para todos los usos de la Cuenca del Valle de México, calculado en 82 m³/s, que se complementa con el Sistema Lerma (6%), con la extracción de agua subterránea (73%) y con ríos y manantiales (3%).

El bombeo del sistema, necesario para vencer el desnivel, ocasiona un significativo consumo de electricidad. En el año 2008, la electricidad empleada fue de 1.29 TWh, lo que representó el 0.6% de la generación total de energía eléctrica del país para ese año, y su costo fue de 1,844 millones de pesos. Por comparación, el costo representó el 6.4% del presupuesto ejercido de la CONAGUA para ese mismo año.

El Sistema Cutzamala está integrado por siete presas derivadoras y de almacenamiento, seis estaciones de bombeo y una planta potabilizadora. Los volúmenes anuales proporcionados por el Sistema Cutzamala se presentan en la tabla 10.

Cabe comentar que el Sistema Cutzamala está sujeto a las variaciones en el régimen hidrológico de sus elementos.

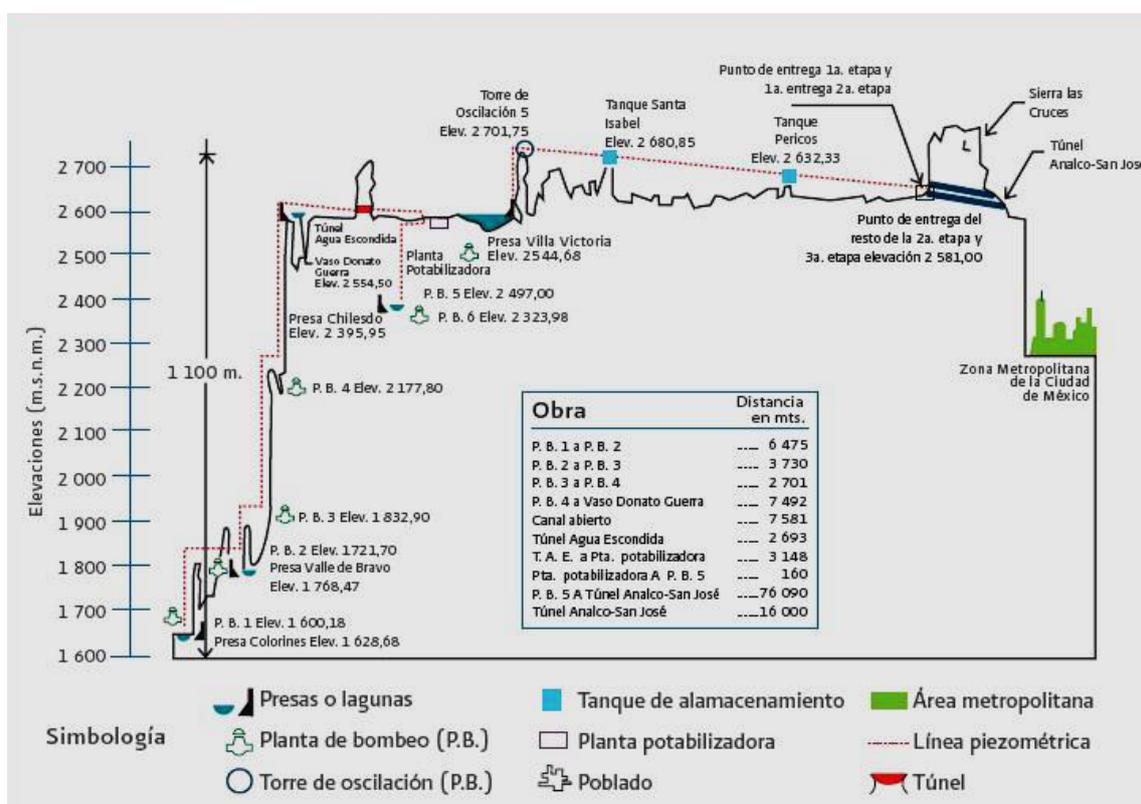


Figura 1.7. Perfil del Sistema Cutzamala. CONAGUA. Organismo de Cuenca del Valle de México, 2007.

Año	Entrega al Distrito Federal		Entrega al Estado de México		Total	
	Volumen hm ³ /año	Gasto medio m ³ /s	Volumen hm ³ /año	Gasto medio m ³ /s	Volumen hm ³ /año	Gasto medio m ³ /s
1991	238.92	7.59	78.11	2.49	317.03	10.08
1992	224.89	7.05	89.66	2.81	314.55	9.85
1993	251.79	8.10	90.44	2.91	342.23	11.02
1994	304.34	9.67	106.31	3.38	410.65	13.05
1995	309.12	9.80	121.39	3.85	430.51	13.65
1996	305.63	9.62	145.66	4.57	451.29	14.18
1997	320.71	10.16	159.17	5.05	479.88	15.21
1998	313.07	9.93	141.64	4.49	454.72	14.42
1999	319.30	10.21	159.45	5.10	478.75	15.30
2000	306.70	9.68	176.55	5.57	483.25	15.24
2001	303.14	9.64	173.35	5.51	476.49	15.15
2002	303.66	9.65	175.99	5.60	479.65	15.26
2003	310.70	9.77	185.23	5.83	495.93	15.59
2004	310.67	9.84	177.73	5.64	488.40	15.48
2005	310.39	9.84	182.80	5.64	493.19	15.48
2006	303.53	9.61	177.26	5.61	480.79	15.21
2007	303.90	9.72	174.56	5.58	478.46	15.30
2008	306.25	9.58	179.47	5.61	485.72	15.19
2009	244.60	7.74	155.38	4.92	399.97	12.66

Tabla 1.10. Volúmenes y caudales suministrados por el Sistema Cutzamala, 1991-2009. CONAGUA. Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México. 2010.

2. LLUVIAS CICLÓNICAS E INUNDACIONES

Históricamente en México se han presentado inundaciones de gran magnitud debidas a las precipitaciones de origen ciclónico, el caso más reciente se presentó en el mes de Septiembre del 2013 cuando la presencia de dos eventos hidrometeorológicos originaron la pérdida de vidas y un serio daño a la economía nacional.

Para tener un panorama objetivo, en este capítulo, se describirán las características más importantes del evento hidrometeorológico conocido como Huracán, la definición del concepto de inundación y se terminará con la cronología de los huracanes Ingrid y Manuel que pasarán a la historia hidrológica con los fenómenos meteorológicos que mayor daño han hecho al territorio Nacional.

2.1 Ciclones tropicales

De acuerdo con el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) un ciclón tropical consiste en una gran masa de aire cálida y húmeda con vientos fuertes que giran en forma de espiral alrededor de una zona central de baja presión. Cuyo cuerpo presenta un área circular en cuyo centro se encentra la presión más baja. Generalmente tienen un desplazamiento con velocidades que oscilan entre los 10 y 40 km/h.

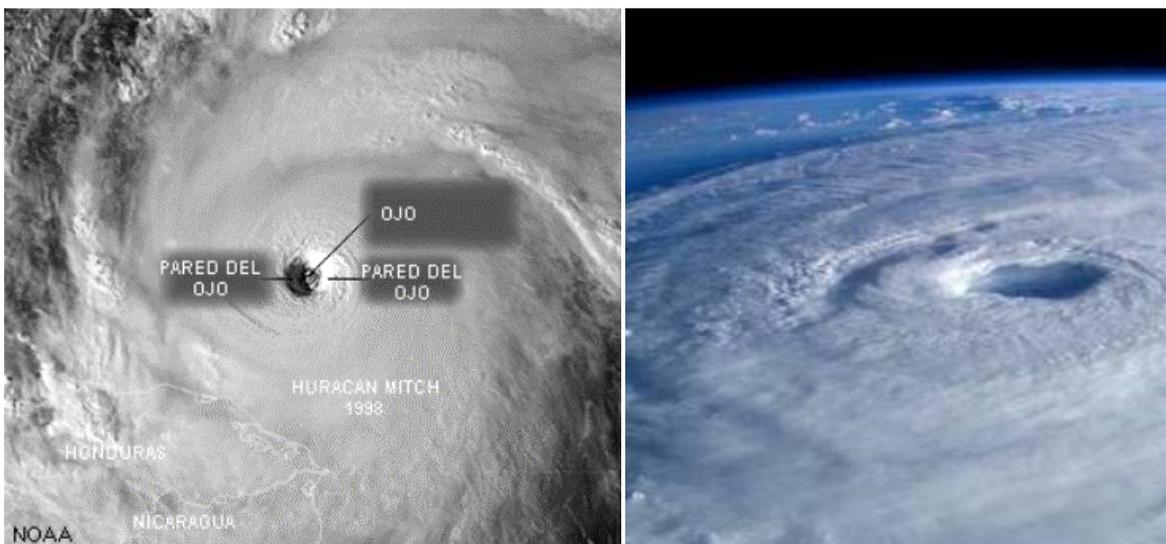


Figura 2.1. Partes del Ciclón. Imágenes tomadas de la NOAA <http://www.noaa.gov/index.html>

Algunas de las variables climatológicas provocadas por estos ciclones son:

- Lluvias intensas. Debido a que la humedad aumenta con la presencia de los ciclones, traen consigo fuertes lluvias en tiempos muy cortos. Cuando los ciclones enfrentan barreras montañosas, la intensidad de la lluvia aumenta, como ejemplo se puede citar lo ocurrido con el huracán Pauline en Acapulco que presentó una intensidad de lluvia de 120 mm/h y una altura de precipitación de 411 mm en 24 horas.
- Vientos fuertes. La forma de diferenciar a los ciclones de otros eventos climatológicos son los vientos. Debido a éstos, se generan fenómenos tales como la marea de tormenta y el oleaje intenso. Los vientos en un ciclón tienen velocidades mayores a los 120 km/h.

- Mareas de tormenta. Es un incremento en el nivel del agua durante un tormentado debido a la combinación de la marea de aciclónica y la marea astronómica.
- Oleaje intenso. Debido a los fuertes vientos que caracterizan a los ciclones, se forma fuertes olas que afectan principalmente a la navegación, las playas y a la infraestructura costera; en ocasiones las olas llegan a penetrar hasta ciertas estructuras en tierra ayudadas también por la marea de tormenta.



Figura 2.2. Huracán Pauline, Acapulco Guerrero. Imágenes tomadas de Huracán Paulina, su paso por costas Mexicanas http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/cambios_veg/

Como es conocido, el ciclón produce energía, esta empieza a ser mayor conforme es más grande la diferencia de las presiones que existen tanto en su centro como en su exterior.

2.1.1 Clasificación y Trayectoria

La forma de clasificar a los ciclones tropicales está basada en la fuerza de sus vientos o con la presión existente en su centro. Una depresión tropical tiene una presión atmosférica entre 1,008 y 1,005 mb, y vientos menores a 63 km/h, mientras que a una tormenta tropical se le atribuyen presiones de 1,004 a 985 mb y velocidades que van de los 63 hasta los 118 km/h, tabla 2.1. Por último, están los huracanes que tienen una presión menor a los 984 mb y velocidades de viento mayores a los 119 km/h. En la tabla 2.2 se presenta la clasificación de los Ciclones.

La zona de ocurrencia de los ciclones se presenta en las latitudes 5° a 15° con respecto al Ecuador para ambos hemisferios, la formación de estos fenómenos ocurre en el mar; generalmente cuando la temperatura del agua es mayor a los 26°C. A estas regiones donde se forman los ciclones se les conoce como **zonas ciclogénicas o matrices**, Figura 2.4.

En México, los ciclones que llegan a las costas, generalmente provienen de las siguientes Zonas:

- Sonda de Campeche
- Golfo de Tehuantepec
- Mar Caribe
- Sur de las Islas Cabo Verde.

La temporada de ciclones en México inicia en Junio para el océano Atlántico y por la segunda semana de Mayo para el Pacífico; la terminación de la temporada para ambos océanos es en Noviembre. Estadísticamente, el mes con mayor número de ciclones tropicales es Septiembre.

La trayectoria, siempre está en función de las condiciones climatológicas que existan en el área de influencia, los ciclones tropicales no siempre entran a tierra.

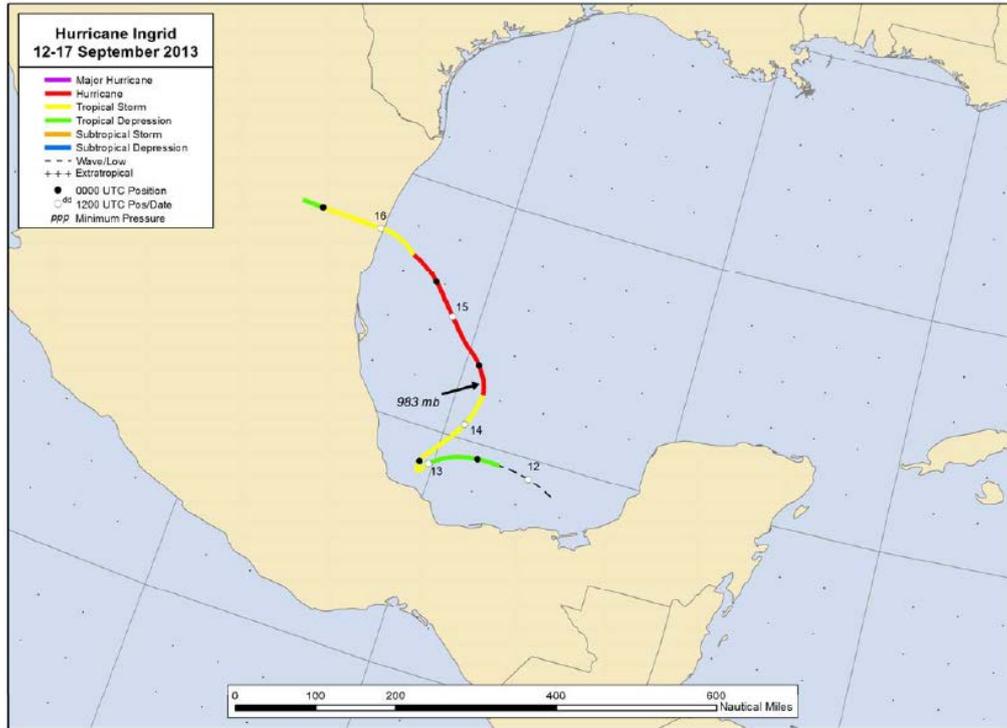


Figura 2.3. Trayectoria Huracán Ingrid. John L. Beven II. National Hurricane Center. Tropical cyclone report. Hurricane Ingrid, 2014

Categoría	Presión central (mb)	Vientos (km/h)	Marea de tormenta (m)
Depresión tropical	>980	< 62	0
Tormenta tropical	>980	63-117	0-3

Tabla 2.1. Características de los fenómenos Hidrometeorológicos Depresión y Tormenta Tropical. Escala Saffir-Simpson.

<i>Categoría</i>	<i>Vientos sostenidos (km/h)</i>	<i>Características de los posibles daños materiales e inundaciones</i>
1	119 a 153	Vientos muy peligrosos podrían producir algunos daños: Casas bien construidas podrían tener daños en los marcos de los techos, tejas, revestimientos de vinilo y canaletas. Grandes ramas de árboles se romperán y los árboles plantados superficialmente pueden ser desgarrados. Grandes daños a las líneas eléctricas y postes eléctricos probablemente producirán apagones que podrían durar hasta varios días.
2	154a 177	Vientos extremadamente peligrosos van a causar daños extensivos: Bien construidas podrían sufrir daños mayores en los techos y paredes laterales. Muchos árboles plantados superficialmente van a ser desgarrados o quebrados y bloquearán numerosas calles. Se espera casi la pérdida total de electricidad con apagones que podrían durar desde varios días hasta semanas.
3	178a 208	Daños devastadores van a ocurrir: Casas bien construidas pueden incurrir en un daño mayor o remoción de la cubierta del techo y los astiles. Muchos árboles van a ser desgarrados o quebrados, bloqueando numerosas calles. La electricidad y el agua no estarán disponibles por varios días o semanas después de que pase la tormenta.
4	209 a 251	Daños Catastróficos van a ocurrir: Casas bien construidas pueden sufrir daños severos con pérdida de la mayor parte de la estructura de los techos y/o paredes exteriores. La mayoría de los árboles van a ser desgarrados o quebrados y postes de electricidad serán derribados. Los postes y árboles caídos van a aislar las áreas residenciales. La pérdida de energía durará por semanas hasta posiblemente meses. La mayor parte del área va a estar inhabitable por semanas o meses.
5	> 252	Daños Catastróficos van a ocurrir: Un gran porcentaje de las casas van a ser destruidas, con un derrumbe total del techo y de las paredes. Los postes y árboles caídos van a aislar las áreas residenciales. La pérdida de energía durará por semanas hasta posiblemente meses. La mayor parte del área va a estar inhabitable por semanas o meses.

Tabla 2.2. Escala de Vientos de Huracán de Saffir-Simpson. Saffir-Simpson Hurricane Wind Scale. National Weather Service, *National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)*<<http://www.nhc.noaa.gov/aboutsshws.php>>

Debido a la ubicación geográfica, México es afectado en ambos litorales por ciclones, según estimaciones de CONAGUA, estos ciclones afectan a más del 60% del territorio nacional. En promedio entre los meses de mayo y noviembre, se presentan 25 ciclones con vientos mayores a los 63 km/h (15 en el Pacífico y 10 en el Atlántico).

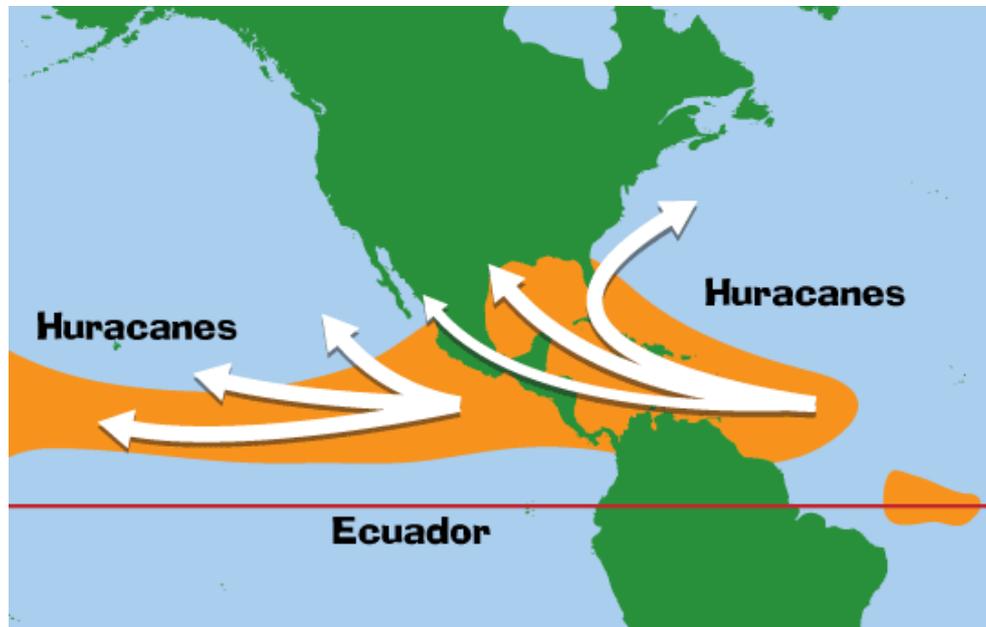


Figura 2.4. Regiones ciclogénicas. Imagen tomada de <http://spaceplace.nasa.gov/hurricanes/sp>

El impacto destructivo de los ciclones, depende de su intensidad, duración y del núcleo urbano al que golpee.

En la tabla 2.3, se describen los daños ocasionados por algunos huracanes que han azotado a la República Mexicana desde el año de 1955 y en la Figura 2.5 se muestra la trayectoria de alguno de estos meteoros.

Fecha	Huracán	Océano	Estados afectados	Victimas	Damnificados	Daños
1955 4-6/Sept.	Gladys	Atlántico	Veracruz y Tamaulipas			Inundaciones en las zonas bajas de la ciudad de Tampico.
1955 10/Sept.	Hilda	Atlántico	San Luis Potosí		1,200	Inundación de la ciudad de Tampico, con una altura máxima de 3.30 m sobre la media marea, el 25 de Septiembre.
1955 21-30/Sept.	Janet	Atlántico	Yucatán y Quintana Roo	12,000	52,530	La cortina de la presa San José, S.L.P. fue sobrepasada sin fallar esta. Parte de la ciudad de S.L.P. se inundó. Puentes dañados. Viviendas en soledad D. Gutiérrez fueron destruidas por el desbordamiento del río Santiago el 30 de Septiembre. Inundación en Tampico con un nivel máximo de 5.88 m, el 6 de octubre. Pérdidas de aproximadamente 20,000 cabezas de ganado.
1959	Ciclón de Manzanillo	Pacífico	Colima y Jalisco	1,500	>1600	Una flota de tres barcos mercantiles naufragó. 25% de las casas en Cihuatlán fueron totalmente destruidas. Carreteras dañadas y trenes descarrilados.
1967 8-23/Sept.	Beulah	Atlántico	Tamaulipas, Nuevo León, Yucatán y Quintana Roo	19	100,000	Severas inundaciones en las ciudad de Reynosa y Matamoros. Vientos de hasta 200 km/h. Daños severos en Cozumel con el 40% de las casas destruidas. Fueron dañados barcos y muelles en la costa este de Yucatán. Hubo pérdida en cultivo de maíz.
1967 29/Agosto-1/Sept.	Katrina	Pacífico	Guerrero, Baja California Sur, Baja California, Sonora y Nayarit.	15	30,000	Daños importantes en los túneles de la presa Infiernillo por cavitación.
1968 10-13/Sept.	Naomi	Pacífico	Colima, Sinaloa, Durango, Jalisco, Coahuila, Sonora y Chihuahua.	10	50,000	60,000 hectáreas de cultivo afectadas. Severas inundaciones en Torreón, Gómez Palacio, Chihuahua y otras ciudades en Jalisco y Sinaloa. Caminos y zonas agrícolas dañadas.
1976 29/Sept.-1/Octubre	Liza	Pacífico	Baja California Sur y Sonora	>1000	10,000-12,000	Se produjo una avenida súbita en la ciudad de la Paz con graves inundaciones. Ello se debió a la falla de un bordo de protección de la ciudad.
1988 14-17/Sept.	Gilbert	Atlántico	Yucatán, Quintana Roo, Campeche, Tamaulipas, Nuevo León y Coahuila.	250	150,000	Vientos de hasta 300 km/h en Cozumel con oleaje de hasta 5 m de altura. Resultaron seriamente dañadas amplias zonas turísticas, agrícolas y boscosas. Sobre elevación del nivel medio del mar cercana a 2.5 m. Los daños por precipitación pluvial se registraron básicamente en N.L., Coahuila. Y Tamps. El mayor número de víctimas (200 muertos) se registro en la ciudad de Monterrey sobre el río Santa Catarina. Decenas de miles de viviendas afectadas.

Tabla 2.3. Daños provocados por los huracanes más destructivos que han afectado a la República Mexicana. SEGOB-CENAPRED, 2001.

Fecha	Huracán	Océano	Estados afectados	Victimas	Damnificados	Daños
1993 17-21/Sept.	Gert	Atlántico	Veracruz, Hidalgo, San Luis Potosí y Tamaulipas.	40	75,000	Se desbordó el río Tamesí. En el estado de Hidalgo se registraron 35 municipios afectados: 15 decesos; 17390 damnificados; 4,425 viviendas afectadas; 18 carreteras; 68 caminos; 38 puentes; 35 ríos desbordados; 23 sistemas de agua potable; 67,600 hectáreas de cultivo y 361 comunidades incomunicadas. En el estado de San Luis Potosí 25 decesos; 55,000 damnificados; pérdidas en un 80% de las cosechas. Una gran cantidad de cabezas de ganado se perdieron. En Tamaulipas se inundaron 22 municipios, 17 colonias en Tampico y 11 colonias en Altamira. Veracruz resultó dañado por inundaciones sin pérdidas de vidas.
1995 12-16/Sept.	Ismael	Pacífico	Sonora, Sinaloa y Baja California Sur	150-200	24,111	Una intensa lluvia se registró sobre Guasave la cual provocó la inundación de algunas áreas por espacio de varias semanas. En Ahome resultaron destruidas 373 casas por el efecto del viento. Murieron pescadores en Sinaloa. 40 embarcaciones fueron hundidas. Se interrumpieron los principales servicios públicos. 4,728 casa destruidas por inundación y 21,500 ha de cultivos afectadas.
1995 27/Sept-5/Oct.	Opal	Atlántico	Veracruz, Campeche, Tabasco, Quintana Roo y Yucatán.	45	250,000	19 personas murieron debido a inundaciones. Se desbordaron los ríos Grijalva y Usumacinta. En Cd. Del Carmen el 90% de las casas fueron dañadas. 300 reses perecieron en Campeche. Se dañaron varios puentes y carreteras. En Yucatán más de 200 embarcaciones sufrieron deterioro.
1995 8-20/Octubre	Roxanne	Atlántico	Veracruz, Campeche, Tabasco, Quintana Roo y Yucatán.	6	40,000	Los ríos Nautla, Colipa, Actopan, Misantla, Bobos, Grijalva y Usumacinta se desbordaron. Se presentó la peor marejada de Veracruz en los últimos 50 años. Cd. del Carmen se inundó en un 95%. En Campeche se perdieron el 80% de cultivos de maíz, 50% de la actividad pecuaria, 30% de la avicultura y 60% de ganadería. En Tabasco 3000 reses perecieron. En Quintana Roo 60% de los 850 km de playa fueron arrasados, 350,000 ha de vegetación diversa se perdieron, se perdió el 90% de la cosecha de maíz y chile y 65,000 aves murieron. La característica particular de este huracán fue su trayectoria tan irregular.
1997 5-10/Octubre	Pauline	Pacífico	Guerrero y Oaxaca.	393	> 50,000	54,000 casas dañadas, 122,282 ha de cultivos dañadas y 80,000 ha de bosques y selvas perdidos en Oaxaca. Se presentaron inundaciones, 20 puentes carreteros y varias carreteras se dañaron. Hubo 350 deslizamientos e interrupción de servicios públicos.

Tabla 2.3. Continuación. Daños provocados por los huracanes más destructivos que han afectado a la República Mexicana. SEGOB-CENAPRED, 2001.

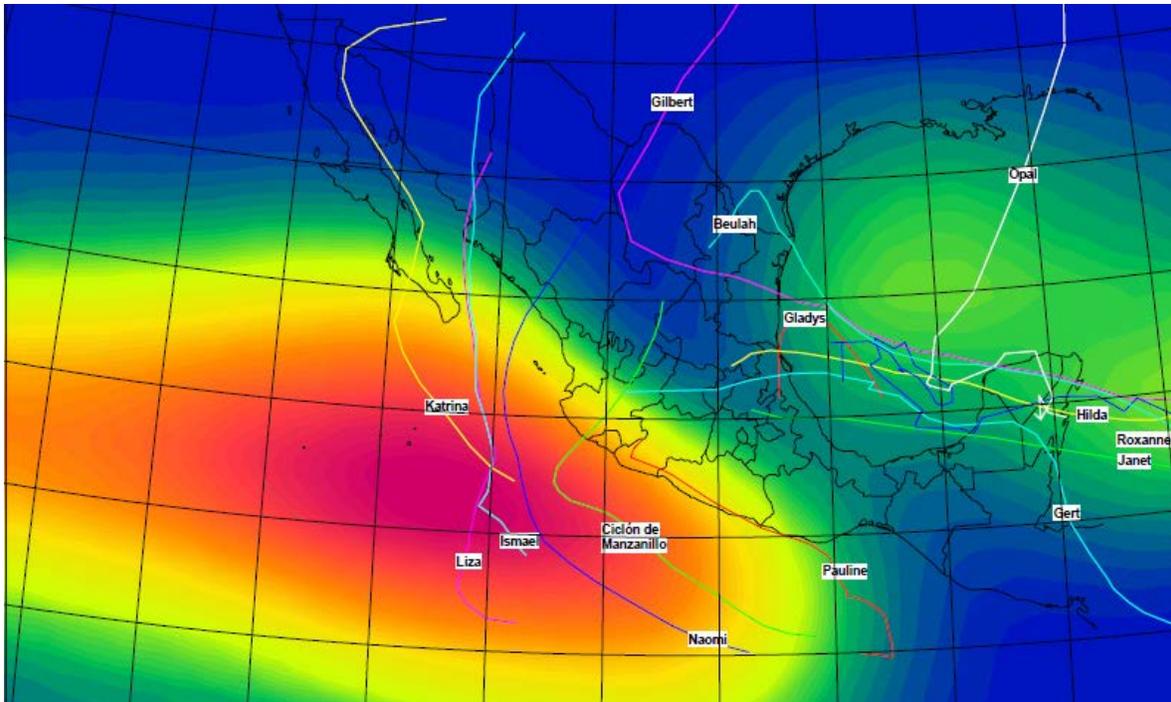


Figura 2.5. Probabilidad de paso de un huracán en el periodo de 1960 a 1995 y trayectoria de los huracanes más destructivos que han afectado al país. SEGOB-CENAPRED, 2001.

Si bien, generalmente se escribe sobre los estragos ocasionados por este tipo de eventos meteorológicos, se debe de hacer un espacio para comentar que los ciclones no solo traen desgracia a su paso; gracias a ellos y al volumen de precipitación que traen, se vuelven fuente de recarga y almacenamiento en muchas presas del país. Ayudando de manera importante a las zonas con muy poca precipitación.

2.2. Inundaciones.

Una inundación se presenta cuando el suelo totalmente saturado no permite la absorción del agua. Estos eventos hacen que el agua deba escurrir en el terreno hasta cubrirlo durante un cierto tiempo.

Generalmente se toma como inundación, cuando la altura del agua es mayor a los 25 cm SEGOB-CENAPRED, 2001.

Una de las causas principales de las inundaciones son los **ciclones tropicales**; por tener extensos litorales, la República Mexicana es afectada por éstos y en consecuencia se presentan varias inundaciones.

Las Avenidas o escurrimientos súbitos como también se nombran, producen otro tipo de inundaciones, ocurriendo principalmente por el ingreso de agua de lluvia o por las descargas de una presa en un río incrementando, en poco tiempo, la cantidad de agua que fluye en él. La inundación se presentará cuando el tirante de agua en el cauce excede la elevación de las márgenes. Dependiendo de la rapidez con que se presenta el cambio en la cantidad de volumen se puede

hablar de avenidas, las cuales tienen un efecto destructivo debido a que concentran, en un lapso corto de tiempo, una gran cantidad de agua con una velocidad de gran magnitud que las hace destructivas.

Se puede afirmar que en cualquier región de México existe la posibilidad de sufrir inundaciones; sin embargo, las inundaciones más frecuentes se dan en las partes bajas o en las inmediaciones a las costas. Se estima que aproximadamente 140 personas fallecen anualmente en México por esta causa.

En la tabla 2.4, se muestra una pequeña reseña histórica realizada por el CENAPRED, donde se mencionan las avenidas más importantes registradas en la República Mexicana.

Para poder prevenir las inundaciones, es necesario conocer las características del suelo, el estado morfológico de la cuenca y más importante, la población e infraestructura que podría ser dañada a causa de este fenómeno.

No.	Fecha	Estado	Municipio	Descripción
1	3-ago-09	Nuevo León	Monterrey	Pérdidas por 20 millones de pesos y cerca de 1,000 personas ahogadas.
2	10-jun-37	Michoacán	Tlalpujahua	Más de un centenar de desaparecidos. Los bordos de contención se rompieron en la presa de <<jales>> de la mina Dos Estrellas.
3	12-sep-44	Chihuahua. Durango		Cerca de 100 muertos y miles de heridos. Parral incomunicado; en Bermejillo, Dgo, se derrumbaron más de 100 casas.
4	12-sep-85	Nayarit		Pérdidas estimadas en 4,200 millones de pesos; 48,000 damnificados.
5	10-sep-90	D.F.	Coyoacán	Inundaciones de más de medio metro después de dos horas de aguacero con tormentas eléctricas.
6	8-ago-90	Chihuahua	Serrana de Madera	Fuertes avenidas de un río arrasaron con más de 300 viviendas en la población.
7	10-nov-93	B.C.S.	Los Cabos	10,000 damnificados por las lluvias en los Cabos. Las fuertes lluvias alcanzaron 670 mm en 24 horas, casi tres veces el promedio anual.
8	8-sep-98	Chiapas		407 muertos, 353 poblaciones afectadas y 28,753 damnificados.

Tabla 2.4. Reseña histórica de los principales escurrimientos súbitos registrados en México. SEGOB-CENAPRED, 2001.

No.	Fecha	Estado	Municipio	Descripción
9	17-ago-98	D.F.	Milpa Alta	Intensas precipitaciones a causa de una lluvia intensa, 57 mm en 50 minutos; la precipitación más intensa en los últimos 60 años provocó la caída de árboles y postes de energía eléctrica.
10	8-feb-98	B.C.	Tijuana	Desalojo en Tijuana y Rosarito por las lluvias de El Niño. Casi 1,000 damnificados y un total de 584 personas en albergues luego que sus viviendas fueron destruidas o dañadas por las corrientes y deslaves de toneladas de lodo provocados por las intensas lluvias, dejando 14 muertos y más de 50 colonias inundadas.

Tabla 2.4. Continuación. Reseña histórica de los principales escurrimientos súbitos registrados en México. SEGOB-CENAPRED, 2001.

2.3. Cuantificación de la Precipitación y escurrimiento

Usualmente cualquier medida para el control de inundaciones requiere identificar cuál será la zona inundada con una cierta frecuencia desde el punto de vista estadístico.

Para ello es necesario conocer no sólo la capacidad de conducción del cauce, sino también la frecuencia con la que se presentan tanto los caudales y los volúmenes de lluvia sobre la cuenca. Lo anterior se logra recurriendo a la información histórica.

2.3.1. Estaciones Climatológicas

Para conocer el volumen de agua precipitable es necesario contar con los valores de las variables meteorológicas, para ello se recurre a las **Estaciones climatológicas**.

El objetivo de estas es poder medir las variables:

- Temperatura,
- Precipitación pluvial,
- Evaporación,
- Velocidad y dirección del viento.

Hasta el año 2012, en México existían 3,817 estaciones oficiales en uso, Figura 2.6. Si bien la cantidad de estaciones climatológicas pareciera algo grande, no son suficientes para cubrir la extensión territorial.



Figura 2.6. Estaciones Climatológicas. Imágenes tomadas del Atlas del agua en México 2012, CONAGUA.

La base de datos climatológica nacional es administrada por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de la CONAGUA. Aunque es extremadamente amplia, tiene un problema recurrente en todos los países en vías de desarrollo del mundo: tiene una **cantidad importante de datos faltantes**, por lo que las series de tiempo de lluvias mostrarán interrupciones.

La información digitalizada de la información meteorológica se encuentra disponible en el disco **ERIC**, que es el acrónimo de Extractor Rápido de Información Climatológica.

De acuerdo con CONAGUA, 2012, actualmente se tiene una carencia de estaciones climatológicas en el norte, noreste y sureste del país, principalmente entre los estados de Chihuahua y Coahuila.

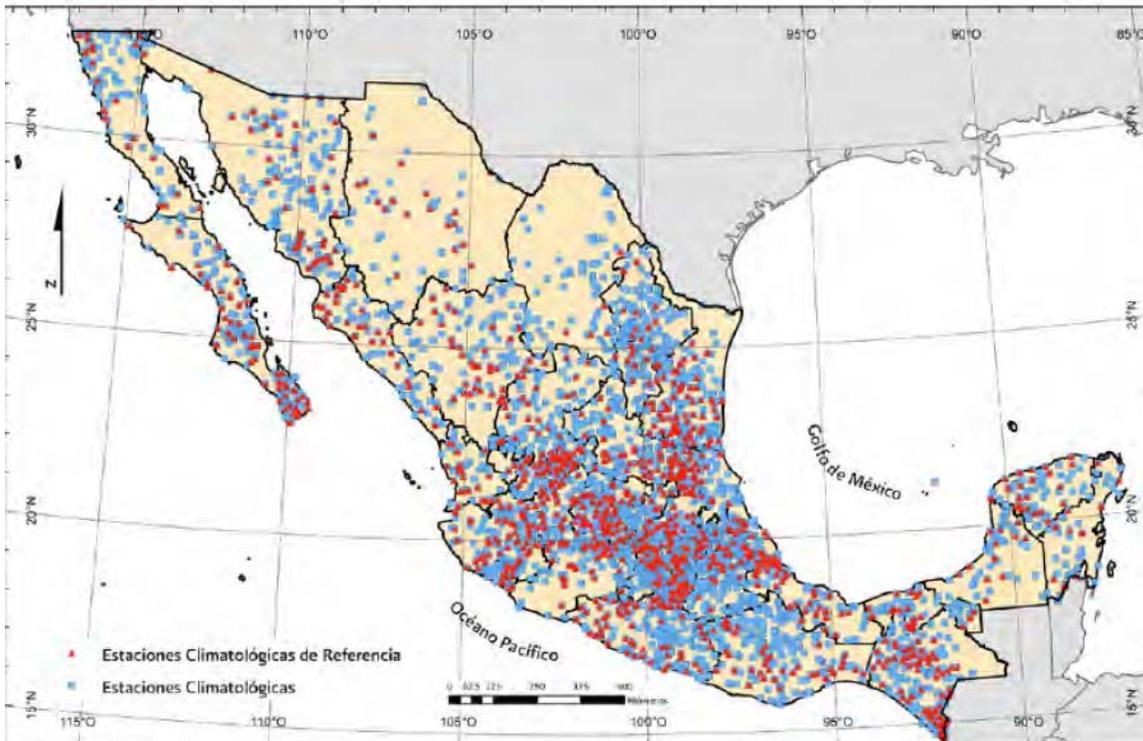


Figura 2.7. Distribución de estaciones climatológicas en México. CONAGUA 2012.

2.3.2. Estaciones Hidrométricas

Las **estaciones hidrométricas** se encargan de medir y registrar la cantidad de gasto que fluye en los ríos, canales, tuberías y presas que hay en el territorio nacional. Esta información a su vez, es utilizada por los diferentes organismos tanto públicos como privados para conocer la disponibilidad del recurso, así como su cantidad y los más importante, su distribución.

En la actualidad en México existen 368 estaciones hidrométricas Figura 2.9, las cuales se encuentran distribuidas a lo largo del territorio nacional.

De acuerdo con la CONAGUA 2012, el país presenta una marcada concentración de estaciones en las Regiones Hidrológico-Administrativas IV, VIII, X y XI, en contraste con las regiones I, VI, VII, IX y XII.

La información que se puede extraer de cada estación hidrométrica es:

- **Valores diarios:** Gasto medio diario (m^3/s) mensual.
- **Valores mensuales:** Se incluyen la hora y el día del gasto máximo y el gasto mínimo (m^3/s). Además de la lectura de volumen máximo y medio de escurrimientos (miles de m^3), sedimentos (miles de m^3) y la lectura del día y hora de las escalas para el gasto mínimo, medio y máximo.
- **Valores anuales:** Menciona el mes, día y hora en que ocurre el gasto máximo y gasto mínimo (m^3/s). La lectura de escala para el gasto máximo y mínimo (m), además del volumen anual de escurrimientos (miles de m^3), gasto medio anual (m^3/s) y volumen anual de sedimentos (miles de m^3).
- **Hidrograma:** Incluye la fecha y hora en que ocurre el gasto, Gasto instantáneo (m^3/s).
- **Limnigrama:** Muestra la fecha y hora de lectura y lectura de escala (m).
- **Sedimentos:** Se incluye la fecha, hora de lectura y porcentaje de sedimento.

La CONAGUA, por medio de la Subdirección General Técnica (SGT) y a través de la Gerencia de Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos (GASIR) es la encargada de integrar todas las mediciones hidrométricas que se hayan realizado en el pasado (además de ser la operadora de la mayoría de las estaciones de este tipo). Con cierta regularidad los datos medidos se capturan en el Sistema de Información de Aguas Superficiales (SIAS). Los valores que se pueden encontrar son: Lectura de escalas, resúmenes de aforo y sedimentos y mediante procesos matemáticos se realiza el cálculo hidrométrico donde los productos son: gastos medios diarios, gastos instantáneos, datos mensuales y anuales, así como gráficas de las avenidas correspondientes, curvas de gastos e hidrogramas; adicionalmente a esto, en el SIAS, se captura la climatología (lluvia y evaporación), la curva elevación-área-capacidades, datos hidrométricos aguas arriba y/o aguas abajo de la presa de tal manera que se calcule el funcionamiento diario, mensual y anual de las presas; estos datos de hidrometría y presas son los que alimentan al Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales (BANDAS).

Esta base de datos, se complementa con los datos medidos en las estaciones hidrométricas, que aún no han sido calculados y publicados, éstos se encuentran en los expedientes de las áreas técnicas de los Organismos de Cuencas o de las Direcciones Locales correspondientes de CONAGUA.

El BANDAS cuenta con los datos de 2,070 estaciones hidrométricas, las cuales son el resultado de una depuración al catálogo BANDAS hecho en 2008 por la CONAGUA y el IMTA. Aproximadamente 480 estaciones fueron actualizadas hasta el año 2006 y tiene registradas aproximadamente 180 presas.

2.4. Zonas de Riesgo en la República Mexicana

De acuerdo con el aforo realizado en las estaciones hidrométricas o hidrometeorológicas, se pueden establecer las zonas con riesgo a presentar inundaciones. A continuación se presentaran cuatro figuras donde se señalan estas regiones.

En la Figura 2.10 se muestra el grado de riesgo de sufrir inundaciones por la presencia de avenidas originadas por lluvia ciclónica.

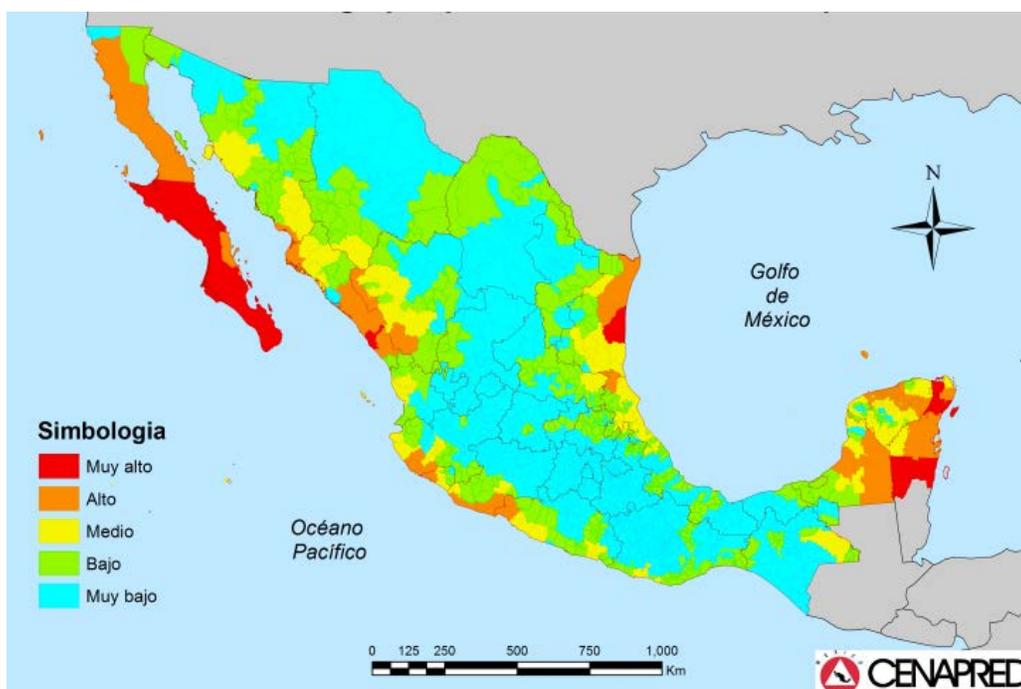


Figura 2.10. Grado de riesgo de inundaciones súbitas por presencia de ciclones tropicales. SEGOB-CENAPRED, 2001.

Sin importar el origen de la inundación, en las siguientes figuras se muestran las zonas de riesgo inundables a nivel nacional. En la Figura 2.11 se muestran las ciudades con más de 10,000 habitantes donde las inundaciones son frecuentes; este mapa según indica la fuente, fue realizado por reportes periodísticos.

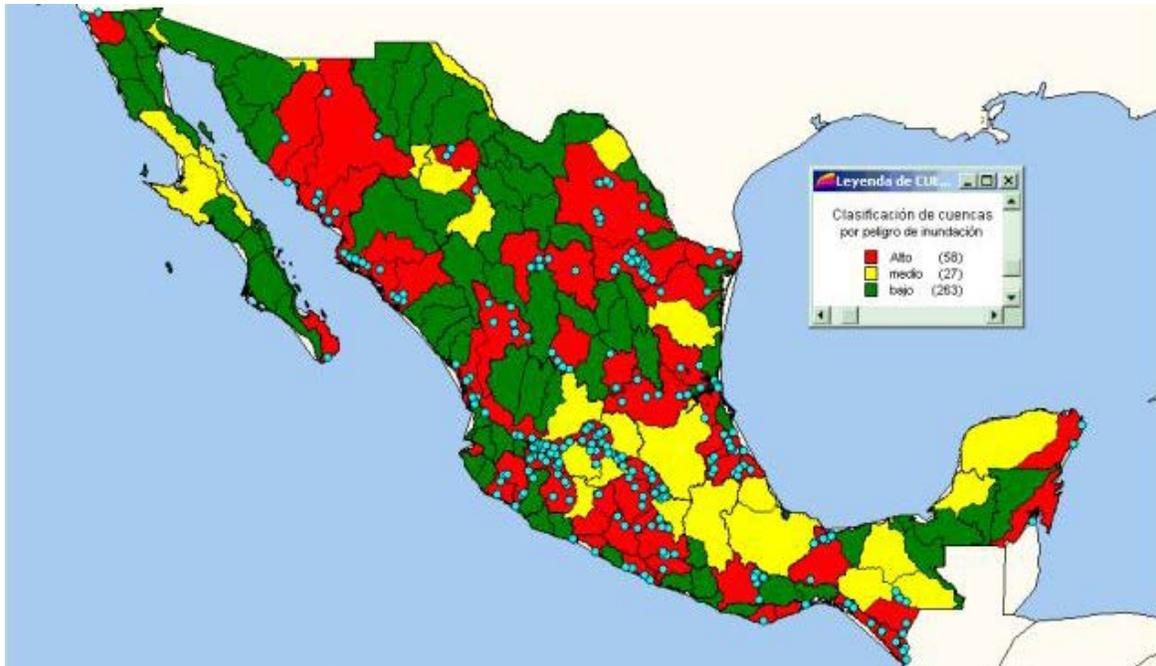


Figura 2.11. Localidades de más de 10,000 habitantes ubicadas en cuencas de alto peligro por inundaciones. <http://www.cenapred.unam.mx>

En la Figura 2.12 se muestran las zonas susceptibles a inundaciones con más de 50,000 habitantes.



Figura 2.12. Localidades de más de 50,000 habitantes ubicadas en cuencas de alto peligro por inundaciones. <http://www.cenapred.unam.mx>

La Figura 2.13 muestra las zonas en riesgo a presentar inundaciones en el Distrito Federal.

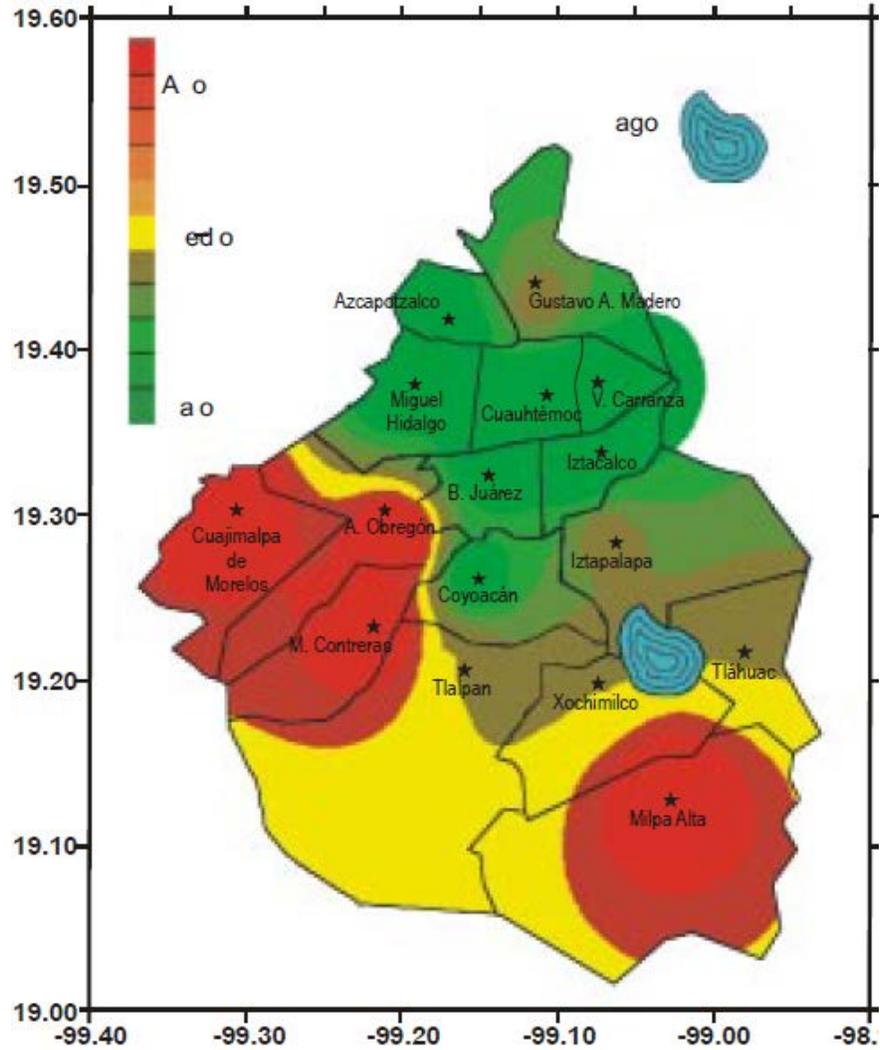


Figura 2.13. Zonas de peligro por inundaciones en el Distrito Federal basadas en avenidas. SEGOB-CENAPRED, 2001.

2.4.1. Acciones estructurales para evitar o reducir inundaciones

Estas acciones consisten en la construcción de obras que interfieren directamente con el agua de lluvia o con la que escurre por los ríos, para impedir su paso, confinarla, encauzarla, almacenarla o modificar su velocidad de desplazamiento.

Las obras que comúnmente se construyen para reducir inundaciones causadas por los desbordamientos de los ríos, son:

- a) Bordos perimetrales a poblaciones o construcciones de importancia (zonas cuyo interés por protegerlas es grande).
- b) Bordos longitudinales a lo largo de una o ambas márgenes de un río.
- c) Muros longitudinales a lo largo de una o ambas márgenes del río.
- d) Desvíos permanentes por medio de cauces de alivio o estructuras de encauzamiento, en las que el agua es dirigida hacia otros cauces, lagunas, costeras o directamente al mar, y no retorna al río.
- e) Desvíos temporales a lagunas o zonas bajas de la planicie de inundación. El agua retorna al río cuando disminuyen los gastos de la avenida.
- f) Corte de meandros o rectificaciones para incrementar la pendiente del río y por tanto su capacidad de conducción hidráulica.
- g) Presas de almacenamiento, que puede ser una o varias escalonadas.
- h) Presas rompe-picos, generalmente se construyen varias escalonadas.
- i) Presas para retener azolves, las cuales, no afectan los hidrogramas pero evitan el azolvamiento de otros cauces y por tanto la pérdida de su capacidad hidráulica.
- j) Canalización o entubamiento de un cauce, se utilizan en los tramos en que los arroyos o ríos que cruzan poblaciones o ciudades. Se deben construir con una capacidad adicional para absorber picos, o diseñarse en conjunto con estructuras de desvío permanente.

2.5. Eventos Hidrometeorológicos Ingrid y Manuel

En el año 2013, en las costas de la república Mexicana se presentaron una serie fenómenos hidrometeorológicos que la CONAGUA califica como “inéditos”, la formación y llegada a tierra de manera consecutiva de dos ciclones, Figura 2.14, causando afectación a casi 31 estados y al Distrito Federal.

De acuerdo con el Plan Operativo de Huracanes de la IV Región de la Organización Meteorológica Mundial, los nombres que fueron asignados durante la Temporada de 2013 son los siguientes:

Pacífico Oriental			Atlántico, Golfo de México y Mar Caribe		
Nombre	Duración	Categoría	Nombre	Duración	Categoría
Alvin	15 - 17 May	T T	Andrea	05 - 08 Jun	T T
Bárbara	28 - 30 May	1	Barry	17 - 20 Jun	T T
Cosme	23 - 27 Jun	1	Chantal	07 - 10 Jul	T T
Dalila	28 Jun - 07 Jul	1	Dorian	24 - 27 Jul	T T
Erick	04 - 09 Jul	1	Erin	14 - 18 Ago	T T
Flossie	24 - 27 Jul	1	Fernand	25 - 26 Ago	T T
Gil	30 Jul - 05 Ago	1	Gabrielle	04 - 13 Sept	T T
Henriette	03 - 08 Ago	2	Humberto	08 - 19 Sept	1
Ivo	22 - 25 Ago	T T	Ingrid	12 - 17 Sept	1
Juliette	28 - 29 Ago	T T	Jerry	28 Sept - 03 Oct	T T
Kiko	30 Ago - 02 Sept	1	Karen	03 - 06 Oct	T T
Lorena	05 - 07 Sept	T T	Lorenzo	21 - 24 Oct	T T
Manuel	13 - 20 Sept	1	Melissa	18 - 21 Nov	T T
Narda	06 - 10 Oct	T T	Nestor		
Octave	12 - 15 Oct	T T	Olga		
Priscilla	14 - 16 Oct	T T	Pablo		
Raymond	19 - 30 Oct	3	Rebekah		
Sonia	01 - 04 Nov	T T	Sebastien		
Tico			Tanya		
Velma			Van		
Wallis			Wendy		
			Xina		
			York		
			Zelda		

T T: Tormenta Tropical

Tabla 2.5. Nombres y categoría para Huracanes o Ciclones del año 2013.

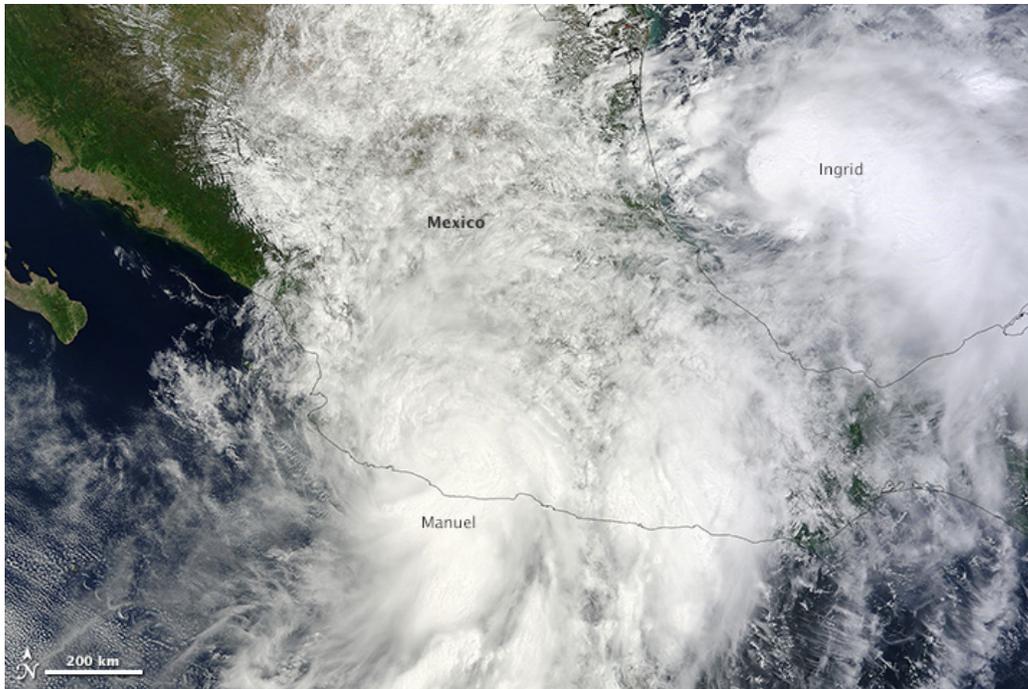


Figura 2.14. Imagen satelital de Ingrid y Manuel, Comunicado de prensa No. 649-13, CONAGUA, México.

Las lluvias inéditas, ocurrieron entre los días 11 al 18 de Septiembre del 2013. La llegada de estos dos fenómenos a costas mexicanas provocó que en muchos estados de la República se superaran las precipitaciones históricas. En la Tabla 2.6 se puede observar la precipitación registrada en dichos días.

ESTADO	ESTACIÓN	ACUMULADO mm
Guerrero	San Isidro Protección Civil	987.2
San Luis Potosí	Temamatla	661.8
Puebla	Mazatepec (CFE)	528.1
Michoacán	La Villita (CFE)	519.6
Veracruz	Tuxpan	510.8
Tamaulipas	Presa Vicente Guerrero	476.8
Hidalgo	Huejutla	469.2
Oaxaca	Huatulco (Semar)	465.9
Nuevo León	La Boca	406.7
Coahuila	Jiménez (Gasir)	354.5
Chiapas	Cacaluta	337.4
Colima	Peñitas	321..8

Tabla 2.6. Precipitación Acumulada del 11 al 18 de septiembre del 2013. Comunicado de prensa No. 649-13, CONAGUA, México.

ESTADO	ESTACIÓN	ACUMULADO mm
Jalisco	Cajón de Peña	246.0
Yucatán	Vallalodid	245.2
Quintana Roo	Felipe Carrillo Puerto	230.8
Nayarit	Pajaritos	209..2
Sinaloa	Sanalona (CFE)	209.1
Durango	P. Caboraca	173.4
Chihuahua	Hgo del Parral Obs (SMN)	162.8
Guanajuato	Xichu	158.5
Campeche	Escarceaga	143.0
Zacatecas	Río Grande	142.5
México	Texcaltitlan	131.6
Aguascalientes	Pabellón	114.9
Tabasco	Pueblo Nuevo (Gasir)	105.5
Morelos	Presa El Rodeo	102.8
D.F.	Desviación Alta	90.5
Sonora	Tesocoma	71.5
Baja California Sur	San Antonio	68.2
Tlaxcala	San Pablo del Monte	65.0
Querétaro	Presa Zimapan	53.5
Baja California	Presa López Zamora (SMN)	51.8

Tabla 2.6. Continuación. Precipitación Acumulada del 11 al 18 de septiembre del 2013. Comunicado de prensa No. 649-13, CONAGUA, México.

A continuación se describirá, por parte de los elaboradores de la tesis, la cronología y los daños que provocaron estos eventos basándose en fuentes periodísticas nacionales mismas que se citan en el apartado de la Bibliografía.

2.5.1. Cronología de los ciclones. Prensa Nacional.

- Viernes 13 de Septiembre 2013
 - Se forman los ciclones Ingrid y Manuel, en el sur del Golfo de México y el Pacífico respectivamente.
- Sábado 14 de Septiembre 2013
 - Se prevén crecidas de ríos en 4 estados, por lo que se mantiene alerta.
 - Ingrid se convierte en huracán categoría uno.
 - Los estados más afectados son: Colima y Guerrero en el Pacífico y Tamaulipas junto con Veracruz en el Golfo de México.
 - Protección civil del estado de Veracruz informa que 14 vías de comunicación habían sido afectada por Ingrid. Además se evacuaron cerca de 12 municipios del norte del estado.

- Domingo 15 de Septiembre 2013
 - Un total de 6 mil 265 personas damnificadas se refugian en albergues.
 - Se espera que hoy toque tierra Manuel, por lo que los estados de Michoacán, Colima y Guerrero están en alerta máxima.
 - Mientras tanto, Ingrid se desplaza hacia las costas de Tamaulipas.
 - La CONAGUA informa que se esperan lluvias fuertes en los estados de Jalisco, Colima, Nayarit, Oaxaca, Morelos y en el Estado de México.
 - La Secretaría de Gobernación confirma 21 decesos por los dos huracanes.
 - Por la tarde cerca de las 16:00 horas Manuel toca tierra en el estado de Colima.
 - El ejército y fuerza aérea mexicanos empiezan la aplicación del Plan DN-III.

- Lunes 16 de Septiembre 2013
 - Ingrid se debilita a tormenta tropical.
 - A su vez Manuel comenzó a disiparse, pero sin dejar de propiciar fuertes lluvias en el occidente y centro de país.
 - Aunque las dos anteriores son buenas noticias, en la madrugada de este día Acapulco amanece totalmente inundado e incomunicado.
 - Al final de la jornada hay 300 mil damnificados 42 fallecimientos causados por este par de huracanes. Estos decesos incluyen los 12 que fueron ocasionados por el alud de arena que se produjo en Veracruz.
 - En este mismo estado el gobierno, reubica a cerca de 2,500 personas por el miedo al desbordamiento del río Pánuco.

- Martes 17 de Septiembre 2013
 - Se esperan aun fuertes lluvias por ambos ciclones, afectando principalmente a los estados del noreste, noroeste, occidente, oriente y sur de la República Mexicana.
 - Se establece un puente aéreo con Acapulco.
 - Para el cierre de esta jornada, 263 mil personas habían sido afectadas en su suministro de energía eléctrica.
 - Tan solo para Guerrero se liberan 238 millones de pesos pertenecientes al Fondo Nacional de Desastres, FONDEN.
 - En Oaxaca se declaran en emergencia 49 municipios, mientras que la marina despliega 1,500 elementos en zona de desastre en Tamaulipas.
 - El río Usumacinta continúa desbordado.
 - Para la tarde de este día, los remanentes de Manuel, vuelven a tomar fuerza convirtiéndose en depresión tropical enfrente de las costas de Sinaloa y tomando rumbo hacia la península de Baja California.
 - Al final de este día Protección Civil del estado de Guerrero reportaba que había 11,591 viviendas afectadas, 25 ríos desbordados así como 16 muertos y 15 desaparecidos, estos últimos en la zona de la montaña.
 - Se declaran 56 municipios del estado de Guerrero, 11 de Oaxaca y 2 de Chihuahua como zonas de desastre.
 - Horas más tarde aumentan a 77 los municipios declarados como zona de desastres, se les suman 8 en Veracruz.

- Miércoles 18 de Septiembre 2013
 - Se reportan dos fallecimientos en Tamaulipas por Ingrid.
 - El río Marabasco en Colima se desborda, el Panuco está a 8 centímetros de hacer lo mismo y en el estado de Tamaulipas continúan con derrumbes e inundaciones.

2.5.1.1 Ciclón Manuel. Monitoreo Por CONAGUA

Este evento meteorológico tomó gran relevancia a nivel nacional debido a los daños ocasionados principalmente en el estado de Guerrero, y mayormente en la ciudad de Acapulco antes de degradarse, pero quedando remanentes volvió a tomar fuerza ocasionando severos daños al estado de Sinaloa.

- En el comunicado de prensa No. 610-13, citado el día **11 de Septiembre de 2013**, la CONAGUA menciona que se localizó una zona de baja presión, con baja probabilidad de convertirse en ciclón, a tan solo 285 km de Tapachula, Chiapas. Se advierte a la población que esté alerta. En este momento se calcula que tendría una probabilidad de 10% de volverse ciclón tropical en los próximos 2 días y un 20% proyectándolo a 5 días.
- Se informa que se generan lluvias fuertes en los estados de Oaxaca, Guerrero y Chiapas provocados por la perturbación tropical mencionada. Al mismo tiempo la CONAGUA en el comunicado de prensa No. 612-13, publicado el **12 de Septiembre de 2013**, menciona en el pronóstico por regiones que "el Pacífico Centro presenta condiciones que favorecen cielo de medio nublado a nublado, probabilidad de lluvia moderada a fuerte del 80% con actividad eléctrica. Temperaturas cálidas a calurosas. Viento de componente Sur de 25 a 40 km/h con rachas. Mientras en el Pacífico Sur con cielo de medio nublado a nublado, probabilidad de lluvia muy fuerte a torrencial del 80% con actividad eléctrica. Temperaturas calurosas. Viento del Este de 25 a 40 km/h con rachas.

A su vez en el comunicado 614-13, publicado en la misma fecha, se menciona que la probabilidad de que este disturbio tropical se convierta en tormenta tropical aumenta a un 30%. En el comunicado 616-13, se advierte que ha alcanzado la probabilidad un 50% de alcanzar el nivel de tormenta tropical proyectado para dos días y proyectando a 5 alcanza un 60%.

- El **13 de Septiembre de 2013** a las 5:30 horas, la CONAGUA informa en su comunicado de prensa No 617-13, que el disturbio tropical del pacífico se encuentra a 150 km de Acapulco, Guerrero. Horas más tarde el centro nacional de huracanes de Estados Unidos de América aviso de la formación de la depresión tropical trece-E, con una ubicación de 240 km al suroeste de Zihuatanejo. Registrando vientos máximos de 55 km/h, con rachas de 75 km/h y con una dirección al noroeste a 6 km/h según lo descrito en el comunicado No. 619-13 de la CONAGUA.

A las 16:00 horas de esta fecha, CONAGUA informa, en su comunicado No. 620-13 que la depresión tropical trece-E, se ha convertido en la tormenta tropical Manuel; siendo este el ciclón tropical número 13 con nombre, en el pacífico de la temporada 2013.

- Manuel se ubica a 200 km de Lázaro Cárdenas, Michoacán a las 11 horas del día **14 de Septiembre de 2013**, según lo notificado en el comunicado de prensa No. 622-13 de la CONAGUA.; teniendo vientos de hasta 85 km/h y rachas de hasta 10 km/h. Esta tormenta tropical se perfila hacia el norte con una velocidad de 9 km/h. Se prevé que pueda tocar tierra la madrugada del domingo 15.
- El **domingo 15 de Septiembre de 2013**, la CONAGUA en el comunicado de prensa número 628-13, informa que Manuel se degradó a depresión tropical presentando vientos de 55 km/h y rachas de hasta 75 km/h. En esta fecha Manuel se localizaba a tan solo un kilómetro de las costas de Jalisco. Según el mismo organismo "se esperaban precipitaciones de 250 a 375 milímetros en los estados del occidente, el pacífico medio y el sur, especialmente en zonas montañosas, con acumulados puntuales de hasta 600 milímetros, equivalentes a la precipitación media anual de entidades como Querétaro y México.

Este día, Manuel impacta con las costas de la República Mexicana.

- Para el **lunes 16 de Septiembre de 2013**, debido a los remanentes de Manuel se mantienen numerosas precipitaciones a lo largo de la República Mexicana. Como lo menciona el comunicado de prensa de CONAGUA "se extienden por los estados de Jalisco, Colima, Michoacán y Guerrero, donde se esperan lluvias que podrían llegar a torrenciales. Asimismo, en Nayarit, Zacatecas, Guanajuato, Querétaro, Morelos, Oaxaca, Estado de México y Distrito Federal podrían presentarse precipitaciones de muy fuertes a intensas."
- **Martes 17 de Septiembre de 2013**, el Sistema Meteorológico Nacional advierte a la población que se mantenga alerta, debido al resurgimiento de la depresión tropical llamada Manuel. Este resurgimiento cuenta con viento de 55 km/h y rachas de 75 km/h. En esta fecha se localizaba a tan solo 75 kilómetros al suroeste de la costa de Mazatlán, teniendo un desplazamiento hacia las costas de Baja California Sur.
- La CONAGUA en su comunicado de prensa No. 639-13 citado el **18 de septiembre de 2013**, informa que Manuel se convierte en una tormenta tropical. A las 10:00 am, Manuel se localizaba a 115 kilómetros de la costa de La Cruz, Sinaloa. Teniendo vientos máximos sostenidos de entre 65 km/h, con rachas de 85 km/h. El Servicio Meteorológico Nacional (SMN) por estos datos esperaba que en la tarde noche de esta misma fecha Manuel se encontrará a 95 km de Altata, Sinaloa, con vientos máximos de 75 km/h y rachas de hasta 90 km/h.

A las 19:30 horas CONAGUA informa en su comunicado de prensa No. 642-13, que Manuel se convierte en huracán categoría uno debido al incremento de sus vientos de hasta 120 km/h. En el último comunicado el huracán Manuel se encontraba a 10 km de la costa de Sinaloa, con vientos de 120 km/h y rachas de hasta 150 km/h. Así mismo se esperaba oleaje de dos a cuatro metros en el Golfo de California y lluvias torrenciales de hasta 375mm.

- El **jueves 19 de Septiembre de 2013**, el huracán Manuel registra vientos de 120 km/h y rachas de hasta 150 km/h, encontrándose a tan solo 35 km de Altata Sonora según el comunicado de prensa No. 644-13 de la CONAGUA. El SMN informa a su vez que Manuel podrá tocar tierra este mismo día, degradándose a tormenta tropical.

A mediodía de esta fecha, Manuel se sitúa a 65 km de Altata degradándose a tormenta tropical. A su vez el SMN menciona que espera que se degrade a depresión tropical dispersándose en las montañas. En la noche de este día, como se tenía previsto, Manuel se degrada a baja presión, ocasionando lluvias en Sinaloa, Chihuahua y Coahuila.

- En el comunicado No. 652-13 fechado el **20 de Septiembre de 2013**, se informa que los remanentes de Manuel han ocasionado fuertes lluvias en Chihuahua, Coahuila y Durango. Esta es la última vez que la CONAGUA menciona a este ciclón, esto hace pensar que en esta fecha se dispersó como se tenía previsto.

La cronología descrita arriba, está basada en reportes hechos tanto por la CONAGUA y el centro nacional de huracanes de los EUA, los cuales son organismos dedicados a monitorear eventos de esta índole.

2.5.1.1.1. Destrucción causada por Manuel

La información de la siguiente tabla se basa solamente en notas periodísticas que fueron escritas en fechas cercanas al evento.

Estado	Municipios declarados zona de desastre	Fechas de las notas periodísticas	Descripción	Damnificados	Decesos
Guerrero	56 municipios afectados y el más importante fue Acapulco.	15-16 de Septiembre	Se inunda toda la zona diamante de Acapulco dejando varados a cerca de 40,000 turistas y ocasionando gran cantidad de daños materiales en esa zona. Así mismo no hay suministro de energía eléctrica. En la autopista del Sol se presentan varios derrumbes, haciendo que el puerto de Acapulco y muchos municipios más queden incomunicados por varios días.	Más de 1,500, 000 de damnificados en todo el estado de Guerrero.	Hasta el 15 de Septiembre existían registros de 15 decesos en este estado.
Sinaloa		19/09/13	Corte de energía eléctrica, precipitación de 150 mm. 462 escuelas en todo el estado han sido dañadas. Un 30% de las carreteras fueron afectadas por algún tipo de ruptura en su estructura. Al mismo tiempo se dañaron 145 mil hectáreas de cultivo así como el 80% de la producción de camarón se perdió.	100,000 en aproximadamente 90 comunidades.	Tres personas fallecieron a causa de este evento.

Tabla 2.7. Daños causados por el Huracán Manuel de acuerdo a fuentes periodísticas.

Estado	Municipios declarados zona de desastre	Fechas de las notas periodísticas	Descripción	Damnificados	Decesos
Oaxaca	Once municipios declarados zona de desastre.		Inundación de casas, cierre de carreteras y corte de energía eléctrica.	300 familias damnificados	11 decesos.
Colima	Diez municipios con declaratoria de zona de desastre.		Se estima que esta entidad tuvo pérdidas cercanas a los 242 millones 500 mil pesos. 15 mil hectáreas de plantación de limón pérdidas. Suspensión de clases por las fuertes lluvias.	1,600 damnificados por Manuel.	0 decesos.
Zacatecas	Ocho municipios fueron catalogados por la SEGOB como zona de desastre		Se presentaron desbordamientos de ríos y de presas.	1,300 damnificados.	Hasta el 17 de Septiembre no se reportaba ningún deceso.
Morelos	En este estado solo cuatro municipios.		Desbordamiento de ríos ocasionados por las fuertes lluvias. Pérdida de ganado vacuno y porcino, ya que fue arrastrado por los desbordamientos de los ríos.	Para el 16 de Septiembre, se tenían contabilizados 900 damnificados en el estado.	2 decesos se reportaron en Morelos.
Chihuahua	Tan solo 2 municipios entraron en este rubro.	19-21 de Septiembre	Lluvias torrenciales en el estado y se rebasaron los máximos históricos de algunos ríos.		No se reportaron defunciones.
Michoacán		21-24 de Septiembre	7 puentes afectados, 3,000 viviendas dañadas, así como 9 carreteras dañadas. 38, 000 hectáreas de cultivo perdidas en su totalidad. 9,000 unidades de animales afectados.	Más de 8,000 damnificados en todo el estado.	Un deceso
Total	91 municipios fueron declarados zona de desastre a causa de Manuel.				32 decesos.

Tabla 2.7. Continuación. Daños causados por el Huracán Manuel de acuerdo a fuentes periodísticas.

2.5.1.2. Ciclón Ingrid. Monitoreo por CONAGUA

Este evento meteorológico, al igual que Manuel, afectó a casi toda la República Mexicana, pero sobre todo, a los estados que colindan con el Golfo de México y mar Caribe. La CONAGUA mencionó por primera vez este ciclón el día 10 de Septiembre del 2013 como una perturbación tropical y por última vez el día 17 del mismo mes.

- La CONAGUA, el día **10 de Septiembre del 2013**, informó, que debido a la lejanía de la República Mexicana con los ciclones Humberto y Gabrielle, éstos no tendrían efectos sobre ella. A su vez comunicó que se generó una zona de baja presión con potencial ciclónico enfrente de las costas de Quintana Roo, este sistema tiene un 70% de convertirse en ciclón proyectándolo a 5 días. El sistema al que se hace referencia tenía un movimiento hacia el Oeste-Noroeste a 12 km/h. Se prevén lluvias en Quintana Roo, Campeche y Yucatán.

- En el comunicado No. 611-13 de la CONAGUA, publicado el día **11 de Septiembre de 2013**, se advierte que la baja presión aumenta a 40% su probabilidad de convertirse en ciclón en las próximas 48 horas, manteniendo el 70% de probabilidad para los próximos 5 días. Así mismo se esperan fuertes lluvias en la vertiente del Golfo de México.
- El **12 de septiembre de 2013**, la baja presión ubicada en el Golfo de México, evolucionó a la depresión tropical número 10 del Océano Atlántico, ubicándose a 200 km aproximadamente del Puerto de Veracruz. Desplazándose a 11 km/h con vientos máximos de 55 km/h y rachas de hasta 75 km/h.

Al cierre de este día, la CONAGUA informaba que esta depresión tropical avanzaría bordeando las costas del Golfo de México y tendría una gran probabilidad de convertirse en tormenta tropical. Su velocidad de desplazamiento bajo a 4 km/h pero manteniendo las mismas velocidades en sus vientos. Se encontraba a 235 km del Puerto de Veracruz y generará lluvias en Yucatán, Tabasco y Veracruz

- A las 10:30 del **13 de septiembre de 2013**, la CONAGUA informó que la depresión número 10 se fortaleció para dar paso a la tormenta tropical Ingrid, ubicándose a 95 km del puerto de Veracruz; dirigiéndose al oeste a 4 km/h.

Al cerrar el día, se informa que Ingrid está estacionado en el sur del Golfo de México presentando viento de 95 km/h y rachas de hasta 110 km/h. La zona de alerta por tormentas abarca desde Tamaulipas hasta Veracruz.

- La CONAGUA, en su comunicado No. 623-13 informó que Ingrid por la tarde del día **14 de Septiembre de 2013** se intensificó a huracán nivel uno; justo cuando se localizaba a 295 km del puerto de Veracruz y registraba vientos de 120 km/h y rachas de hasta 150 km/h.

En su último comunicado de la jornada, la CONAGUA menciona que Ingrid se encuentra a 300 km de Tampico; con un desplazamiento de 11 km/h dirección noroeste. A su vez, sus vientos se intensificaron registrando velocidades de 140 km/h y llegando a tener rachas de hasta 170 km/h.

Seguirá generando lluvias fuertes en los estados de Campeche, Chiapas, Veracruz, Tabasco, Coahuila, Nuevo León, Tabasco, Puebla, Hidalgo, Sal Luis Potosí, Tlaxcala y Querétaro.

- El día **15 de septiembre de 2013** por la mañana, Ingrid se encontraba a 220 km de Tampico, con una dirección hacia el norte y una velocidad de trayectoria de 9 km/h. Por la tarde cambia de dirección hacia el oeste, manteniendo la misma velocidad de desplazamiento. Ha registrado vientos de 120 km/h y rachas de hasta 130 km/h.

En su comunicado de prensa No. 628-13, publicado a las 22:00 horas, la CONAGUA informa que las lluvias que se esperan debido a este huracán, se presentarán en el oriente del país y el Golfo de México; esperándose una altura de precipitación de 250 mm a 400

mm, la cual aumentará los valores acumulados hasta 700 mm. Esta precipitación se debió a la ubicación de Ingrid a tan solo 180 km de Tampico y a su desplazamiento hacia el noroeste de 10 km/h al noroeste.

- En la mañana del **16 de Septiembre de 2013**, según lo informado por CONAGUA, el huracán Ingrid tocó tierra en la Pesca, Tamaulipas, cerca de las 7:00 horas, con vientos sostenidos de 100 km/h y un desplazamiento al noroeste a 17 km/h.

La tarde de este día, Ingrid ubicándose en tierra a 17 km de Ciudad Victoria, se degradó a depresión tropical, presentando un desplazamiento al oeste a 9 km/h. Al finalizar el día, en el comunicado No. 632-13 de la CONAGUA, se indica que Ingrid se debilita paulatinamente y se localiza a 15 km de Ciudad Victoria, registrando viento de 45 km/h y rachas de hasta 65 km/h su desplazamiento continúa hacia el oeste con una velocidad de 7 km/h.

Este día se presentaron precipitaciones abundantes en Veracruz, Tamaulipas, San Luis Potosí, Nuevo León; Puebla, Hidalgo, Coahuila, Querétaro y Guanajuato.

- CONAGUA, en sus comunicados de prensa publicados el día **17 de Septiembre de 2013**, informan que los remanentes de Ingrid circularán por San Luis Potosí, Nuevo León y Tamaulipas. Provocando, en el Golfo de México, temperaturas calurosas con vientos de entre 30 km/h hasta 45 km/h y rachas de hasta 60 km/h. En esta fecha es la última ocasión que se menciona a Ingrid, por lo que se puede decir que se disipó totalmente.

2.5.1.2.1 Destrucción causada por Ingrid.

En la siguiente tabla se engloba toda la información que existe hasta el momento de los daños ocasionados por Ingrid en la República Mexicana, se debe aclarar que está basado en notas periodísticas.

Estado	Municipios declarados zona de desastre	Fechas de las notas periodísticas	Descripción	Damnificados	Decesos
Veracruz	Atzacan, Córdoba, Coscomatepec, Cuichapa, Fortín, Ixtaczoquitlán, Orizaba y Totutla. Y otros 8 municipios más.	13-17 de Septiembre	14 vías carreteras afectadas, 41 ríos desbordados parcialmente, 66 municipios. De los 52 municipios que se declararon en emergencia, tan solo 8 municipios fueron declarados como zona de desastre. En el estado se presentaron 76 deslaves causados por Ingrid, 518 en total. Las presas presentaban un 97.7% de su capacidad. El Pánuco y el río Tecolutla se desbordaron.	Más de 32 mil veracruzanos afectados directa o indirectamente. A su vez, se contabilizaron 23mil personas que tuvieron que ser evacuadas de sus hogares. Según datos de CFE, 33,615 personas tuvieron problemas con la energía eléctrica.	12 decesos se reportaron en este estado debido a un alud de tierra.
Tamaulipas	Fueron 33 municipios los declarados en desastre natural.	13-17 de Septiembre	El puerto de Tampico se tuvo que cerrar a la navegación. Se cerraron 24 pozos de Pemex en la zona del Ébano-Pánuco y se tuvieron que evacuar 3 plataformas de la misma paraestatal. Veinte municipios se declararon en estado de emergencia.	500 personas tuvieron que ser evacuadas.	No se reportó ningún deceso.
San Luis Potosí		13-17 de Septiembre	Fuertes lluvias en todo el estado; por lo que se decide evacuar 4 municipios. Dos comunidades quedaron incomunicadas.	Miles de personas con fallo en su suministro de energía eléctrica. 500 personas tuvieron que ser evacuadas y llevadas a albergues.	
Nuevo León		13-17 de Septiembre	Se presentaron fuertes lluvias en casi todo el estado, provocando el desbordamiento del río Pabillo.	10 mil personas quedaron incomunicadas y 200 familias tuvieron que ser evacuadas.	Un solo deceso se registró.
Coahuila		13-17 de Septiembre	Se presentan fuertes lluvias en todo el estado. Afectación a los cultivos y a los caminos.		Un deceso.
Tabasco		13-17 de Septiembre	El río Usumacinta se desbordo. Varias hectáreas de cultivo así como viviendas fueron inundadas.	800 familias damnificadas así como tres municipios afectados.	
Hidalgo		13-17 de Septiembre	70 deslaves provocados por Ingrid. Tres municipios se declaran en estado de emergencia.		Se reportan 4 decesos.
Puebla	31 municipios declarados zona de desastre	13-17 de Septiembre	Se reportan fuertes lluvias.		Hay tres personas fallecidas.
Total	80 municipios declarados como zonas de desastre natural.				21 decesos

Tabla 2.8. Daños causados por el Huracán Ingrid de acuerdo a fuentes periodísticas.

3. DETERMINACIÓN DEL RIESGO ANTE LOS FENÓMENOS NATURALES Y POLÍTICAS DE ACCIÓN CUANDO OCURREN DESASTRES HUMANOS EN MÉXICO

El Territorio Mexicano ha sido severamente afectado por la ocurrencia de eventos Hidrometeorológicos, como se mencionó en el capítulo dos. Sin embargo, no todos afectan de la misma manera a la población e infraestructura nacional. Por ello resulta necesario definir el concepto de riesgo, las variables que en él intervienen y establecer la manera de clasificar y agrupar los daños.

Una vez cuantificados los daños es necesario establecer un protocolo de actuación para las diferentes dependencias gubernamentales, todo con la finalidad de llevar de manera oportuna la ayuda básica a la población afectada y la pronta recuperación de la actividad económica de las localidades afectadas.

En este capítulo se establecerá la definición manejada por la Secretaría de Gobernación vía CENAPRED de riesgo, sus componentes y clasificación del grado de afectación ante los fenómenos naturales, así como los Planes de Acción por los Gobiernos Federal y Estatal y la activación de los mismos.

3.1. El Riesgo y sus componentes.

Los riesgos están ligados a actividades humanas. La existencia de un riesgo implica la presencia de un agente perturbador (fenómeno natural o generado por el hombre) que tenga la probabilidad de ocasionar daños a un sistema afectable (asentamientos humanos, infraestructura, planta productiva, etc.) en un grado tal, que constituye un desastre. Así, un movimiento del terreno provocado por un sismo no constituye un riesgo por sí mismo. Si se produjese en una zona deshabitada, no afectaría ningún asentamiento humano y por tanto, no produciría un desastre.

En términos cualitativos, se entiende por Riesgo la probabilidad de ocurrencia de daños, pérdidas o efectos indeseables sobre sistemas constituidos por personas, comunidades o sus bienes, como consecuencia del impacto de eventos o fenómenos perturbadores.

La probabilidad de ocurrencia de tales eventos en un cierto sitio o región constituye una amenaza, entendida como una condición latente de posible generación de eventos perturbadores.

En forma cuantitativa se ha adoptado una de las definiciones más aceptadas del riesgo, entendido como la función de tres factores: la probabilidad de que ocurra un fenómeno potencialmente dañino, es decir el peligro, la vulnerabilidad y el valor de los bienes expuestos.

A continuación se analiza brevemente cada uno de estos conceptos y las características que deben tener en el análisis de riesgo.

3.1.1 Peligro

Se define al peligro como la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente dañino en un lapso dado. El potencial del peligro se mide por su intensidad y su periodo de retorno.

Para el estudio de los peligros, es importante definir los fenómenos perturbadores mediante parámetros cuantitativos con un significado físico preciso que pueda medirse numéricamente y ser asociado mediante relaciones físicas con los efectos del fenómeno sobre los bienes expuestos. En la mayoría de los fenómenos pueden distinguirse dos medidas, una de magnitud y otra de intensidad.

La *magnitud* es una medida del tamaño del fenómeno, de su potencial destructivo y de la energía que libera. La *intensidad* es una medida de la fuerza con que se manifiesta el fenómeno en un sitio dado.

La forma más común de representar el carácter probabilístico del fenómeno es en términos de un periodo de retorno (o de recurrencia), que es el lapso que en promedio transcurre entre la ocurrencia de fenómenos de cierta intensidad. El concepto de periodo de retorno, en términos probabilísticos, no implica que el proceso sea cíclico, o sea que deba siempre transcurrir cierto tiempo para que el evento se repita.

En ocasiones se utiliza también el inverso del periodo de retorno, llamado probabilidad, definida como el número medio de veces, en que por unidad de tiempo, ocurre un evento que exceda cierta intensidad. Para muchos de los fenómenos no es posible representar el peligro en términos de periodos de retorno, porque no ha sido posible contar con la información suficiente para este tipo de representación. En estos casos se recurre a escalas cualitativas, buscando las representaciones de uso más común y de más utilidad para las aplicaciones en el tema específico.

El estudio del peligro lleva a la construcción de escenarios, es decir, a la representación de los efectos del fenómeno en la región de interés.



Figura 3.1. Mapa del peligro por la presencia de ciclones tropicales. CENAPRED.

3.1.2. Exposición

Es la cantidad de personas, bienes, valores, infraestructura y sistemas que son susceptibles a ser dañados o perdidos.

Por lo general se le asignan unidades monetarias puesto que es común que así se exprese el valor de los daños, aunque no siempre es traducible a dinero. En ocasiones pueden emplearse valores como porcentajes de determinados tipos de construcción o inclusive el número de personas que son susceptibles a verse afectadas.

El grado de exposición es un parámetro que varía con el tiempo, el cual está íntimamente ligado al crecimiento y desarrollo de la población y su infraestructura. En cuanto mayor sea el valor de lo expuesto, mayor será el riesgo que se enfrenta.

Si el valor de lo expuesto es nulo, el riesgo también será nulo, independientemente del valor del peligro. La exposición puede disminuir con el alertamiento anticipado de la ocurrencia de un fenómeno, ya sea a través de una evacuación o inclusive evitando el asentamiento en el sitio.

3.1.3. Vulnerabilidad

Se refiere a situaciones asociadas a fenómenos naturales hidrometeorológicos que pueden poner en riesgo a la población.

La perspectiva frente a estos fenómenos es que constituyen una amenaza (peligro) para la población que reside en las áreas sometidas a dichos acontecimientos, y por lo tanto está expuesta a ellos.

El nivel de afectación depende del nivel de vulnerabilidad que tenga dicha población en el momento del evento en cuestión. Así, la población residente en áreas susceptibles de inundación está en un relativo riesgo permanente, pero las consecuencias de ello durante el evento dependerán del nivel de vulnerabilidad de esta población, determinado por sus características diferenciales en términos socioeconómicos, demográficos y organizativos, entre otros, que permitirían cierto grado de reacción, respuesta, recuperación y prevención

La vulnerabilidad es la debilidad frente a las amenazas (o ausencia de lo que los ecólogos denominan capacidad de resistencia) y como incapacidad de recuperación después de que ha ocurrido un desastre (o falta de capacidad de resiliencia, de elasticidad), y no sólo depende de la vecindad física de las poblaciones a las fuentes de amenazas, sino de múltiples factores de distinta índole, todos presentes en las comunidades.

Entre los factores que estarían involucrados en definir una cierta vulnerabilidad de la población frente a una amenaza, es posible contar con cierta información a nivel de localidad que, de manera indirecta, puede incidir en su vulnerabilidad, puesto que ésta es multicausal. Para ello algunas de las variables son referidas a las condiciones materiales de las viviendas que habitan (tipo de muros y piso), contar con agua, drenaje, bienes de comunicación (TV, radio, teléfono) y otras referidas a los individuos como son edad, educación e ingresos. Los materiales de la vivienda indican la precariedad o no de la misma, al igual que el acceso al agua y drenaje, ya que no solamente pueden ser menos frágiles frente a los eventos considerados, sino que reflejan las condiciones del contexto de la localidad —la posibilidad de contar con instituciones encargadas de los servicios de agua y drenaje por ejemplo— así como un cierto nivel socioeconómico que diferencia a la población según las posibilidades de enfrentar, reaccionar, recuperarse y prevenir tales situaciones.

Por su parte, el contar con medios de información y comunicación en la vivienda (TV, radio, teléfono) permite, la información y prevención, lo cual facilitaría la reacción y la posible recuperación en un tiempo menor que aquellos que no cuentan con estos medios.

La educación, acceso a la salud y la relación de dependencia (menores de seis años y mayores de 70 respecto a la población de siete a 69 años), serían factores individuales pero que traducen las diferentes capacidades que existirían en los hogares para poder enfrentar y recuperarse de los posibles daños causados por las inundaciones.

Una vez que se han identificado y cuantificado el peligro, la vulnerabilidad y el grado de exposición para los diferentes fenómenos perturbadores y sus diferentes manifestaciones, es necesario completar el análisis a través de escenarios de riesgo, o sea, representaciones geográficas de las intensidades o de los efectos de eventos extremos.

3.2. Implicaciones socio-económicas de los desastres

Es indiscutible que la exposición al riesgo y los desastres tienen una correlación positiva con la pobreza. El impacto de los desastres no se distribuye de manera homogénea ni en su ocurrencia ni en sus efectos y son más golpeados quienes viven en condiciones más precarias, con ingresos bajos, inseguros e informales y no cuentan con recursos para enfrentar los desastres como pueden ser los seguros o ahorros.

Para determinar cuál es la población afectada, se establece la siguiente clasificación:

Población Primaria es la población afectada primaria es la que sufre los efectos directos del desastre y está en el centro mismo del impacto.

El impacto en este grupo incluye muerte, pérdida de la vivienda, lesiones y traumas.

Población Secundaria

La población afectada secundaria sufre los efectos indirectos y se puede encontrar cerca o en el lugar mismo del desastre. Incluyen aquellas que prestan cuidados y que no fueron golpeados directamente o los familiares que acogen a los damnificados del desastre.

Población Terciaria

La población con impacto terciario puede estar fuera de la zona del desastre pero ser afectada. Pueden sufrir lesiones u otro daño debido al pánico, la pérdida de servicios sociales u otras inconveniencias debidas al desastre

3.2.1. Evaluación del impacto socioeconómico de los desastres

A partir de 1970, las evaluaciones sobre el impacto socioeconómico de los desastres, tanto para la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) como para el CENAPRED, han servido para enfrentar las necesidades específicas relacionadas con el costo y el plazo de las misiones de evaluación. Asimismo se ha confrontado con la conveniencia de una mayor participación de los agentes locales en el proceso, y con la necesidad de hacer converger y validar la información de fuentes dispersas y desplazadas en el tiempo con respecto al período en que se realiza la evaluación. Siempre con base en la metodología contenida en el Manual de la CEPAL, se desarrollaron las presentes metodologías, poniendo énfasis en la organización del proceso de recabar información.

Una primera versión de estas metodologías fue elaborada para el Proyecto BID/CEPAL (Programa de Información para la Gestión de Desastres Naturales, 2007)

El trabajo consistía en evaluar el impacto socioeconómico de desastres localizados en regiones específicas del país, para las que no se contaba con los recursos humanos y materiales que normalmente se utilizan para una evaluación de alcance nacional.

La segunda, Evaluación Retrospectiva del Impacto Socioeconómico de los Desastres, fue desarrollada ante la necesidad de diversos países de la región de realizar evaluaciones ex post de desastres ocurridos en el pasado y para los que sólo se cuenta con antecedentes dispersos de variadas fuentes que deben integrarse y hacerse comparables y compatibles con la metodología de la CEPAL. (CEPAL, 2009)

Esta metodología se aplicó en el trabajo correspondiente a México para el período 1980-1999 realizado durante 1999 por el Área de Estudios Socioeconómicos del CENAPRED. Los resultados de este trabajo se publicaron tanto por la CEPAL como por el propio CENAPRED.

3.3. Sistemas de alerta temprana

La frase “sistema de alerta temprana” es usada para todo tipo de sistemas que avisan con oportunidad a la población sobre condiciones adversas, inclusive aquellos que están basados en modelos o estimaciones, no sólo para condiciones peligrosas para las que queda poco tiempo para reaccionar, sino inclusive para alertas climatológicas (por ejemplo lo que podría ocurrir en promedio la próxima estación de lluvias).

Estos sistemas son automatizados, alertando de condiciones peligrosas inminentes para las que queda poco tiempo para tomar acciones que mitiguen los efectos del peligro previsto.

Aunque puede llegar a implicar la construcción de alguna obra civil y el establecimiento de cierta infraestructura, no se considera una medida estructural, dado que su propósito es el de reducir el riesgo al que estarían sujetos los afectados por el peligro a través de información oportuna, quitándole la sorpresa al evento extremo.

Aunque están basados, al menos parcialmente en mediciones en tiempo real, genera pronósticos a corto plazo aprovechando los tiempos que transcurren entre la ocurrencia (o el inicio de la ocurrencia) de la lluvia y la llegada del pico de la avenida al sitio en cuestión, y/o el tiempo de tránsito de la avenida desde el sitio en el que es medida hasta el sitio a alertar en cuestión.

Los sistemas de alerta temprana para el caso de inundaciones, en general se basan en una red de pluviómetros y limnómetros digitales, en ambos casos de operación automática y con telemetría de algún tipo (transmisión de la información a un sitio de concentración remoto) en tiempo real. En dicho sitio, una computadora concentra los datos de lámina de precipitación en la cuenca y de nivel de la superficie libre del agua en el río que pasa por el sitio a alertar. Ingiere estos datos en un modelo lluvia-escorrentamiento y tránsito de avenidas, comparando los caudales pronosticados contra ciertos umbrales que disparan diferentes niveles de alertamiento.

Es común que no usen valores numéricos no siempre comprensibles para las autoridades locales, sino niveles conceptuales de peligro al estilo de los colores de un semáforo. Por su misma naturaleza, no se trata de un modelo que se corre una sola vez cuando se detectan lluvias o incrementos en el nivel de las corrientes aguas arriba, sino de modelos que corren continuamente.

3.3.1. Sistema de Alerta Temprana de Ciclones Tropicales

La versión propuesta del Sistema de Alerta Temprana para ciclones tropicales (SIAT 2003) considera dos fases; la de acercamiento del ciclón tropical (para la activación, señalando el tipo de aviso que corresponda cuando se aproxime o entre a territorio nacional el meteoro) y la de alejamiento (para la desactivación, dando el tipo de aviso que corresponda cuando se disipe o se aleje del país). Para cada fase se emplea una tabla distinta, Figura 3.2.

El SIAT 2003 considera la extensión en planta del ciclón tropical. Para ello se emplea una escala ponderada con la Saffir-Simpson que se llamará escala promedio. La escala promedio se obtiene del promedio de la escala Saffir-Simpson y de una de circulación. Se considera el hecho de que cuando se trate de una depresión o una tormenta tropical el valor de la escala Saffir-Simpson es de cero, mientras que el de circulación puede ser mayor a cero.

Tabla de Acercamiento / Parte delantera del ciclón

Promedio de Escalas	detección o más de 72	72 a 60 horas	60 a 48 horas	48 a 36 horas	36 a 24 horas	24 a 18 horas	18 a 12 horas	12 a 6 horas	menos de 6 horas
0 a 0.99	Blue	Green	Green	Green	Green	Yellow	Yellow	Orange	Red
1 a 1.99	Blue	Green	Green	Green	Yellow	Yellow	Orange	Orange	Red
2 a 2.99	Blue	Green	Green	Yellow	Yellow	Orange	Orange	Orange	Red
3 a 3.99	Blue	Green	Green	Yellow	Yellow	Orange	Orange	Orange	Red
4 a 4.99	Blue	Green	Yellow	Yellow	Orange	Orange	Orange	Red	Red
5	Blue	Green	Yellow	Yellow	Orange	Orange	Red	Red	Red

Tabla de Alejamiento / Parte trasera del ciclón

Promedio de Escalas	0a100 km	100a150 km	150a200 km	200a250 km	250a300 km	300a350 km	350a400 km	400a500 km	500 a 750 km	mayor a 750 km
0a0.99	Red	Orange	Orange	Yellow	Yellow	Yellow	Green	Green	Green	Blue
1a1.99	Red	Orange	Orange	Yellow	Yellow	Yellow	Green	Green	Green	Blue
2a2.99	Red	Red	Orange	Yellow	Yellow	Yellow	Green	Green	Green	Blue
3a3.99	Red	Red	Orange	Orange	Yellow	Yellow	Yellow	Green	Green	Blue
4a4.99	Red	Red	Red	Orange	Orange	Yellow	Yellow	Yellow	Green	Blue
5	Red	Red	Red	Red	Orange	Orange	Orange	Yellow	Green	Blue

Figura 3.2. Tablas propuestas para el SIAT 2013. SIAT CT Sistema de alerta temprana para ciclones tropicales. Secretaría de Gobernación y Sistema Nacional de protección Civil 2013 (SEGOB: Sistema Nacional de protección Civil 2013.)

Cada tabla comprende etapas, que se distinguen por su nomenclatura y color.

3.3.1.1 Etapas y Acciones. Fase de Acercamiento

Se considera que el SIAT entra en esta fase cuando el ciclón se encuentra aproximándose a territorio nacional o acercándose a un área afectable

Se consideran 5 etapas de alertamiento en esta tabla, que se muestran a través de su cuadro indicativo de color con su respectiva acción y descripción resumida Figura 3.3.



Figura 3.3. Etapas en la fase de acercamiento, SEGOB: Sistema Nacional de protección Civil 2013.

3.3.1.2 Etapas y Acciones. Fase de Alejamiento

Se considera que el SIAT entra en esta fase cuando el ciclón se encuentra alejándose del territorio nacional o de un área afectable, ya sea después de un impacto o bien sin que se haya dado esta situación.

Se consideran 5 etapas de alejamiento en esta tabla, que se muestran a través de su cuadro indicativo de color con su respectiva acción y descripción resumida.



Figura 3.4. Etapas en la fase de alejamiento. SEGOB: Sistema Nacional de protección Civil 2013.

3.4. Acciones del gobierno mexicano ante los desastres naturales

En la República Mexicana existen sistemas de alerta temprana, desarrollados por el Centro Nacional de Prevención de Desastres SEGOB-CENAPRED, 2001; cuya finalidad es avisar con anticipación la ocurrencia de eventos meteorológicos extremos (inundaciones o desbordamientos principalmente), a la población que tengan riesgo de tener alguna eventualidad por estos fenómenos.

Estos sistemas se basan en la medición telemétrica, de la lluvia y niveles de agua de los ríos, en varios sitios estratégicos de la ciudad y en un procesamiento hidrológico, que considera las condiciones particulares del lugar. La aplicación del sistema se muestra en las pantallas de dos computadoras personales, tanto la precipitación y niveles que están presentándose cada 10 minutos, así como el estado que tendrían los arroyos y ríos más importantes e indica si se llega a valores de peligro. SEGOB-CENAPRED, 2001.

3.4.1. Planes de mitigación, prevención y reacción ante un desastre natural.

A lo largo de la historia de México, se han producido muchos desastres naturales de diferente índole y magnitud; algunos de ellos se pudieron haber evitado, en otros se pudo haber mitigado el daño humano y económico que causaron.

Debido a esto, el gobierno federal con sus diferentes dependencias y junto con la Secretaría de la Defensa Nacional (SEDENA) ha elaborado diferentes planes para prevenir, actuar y recuperar; evitando así la pérdida de vidas humanas y pérdidas materiales innecesarias.

Se debe aclarar, que no solo el gobierno federal tiene la obligación de elaborar estos planes, también los estados y municipios deben de realizar planes para poder enfrentar de una mejor manera los desastres naturales.

3.4.1.1. Plan de defensa nacional (Plan DN-III).

En 1966 el río Pánuco se desbordó, causando estragos en los estados de Veracruz y Tamaulipas. En ese tiempo no había un organismo gubernamental específico que pudiese apoyar inmediatamente a la población afectada. Por lo consiguiente, el gobierno federal ordenó a la SEDENA la creación de un plan de auxilio, en ese momento surgió el "Plan de Auxilio a la Población Civil" denominado "Plan de Defensa Nacional III Anexo "E" que forma parte del Plan Director de Defensa Nacional.

El Plan DN-III tiene dos objetivos:

- Coadyuvar en la protección de la integridad física de las personas, sus bienes y su entorno.
- Mantener la confianza de la gente en la capacidad de respuesta del ejército y fuerza aérea mexicana en caso de cualquier eventualidad.

Este plan, en su operación se lleva a cabo en tres fases:

1. **Fase de prevención:** así como otros organismos civiles gubernamentales tienen atlas de riesgos (El CENAPRED por ejemplo), la SEDENA también elabora su propio atlas, así va dándole seguimiento y monitoreando las zonas con riesgo. En esta fase también se elaboran las posibles rutas de evacuación y ubicación de albergues.
2. **Fase de auxilio:** en esta etapa, el ejército y fuerza aérea ocupan sus fuerzas de reacción y tropas disponibles. Se hace la primera evaluación de daños, dividiendo la zona afectada en áreas de operaciones; una vez hecho esto, se empieza la evacuación, búsqueda y rescate de la población civil. Se establecen albergues, cocinas comunitarias, patrullajes, campañas profilácticas, así como puentes aéreos.

En esta fase, es cuando los militares portan el brazalete color amarillo que tanto los caracteriza en las zonas de desastres, Figura 3.5.

3. **Fase de recuperación:** esta es la última fase, ya que gradualmente las tropas van regresando a sus cuarteles. Esto depende, de que tanto el poder local las vaya solicitando para poder hacer la recuperación de espacios. Las acciones realizadas en esta última etapa generalmente están orientadas hacia la reconstrucción, mejoramiento de servicios públicos y remoción de escombros.



Figura 3.5. Brazalete distintivo para el Plan DN-III-E, Fase de auxilio. Imágenes tomadas de <http://www.sedena.gob.mx/index.php/actividades/plan-dn-iii-e>

3.5. Sistema Nacional de Protección Civil (SINAPROC).

Un sistema de Protección Civil, es aquel que cuenta con protocolos de actuación antes, durante y después de la situación de emergencia; y el que garantice una adecuada coordinación entre los tres niveles y órdenes de Gobierno, así es como este se vuelve una estrategia integral, una política pública incluyente que atienda y mitigue el riesgo en el que se encuentran muchas zonas y regiones de nuestro país.

El Sistema Nacional de Protección Civil es un conjunto orgánico y articulado de estructuras, relaciones funcionales, métodos y procedimientos que establecen las dependencias y entidades del sector público entre sí, con las organizaciones de los diversos grupos voluntarios, sociales, privados y con las autoridades de los estados, el Distrito Federal y los municipios Figura 3.6, con el fin de efectuar acciones coordinadas, destinadas a la protección contra los peligros que se presenten y a la recuperación de la población, en la contingencia de un desastre.

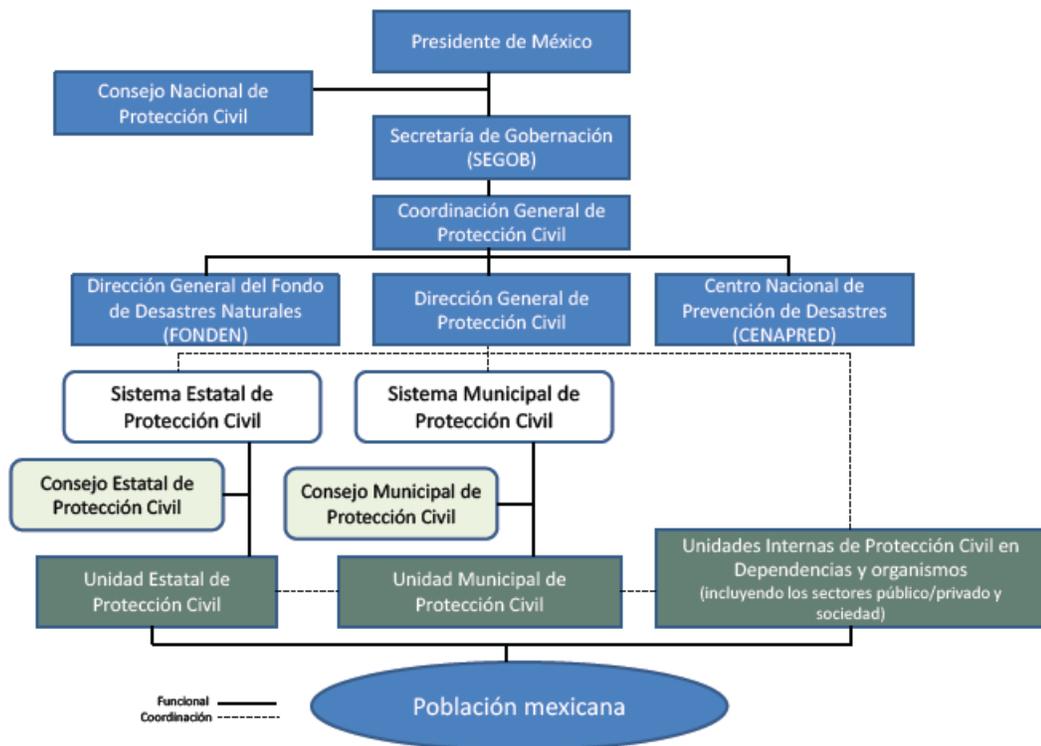


Figura 3.6. Organigrama del Sistema Nacional de Protección Civil en México, FONDEM El Fondo de Desastres Naturales de México-Una Reseña, Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento / Banco Mundial 2012 (SEGOB: Banco Mundial 2012).

Desde la fundación, a partir del sismo de 1985, el Sistema Nacional de Protección Civil ha contribuido a la generación de mejores condiciones para la seguridad de la población Mexicana. Los sismos de septiembre de 1985; las inundaciones en Tabasco y Chiapas; los huracanes Gilberto, Paulina, Stan, Wilma y más recientemente Manuel e Ingrid; demuestran la fuerza de la naturaleza y los devastadores efectos.

La Protección Civil se ha convertido en un mecanismo para poner a salvo miles de vidas. La clave para lograrlo es la *prevención del riesgo*. Es necesario facultar a la población y a las Autoridades en medidas de autoprotección y de adaptación para cohabitar con los riesgos al no poderse modificar los ciclos naturales del planeta.

3.5.1. Estructura organizacional de protección civil en México.

La Secretaría de Gobernación (SEGOB) es la responsable de coordinar y supervisar el SINAPROC en el marco de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal. Como tal, la SEGOB, a través de su Coordinación General de Protección Civil, administra los mecanismos y políticas para la prevención de desastres, la respuesta post desastre y las actividades de reconstrucción.

Desde su establecimiento, el SINAPROC ha institucionalizado la gestión de desastres en México. El Gobierno Federal define de forma general a la GIR como el proceso de planeación, participación, intervención, toma de decisiones, diseño e implementación de políticas de desarrollo sustentable destinadas a:

- i. Entender las causas del riesgo;
- ii. Reducir el riesgo;
- iii. Mitigar el impacto social de los desastres, y
- iv. Fortalecer la capacidad de recuperación del gobierno y la sociedad ante los desastres naturales.

3.6. Fondo de Desastres Naturales de México (FONDEN)

El Fondo de Desastres Naturales de México fue establecido a finales de los años 90 como un mecanismo presupuestario para apoyar a la rehabilitación de la infraestructura federal y estatal afectada por desastres naturales.

El FONDEN fue originalmente creado como un programa dentro del Ramo 23 ("Provisiones Salariales y Económicas del Presupuesto de Egresos de la Federación") del Presupuesto de Egresos de la Federación de 1996, quedando con capacidad operativa en 1999 cuando se emitieron sus primeras Reglas de Operación. En un inicio los recursos del FONDEN se destinaban únicamente a la realización de actividades ex post de rehabilitación y reconstrucción de:

- i. Infraestructura pública de los tres órdenes de gobierno —federal, estatal y municipal—,
- ii. Vivienda de la población de bajos ingresos y

- iii. Ciertos elementos del medio ambiente, tales como selvas, áreas naturales protegidas, ríos y lagunas.

A la fecha, el FONDEN está compuesto por dos instrumentos presupuestarios complementarios:

- Programa FONDEN para la Reconstrucción y
- Programa Fondo para la Prevención de Desastres Naturales (FOPREDEN), y sus respectivos fideicomisos.

El instrumento original, y aún el más importante del FONDEN es el Programa FONDEN para la Reconstrucción. Sin embargo, en afirmación de la necesidad de promover el manejo proactivo del riesgo, el Gobierno de México comenzó, a inicios de los años 2000, a asignar recursos específicamente destinados a actividades preventivas.

El ejercicio de los recursos financieros de los dos instrumentos del FONDEN (de reconstrucción y de prevención) se realiza con cargo al Fideicomiso FONDEN y con cargo al Fideicomiso Preventivo (FIPREDEN), cuya institución fiduciaria en ambos casos es BANOBRAS, un banco de desarrollo del Gobierno de México.

3.6.1. Instrumentos Financieros del FONDEN

Como ya se mencionó existen dos tendencias hacia donde el propósito del FONDEM se enfoca, una y la que mayor importancia adquiere es la de recuperación, reconstrucción y contratación de instrumentos de transferencia de riesgos, y otra la de identificación y reducción del riesgo.

Para estos dos ramales existen distintos componentes presupuestarios y mecanismos de financieros dentro del FONDEM que se presentan con detenimiento a continuación.

3.6.1.1. Programa FONDEN para la Reconstrucción:

Componente presupuestario que proporciona recursos para la recuperación y reconstrucción de activos públicos no asegurados o subasegurados. El Programa FONDEN para la Reconstrucción está dirigido a:

- i. Proporcionar recursos financieros para asistencia de emergencia a las poblaciones que sufrieron los efectos de un desastre natural;
- ii. Proporcionar recursos financieros para la recuperación y reconstrucción de infraestructura pública afectada por un desastre (incluyendo la restauración de ciertos elementos del entorno natural), y
- iii. Proporcionar recursos financieros para la recuperación y reconstrucción de vivienda de población de bajos ingresos.

3.6.1.2. Fideicomiso FONDEN

Fideicomiso público operado por BANOBRAS, a través del cual se canalizan los recursos del Programa FONDEN para la Reconstrucción. Una vez que el financiamiento queda aprobado para un fin específico, dichos recursos quedan etiquetados en una subcuenta del Fideicomiso FONDEN. El Fideicomiso FONDEN (a través de BANOBRAS como agente fiduciario) también actúa como autoridad contratante de seguros y otros instrumentos de transferencia de riesgos.

3.6.1.3. Fondo para la Atención de emergencias FONDEN

Instrumento financiado a través del Fideicomiso FONDEN, que proporciona recursos para la adquisición de insumos de ayuda para responder a las necesidades inmediatas de la población afectada por un desastre natural. Entre los gastos que quedan cubiertos se incluyen, entre otros, medicamentos, alimentos, agua para beber, artículos de limpieza y de refugio temporal.

3.6.1.4. FOPREDEN

Instrumento que proporciona recursos para apoyar actividades de gestión de riesgos ex ante, incluyendo:

- i. Identificación y evaluación de peligros, vulnerabilidad o riesgos;
- ii. Actividades de reducción del riesgo de desastres y de mitigación, y
- iii. Desarrollo de capacidades comunitarias locales en torno a la prevención del desastre y de autoprotección de la población ante situaciones de riesgo.

3.6.1.5. FIPREDEN

Fideicomiso público también operado por BANOBRAS a través del cual se canalizan recursos provenientes del FOPREDEN hacia actividades preventivas, previamente autorizadas.

4. MODELOS ESTADÍSTICOS EMPLEADOS EN EL ANÁLISIS DE REGISTROS HISTÓRICOS DE GASTOS Y PRECIPITACIONES

El principal problema en el análisis de frecuencias (procedimiento para estimar la probabilidad de ocurrencia de ciertos eventos) es la disponibilidad de la información: si se contara con un registro lo suficientemente largo de gastos o lluvias, entonces la distribución de frecuencias para un sitio sería determinada de forma precisa, siempre y cuando los cambios como la urbanización no alteren el fenómeno en estudio.

En este capítulo se planteará la teoría sobre la técnica de regresión lineal simple, misma que será empleada para la obtención de datos faltantes en los registros históricos.

También se plantearán las pruebas más comunes para la determinación de la estacionariedad o no de la variable en estudio. Se describirá la prueba que se realiza para garantizar el comportamiento aleatorio de la precipitación y se finalizará con la mención de algunas de las funciones de densidad univariadas.

4.1. Pruebas de homogeneidad

Las características estadísticas de las series hidrológicas, como la media, desviación estándar y los coeficientes de correlación serial, se afectan cuando la serie presenta tendencia en la media o en la varianza, o cuando ocurren saltos negativos o positivos; tales anomalías son producidas por la pérdida de homogeneidad y la inconsistencia (Escalante, 2002).

En general, la falta de homogeneidad de los datos es inducida por las actividades humanas como la deforestación, apertura de nuevas áreas al cultivo, rectificación de cauces, construcción de embalses y reforestación. También es producto de los procesos naturales súbitos, como incendios forestales, terremotos, deslizamiento de laderas y erupciones volcánicas.

Las pruebas estadísticas que miden la homogeneidad de una serie de datos presentan una hipótesis nula y una regla para aceptarla o rechazarla. A continuación se explican algunas pruebas de homogeneidad.

4.1.1. Prueba estadística de Helmer

Esta prueba es sencilla y consiste en analizar el signo de las desviaciones de cada evento en estudio con respecto a su media. Si una desviación de un cierto signo es seguida de otra del mismo signo, entonces se dice que se forma una secuencia (*S*), de lo contrario se considera como un cambio (*C*).

La serie se considera homogénea si se cumple:

$$-\sqrt{n-1} \leq (S - C) \leq \sqrt{n-1} \quad (4.1)$$

Donde:

n Tamaño de la muestra.

4.1.2 Prueba estadística t de Student

Cuando la causa probable de la pérdida de homogeneidad de la serie sea un cambio abrupto en la media, la prueba del estadístico t es muy útil.

Si se considera una serie de tamaño n , la cual se divide en dos conjuntos de tamaño $n_1 = n_2 = \frac{n}{2}$ entonces, el estadístico de prueba se define con la expresión:

$$t_d = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\left[\frac{n_1 S_1^2 + n_2 S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right) \right]^{1/2}} \quad (4.2)$$

Donde:

\bar{x}_1, S_1^2 Media y varianza de la primera parte del registro de tamaño n_1

\bar{x}_2, S_2^2 Media y varianza de la segunda parte del registro de tamaño n_2

El valor absoluto de t_d se compara con el valor de la distribución t de Student de dos colas, y con $\nu = n_1 + n_2 - 2$ grados de libertad para un nivel de $\alpha = 0.05$.

Si y solo si el valor absoluto de t_d es mayor que el de la distribución t de Student, se concluye que la diferencia entre las medias es evidencia de inconsistencia y por lo tanto la serie en estudio se considera no homogénea.

4.1.3. Prueba estadística de Cramer

Esta prueba se utiliza con el propósito de verificar la homogeneidad en el registro en estudio, y también para determinar si el valor medio no varía significativamente de un periodo de tiempo corto. Con este propósito se consideran tres bloques, el primero, del tamaño total de la muestra n ; el segundo de tamaño n_{60} (60% de los últimos valores de la muestra n); y el tercero de tamaño n_{30} (30% de los últimos valores de la muestra n).

La prueba compara el valor de \bar{x} del registro total con cada una de las medias de los bloques elegidos \bar{x}_{60} y \bar{x}_{30} . Para que se considere la serie analizada como estacionaria en la media, se deberá cumplir que no existe una diferencia significativa entre las medias de los bloques.

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n} \quad (4.3)$$

$$S_x = \left[\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right]^{1/2} \quad (4.4)$$

$$\bar{x}_{60} = \sum_{k=1}^{n_{60}} \frac{x_k}{n_{60}} \quad (4.5)$$

$$\bar{x}_{30} = \sum_{k=1}^{n_{30}} \frac{x_k}{n_{30}} \quad (4.6)$$

$$\tau_{60} = \frac{\bar{x}_{60} - \bar{x}}{S_x} \quad (4.7)$$

$$\tau_{30} = \frac{\bar{x}_{30} - \bar{x}}{S_x} \quad (4.8)$$

$$t_w = \left\{ \frac{n_w(n-2)}{n-n_w[1+(\tau_w)^2]} \right\}^{1/2} |\tau_w| \quad \text{para } w = 60 \text{ y } w = 30 \quad (4.9)$$

El estadístico t_w tiene distribución t de Student de dos colas con $\nu = n_1 + n_2 - 2$ grados de libertad y para un nivel $\alpha = 0.05$.

Si y solo si el valor absoluto de t_w para $w = 60$ y $w = 30$, es mayor que el de la distribución t de Student, se concluye que la diferencia entre las medias es evidencia de inconsistencia y por lo tanto la serie x_i se considera no homogénea.

4.2. Prueba de independencia de eventos

Para que se pueda llevar a cabo el análisis de frecuencias se requiere que la muestra x_i para $i = 1, 2, 3, \dots, n$ esté compuesta por variables aleatorias. Para probarlo se aplica la prueba de independencia de Anderson (Salas *et al.*, 1988), la cual hace uso del coeficiente de autocorrelación serial r_k para diferentes tiempos de retraso k .

La expresión para obtener el coeficiente de autocorrelación serial de retraso k es:

$$r_k = \frac{\sum_{i=1}^{n-k} (x_i - \bar{x})(x_{i+k} - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}; \quad \text{para } r_0 = 1 \quad \text{y} \quad k=1,2,\dots, \frac{n}{3} \quad (4.10)$$

Donde:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (4.11)$$

Además, los límites al 95% de confianza para r_k se puede obtener como:

$$r_k(95\%) = \frac{-1 \pm 1.96\sqrt{(n-k-1)}}{n-k} \quad (4.12)$$

La gráfica de los valores estimados para r_k (ordenadas) contra los tiempos de retraso k (abscisas), junto con sus correspondientes límites de confianza, se llama correlograma de la muestra.

Si solo el 10% de los valores r_k sobrepasan los límites de confianza se dice que la serie x_i es independiente y por lo tanto es una variable que sigue las leyes de la probabilidad.

4.3. Distribuciones de probabilidades univariadas

4.3.1. Distribución exponencial con parámetro β

$$F(x) = 1 - \beta e^{-\beta x} \quad x > 0 \quad (4.13)$$

$$f(x) = \beta e^{-\beta x} \quad (4.14)$$

Donde:

β Parámetro de escala

Además:

$$\mu = \frac{1}{\beta} \quad (4.15)$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{\beta^2} \quad (4.16)$$

4.3.2. Distribución exponencial de dos parámetros

$$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x-x_0}{\beta}\right)} \quad (4.17)$$

$$f(x) = \frac{1}{\beta} e^{-\left(\frac{x-x_0}{\beta}\right)} \quad (4.18)$$

Donde:

x_0 Parámetro de ubicación
 β Parámetro de escala

Además:

$$\mu = x_0 + \hat{\beta} \quad (4.19)$$

$$\sigma^2 = \hat{\beta}^2 \quad (4.20)$$

$$\gamma = 2$$

4.3.3. Distribución Normal

$$F(x) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} dx \quad (4.21)$$

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad -\infty < x < \infty \quad (4.22)$$

Dónde:

μ Parámetro de ubicación
 σ Parámetro de escala

Además:

$$E(x) = \mu \quad (4.23)$$

$$E\left[(x-\mu)^2\right] = \sigma^2 \quad (4.24)$$

$$\gamma = 0 \quad ; \quad k = 3$$

4.3.4. Distribución Lognormal con dos parámetros

$$f(x) = \frac{1}{x\sigma_y\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left[\frac{\ln(x)-\mu_y}{\sigma_y}\right]^2}, \quad x > 0 \quad (4.25)$$

Donde:

- μ_y Parámetro de ubicación
- σ_y Parámetro de escala
- $\gamma > 0$

4.3.5. Distribución Lognormal con tres parámetros

$$f(x) = \frac{1}{(x-x_0)\sigma_y\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(x-x_0)-\mu_y}{\sigma_y}\right)^2}, \quad x > x_0 \quad (4.26)$$

Donde:

- x_0 Parámetro de ubicación
- μ_y Parámetro de forma
- σ_y Parámetro de escala

4.3.6. Distribución Gamma con dos parámetros

$$F(x) = \int_0^x \frac{x^{\beta-1} e^{-\frac{x}{\alpha}}}{\alpha^{\beta}\Gamma(\beta)} dx \quad (4.27)$$

$$f(x) = \frac{x^{\beta-1} e^{-\frac{x}{\alpha}}}{\alpha^{\beta}\Gamma(\beta)} \quad \begin{matrix} 0 \leq x < \infty \\ \alpha > 0 \rightarrow \gamma > 0 \\ \gamma > 0 \end{matrix} \quad (4.28)$$

Donde:

- α Parámetro de escala
- β Parámetro de forma
- $\Gamma(\beta)$ Función Gamma completa

Además:

$$\mu = \beta\alpha \quad (4.29)$$

$$\sigma^2 = \alpha^2\beta \quad (4.30)$$

$$\gamma = \frac{2}{\sqrt{\beta}} \quad (4.31)$$

$$0 \leq x < \infty$$

$$\alpha > 0$$

$$0 < \gamma < 2$$

Si $\beta < 10$ no se recomienda su uso

4.3.7. Distribución Gamma con tres parámetros

$$f(x) = \frac{1}{\alpha\Gamma(\beta)} \left(\frac{x-x_0}{\alpha} \right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{x-x_0}{\alpha} \right)} \quad (4.32)$$

$$\alpha > 0 \quad ; \quad \gamma > 0$$

$$x_0 \leq x < \infty$$

Donde:

x_0	Parámetro de ubicación
α	Parámetro de escala
β	Parámetro de forma

Además:

$$\mu = x_0 + \alpha\beta \quad (4.33)$$

$$\sigma^2 = \alpha^2\beta \quad (4.34)$$

$$\gamma = \frac{2}{\sqrt{\beta}} \quad (4.35)$$

$$\kappa = 3 \left(1 + \frac{\gamma^2}{2} \right) \quad (4.36)$$

4.3.8. Distribución LogPearson tipo III

Está función es similar a la función Gamma de tres parámetros, con la diferencia de que se utilizan logaritmos.

$$f(x) = \frac{1}{\alpha \Gamma(\beta)} x \left(\frac{\ln x - y_0}{\alpha} \right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{\ln x - y_0}{\alpha} \right)} \quad (4.37)$$

$$0 < x < \infty \quad ; \quad \gamma > 0$$

Donde:

y_0	Parámetro de ubicación
α	Parámetro de escala
β	Parámetro de forma

4.3.9. Distribución de Valores Extremos Tipo I (Gumbel)

$$F(x) = e^{-e^{-\left(\frac{x-\nu}{\alpha} \right)}} \quad (4.38)$$

$$f(x) = \frac{1}{\alpha} e^{-\left(\frac{x-\nu}{\alpha} \right)} e^{-e^{-\left(\frac{x-\nu}{\alpha} \right)}} \quad (4.39)$$

$$-\infty < x < \infty$$

$$\alpha > 0$$

Donde:

ν	Parámetro de ubicación
α	Parámetro de escala

$$E(x) = \hat{\nu} + 0.5772 \hat{\alpha} \quad (4.40)$$

$$\sigma^2 = \frac{\pi^2 \hat{\alpha}^2}{6} \quad (4.41)$$

$$\gamma = 1.1396$$

$$\kappa = 5.4002$$

La variable reducida Gumbel es:

$$y_i = \frac{x_i - \nu}{\alpha} \quad (4.42)$$

4.4. Determinación de los parámetros y eventos de diseño para las Distribuciones de probabilidades univariadas

4.4.1. Distribución exponencial con parámetro β

$$\hat{\beta} = \frac{1}{\mu} = \frac{1}{\bar{x}} \quad (4.43)$$

4.4.2. Distribución exponencial con parámetros β y x_0

$$\hat{\beta} = S \quad (4.44)$$

$$\hat{X}_0 = \bar{x} - S \quad (4.45)$$

Eventos de diseño

$$\hat{X}_T = x_0 - \beta \ln\left(\frac{1}{T}\right) \quad (4.46)$$

4.4.3. Distribución Normal

Obtención de los parámetros por momentos

$$\hat{\mu} = \bar{x} \quad (4.47)$$

$$\hat{\sigma}^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n-1} \quad (4.48)$$

El evento de diseño deseado (para un periodo de retorno T), se obtiene de la siguiente forma:

$$\hat{X}_T = \hat{\mu} + \hat{\sigma}U_T \quad (4.49)$$

Para una probabilidad acumulada $0 < F(x) \leq 0.5$ donde $F(x) = \frac{1}{T}$

$$U_T \approx V - \frac{b_0 + b_1V + b_2V^2}{1 + b_3V + b_4V^2 + b_5V^3} \quad (4.50)$$

Donde:

$$\begin{aligned} b_0 &= 2.525517 & b_3 &= 1.432788 \\ b_1 &= 0.802853 & b_4 &= 0.189269 \\ b_2 &= 0.010328 & b_5 &= 0.001308 \end{aligned}$$

$$V = \sqrt{\text{Ln} \left\{ \frac{1}{[(1/T)]^2} \right\}} \quad (4.51)$$

Para $0.5 < F(x) \leq 1$ se cambia la ecuación 4.51 por:

$$V = \sqrt{\text{Ln} \left\{ \frac{1}{[1 - (1/T)]^2} \right\}} \quad (4.52)$$

Y el signo al valor de la ecuación 4.50 es decir $U_T = -U_T$

La distribución normal tiene un coeficiente de asimetría igual a cero ($\gamma = 0$)

4.4.4. Distribución Lognormal con dos parámetros

Obtención de los parámetros por momentos

$$\hat{\mu}_y = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \text{Ln}(x_i) \quad (4.53)$$

$$\hat{\sigma}_y = \left[\sum_{i=1}^n \frac{(\ln(x_i) - \hat{\mu}_y)^2}{n} \right]^{1/2} \quad (4.54)$$

Y los eventos de diseño se calculan con:

$$\hat{x}_T = \exp[\hat{\mu}_y + u_T \hat{\sigma}_y] \quad (4.55)$$

4.4.5. Distribución Lognormal con tres parámetros

Estimadores por Momentos

$$\hat{x}_0 = \bar{x} \left(1 - \frac{\hat{\eta}_x}{\hat{\eta}_z} \right) \quad (4.56)$$

$$\hat{\eta}_x = \frac{S}{\bar{x}} \quad (4.57)$$

$$\hat{\eta}_z = \frac{1 - W^{2/3}}{W^{1/3}} \quad (4.58)$$

Donde:

$$W = \frac{(g^2 + 4)^{1/2} - g}{2} \quad (4.59)$$

$$\hat{\mu}_y = \ln\left(\frac{S}{\hat{\eta}_z}\right) - \frac{1}{2} \ln(\hat{\eta}_z^2 + 1) \quad (4.60)$$

$$\hat{\sigma}_y = \left[\ln(\hat{\eta}_z^2 + 1) \right]^{(1/2)} \quad (4.61)$$

Finalmente, los eventos de diseño se calculan mediante la siguiente fórmula:

$$\hat{x}_T = \hat{x}_0 + \exp[\hat{\mu}_y + u_T \hat{\sigma}_y] \quad (4.62)$$

Al utilizar la función Lognormal, se comienza con la Lognormal de tres parámetros; en caso de que el parámetro x_0 sea casi igual a cero, entonces se debe utilizar la de dos parámetros.

4.4.6. Distribución Gamma de dos parámetros

Obtención de los parámetros Momentos

$$\hat{\alpha} = \frac{s^2}{\bar{x}} \quad (4.63)$$

$$\hat{\beta} = \left(\frac{\bar{x}}{s}\right)^2 \quad (4.64)$$

El evento de diseño se calcula con la siguiente ecuación:

$$x_T = \hat{\alpha}\hat{\beta} \left[1 - \frac{1}{9\hat{\beta}} + u_T \sqrt{\frac{1}{9\hat{\beta}}} \right]^3 \quad (4.65)$$

4.4.7. Distribución Gamma con tres parámetros

Obtención de los parámetros por momentos

$$\hat{\beta} = \frac{4}{g^2} \quad (4.66)$$

$$\hat{\alpha} = \frac{S}{\sqrt{\hat{\beta}}} \quad (4.67)$$

$$\hat{x}_0 = \bar{x} - S\sqrt{\hat{\beta}} \quad (4.68)$$

El evento de diseño se calcula con la siguiente ecuación:

$$\hat{x}_T = \hat{x}_0 + \hat{\alpha}\hat{\beta} \left[1 - \frac{1}{9\hat{\beta}} + u_T \sqrt{\frac{1}{9\hat{\beta}}} \right]^3 \quad (4.69)$$

4.4.8. Distribución LogPearson tipo III

Estimadores por momentos (método directo)

$$\hat{\alpha} = \frac{1}{A+3} \quad (4.70)$$

$$\mu_r = \sum_{i=1}^n \frac{x_i^r}{n} \quad r=1,2,3 \quad (4.71)$$

$$B = \frac{\ln(\hat{\mu}_3) - 3\ln(\hat{\mu}_1)}{\ln(\hat{\mu}_2) - 2\ln(\hat{\mu}_1)} \quad (4.72)$$

$$C = \frac{1}{B-3} \quad (4.73)$$

Si $3.5 < B \leq 6$

$$A = -0.23019 + 1.65262C + 0.20911C^2 - 0.04557C^3 \quad (4.74)$$

Si $3 < B \leq 3.5$

$$A = -0.45157 + 1.99955C \quad (4.75)$$

$$\hat{B} = \frac{\ln(\hat{\mu}_2) - 2\ln(\hat{\mu}_1)}{\ln(1 - \hat{\alpha})^2 - \ln(1 - 2\hat{\alpha})} \quad (4.76)$$

$$\hat{y}_0 = \ln(\hat{\mu}_1) + \hat{\beta} \ln(1 - \hat{\alpha}) \quad (4.77)$$

Los eventos de diseño se calculan con:

$$x_T = \exp \left[\hat{\alpha} \hat{\beta} \left(1 - \frac{1}{9\hat{\beta}} + u_T \sqrt{\frac{1}{9\hat{\beta}}} \right)^3 + \hat{x}_0 \right] \quad (4.78)$$

4.4.9. Distribución de Valores Extremos Tipo I (Gumbel)

Obtención de parámetros por momentos

$$\hat{\nu} = \bar{x} - 0.45s \quad (4.79)$$

$$\hat{\alpha} = 0.78s \quad (4.80)$$

Finalmente los eventos de diseño se calculan mediante:

$$\hat{x}_T = \hat{\nu} - \hat{\alpha} \left[\text{Ln} \left[-\text{Ln} \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right] \right] \quad (4.81)$$

4.5. Prueba de bondad de ajuste

Kite (1988) propuso un estadístico que permite seleccionar la mejor opción, entre diferentes modelos en competencia, para el ajuste de una muestra de datos x_i para $i=1,2,\dots,n$.

Este estadístico es conocido como el error estándar de ajuste, y tiene la forma:

$$EE = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{x}_T - x_T)^2}{n - mp} \right]^{1/2} \quad (4.82)$$

Donde:

- x_T Eventos x_i ordenados de mayor a menor con un periodo de retorno asignado $T = \frac{n+1}{m}$ y una probabilidad de no excedencia $P = 1 - \frac{1}{T}$
- n Longitud en años del registro analizado
- m Número de orden del registro ($m=1$ para el evento más grande y $m=n$ para el evento más chico)
- \hat{x}_T Eventos estimados por cierta distribución de probabilidad para cada periodo de retorno T asignado a la muestra ordenada x_i
- mp Número de parámetros de la distribución ajustada, por ejemplo $mp=1$ para la exponencial -1

$mp=2$ para la Normal, Log Normal-2, exponencial-2, Gamma-2, Gumbel
 $mp=3$ para la Log Normal-3, Gamma-3, Log Pearson III, GVE

La distribución de mejor ajuste será aquella que proporcione el mínimo valor del estadístico EE . Si una o más distribuciones tienen valores similares del EE , entonces, se deberá optar por aquella distribución que tenga el menor número de parámetros.

4.6. Análisis de correlación y regresión lineal

La correlación se define como una medida de dependencia lineal entre una variable aleatoria y otra u otras variables Escalante, 2002. Para el caso de la asociación entre dos variables se tienen los procesos hidrológicos lluvia-escurrimiento, escurrimiento-descarga de sedimento, lluvia-descarga de sedimento y temperatura del agua-contenido de oxígeno. Para el caso multivariado, se puede asociar al escurrimiento las características fisiográficas y/o meteorológicas del sitio analizado.

A la expresión matemática que define la relación entre variables se le llama ecuación de regresión. Cuando se correlacionan dos variables la relación se conoce como regresión simple. Cuando una variable se correlaciona con dos o más se trata de una relación o regresión múltiple.

El análisis de regresión se lleva a cabo considerando que las variables dependientes e independientes cumplen que:

- 1) Pertenecen a una distribución Normal. Si este no es el caso, se debe efectuar un proceso de transformación normalizante.
- 2) Están espacialmente correlacionadas (coeficiente de correlación lineal diferente de cero).
- 3) Son serialmente independientes.

4.6.1. Proceso de normalización de Box-Cox de doble potencia

La mayor parte de la teoría de probabilidades y de las técnicas estadísticas se ha desarrollado tomando en cuenta que las variables que se modelan se distribuyen en forma Normal ($\gamma=0$, $\kappa=3$)

En hidrología es bastante difícil encontrar muestras normales ya que a menudo presentan valores de coeficiente de asimetría $\gamma \neq 0$.

Con el fin de utilizar los modelos de regresión, se requiere establecer un proceso de normalización que puede llevarse a cabo aplicando las siguientes expresiones, que son parte del proceso de transformación conocido como de Box-Cox (Chanderet *al.*, 1978).

$$W_i = \frac{(x_i)^\lambda - 1}{\lambda} \quad \lambda \neq 0, \quad x_i > 0 \quad (4.83)$$

$$W_i = \ln x_i \quad \lambda = 0, x_i > 0 \quad (4.84)$$

Donde:

$x_i \quad i=1,2,\dots,n$	serie a normalizar
$w_i \quad i=1,2,\dots,n$	serie transformada de primer paso
λ	Parámetro de transformación de potencia.

Cabe mencionar que esta técnica solo normaliza el coeficiente de asimetría ($g \approx 0$) pero no el de curtosis ($\kappa \neq 3$)

La correlación para la curtosis se puede lograr con una segunda transformación de la forma.

$$t_i = (|W_i - \bar{W}|)^{\mathfrak{S}} \quad (4.85)$$

Donde:

$t_i, \quad i=1,2,\dots,n$	Serie transformada de segundo paso, el signo t, es igual al de $(W_i - \bar{W})$
\bar{W}	Media de los valores de la serie W_i
\mathfrak{S}	Parámetro de transformación de potencia ($\mathfrak{S} > 0$).
$0 < \mathfrak{S} < 1$	si la curtosis de la serie $W_i, \quad k_w > 3$.
$\mathfrak{S} > 1$	si la curtosis de la serie $W_i, \quad k_w < 3$.

Además de transformar cualquier serie de datos, este procedimiento puede emplearse en estudios hidrológicos para obtener el gasto máximo anual de cierto periodo de retorno \hat{Q}_T .

Si en la expresión (4.83) la serie x_i representa a los gastos máximos anuales $Q_i, \quad i=1,2,\dots, n$, de una estación cualquiera, entonces el evento \hat{Q}_T se puede obtener como:

$$\hat{Q}_T = (\lambda \hat{W}_T + 1)^{1/\lambda}, \quad \lambda \neq 0 \quad (4.86)$$

$$\hat{Q}_T = \exp(\hat{W}) \quad (4.87)$$

Donde:

$$\hat{W}_T = W_T' + \bar{W} \quad (4.88)$$

$$W_T' = \left(|\hat{t}_T| \right)^{1/3}, W_T' \text{ Tiene el mismo signo que } \hat{t}_T \quad (4.89)$$

$$\bar{W} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n w_i \quad (4.90)$$

$$\hat{t}_T = \bar{t} + S_t U_T \quad (4.91)$$

$$\bar{t} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i \quad (4.92)$$

$$S_t = \left[\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2 \right]^{1/2} \quad (4.93)$$

$$U_T \approx N(0,1) \text{ variable con distribución Normal estándar} \quad (4.94)$$

4.6.2 Regresión lineal simple

Las técnicas de regresión son el medio para estimar los parámetros de un modelo matemático que expresa la relación de una variable dependiente o respuesta Y , la cual no se puede controlar en un experimento, en función de una o más variables independientes o de regresión X_1, X_2, \dots, X_k , las cuales se miden con un error despreciable y en algunos casos se controlan en el experimento.

La relación fija para un conjunto de datos experimentales se caracteriza por una ecuación de predicción que recibe el nombre de ecuación de regresión. Para el caso de una variedad dependiente Y , y una sola variable independiente X , se puede plantar un modelo de regresión lineal simple poblacional del tipo:

$$\mu_{Y|X} = \alpha + \beta X \quad (4.95)$$

Donde

α y β Parámetros que se estiman a partir de los datos muestrales

$\mu_{Y|X}$ Valor esperado de Y dado que X ha ocurrido

Si se consideran como estimadores de $\mu_{Y|X}$, α y β a \hat{y} , a y b entonces la línea de regresión ajustada se puede plantear como:

$$\hat{y} = a + bx \quad (4.96)$$

El símbolo \hat{y} se utiliza para distinguir entre el valor estimado que da la línea de regresión muestral y un valor experimental real observado y_i para algún valor de x_i .

El modelo del tipo de la expresión (4.95) no es exacto físicamente, puesto que X e Y , son generalmente variables aleatorias y más a aún, su dependencia puede no conocerse en forma exacta. Por ello, es más preciso el modelo como:

$$Y = \mu_{Y|X} + E = \alpha + \beta X + E \quad (4.97)$$

Donde E es una variable aleatoria denominada término de error o perturbación estocástica, la cual se caracteriza por tener un valor esperado nulo.

Si existen n pares de valores (x_i, y_i) de las variables aleatorias (X, Y) y están relacionadas linealmente por la función

$$y_i = a + bx_i + \varepsilon_i \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (4.98)$$

Entonces

$$\varepsilon_i = y_i - \hat{y} = y_i - (a + bx_i) \quad (4.99)$$

Donde

ε_i Se llama residuo y describe el error en el ajuste del modelo en el punto i de los datos

Con las propiedades $E[\varepsilon_i] = 0$, $E[(\varepsilon_i - \mu_\varepsilon)^2] = E[\varepsilon_i^2] = S_\varepsilon^2$ y $E[\varepsilon_i \varepsilon_j] = 0$.

El método de mínimos cuadrados entrega estimadores \hat{a} y \hat{b} de los parámetros de la expresión (4.98) al minimizar la suma de los cuadrados en los errores ε_i .

$$\min SS = \min \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 = \min \sum_{i=1}^n [y_i - (a + bx_i)]^2 \quad (4.100)$$

Para encontrar el mínimo se deriva la expresión con respecto a cada uno de los parámetros y se igualan con cero $\partial SS / \partial a = 0$ y $\partial SS / \partial b = 0$, así,

$$-2 \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i) = 0 \quad (4.101)$$

$$-2 \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i) x_i = 0 \quad (4.102)$$

Que al resolver para el conjunto de parámetros se tiene

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n y_i \sum_{i=1}^n x_i^2 - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n x_i y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2} = \bar{y} - b\bar{x} \quad (4.103)$$

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (4.104)$$

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (4.105)$$

$$S_x = \left[\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right]^{1/2} \quad (4.106)$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (4.107)$$

$$S_y = \left[\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \right]^{1/2} \quad (4.108)$$

La suma de los cuadrados y productos cruzados aparecen en cálculos de regresión, y se definen como:

$$S_{xx} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = \left\{ \sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \right\} \quad (4.109)$$

$$S_{yy} = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 = \left\{ \sum_{i=1}^n y_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2 \right\} \quad (4.110)$$

$$S_{xy} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) = \left\{ \sum_{i=1}^n x_i y_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i \right\} \quad (4.111)$$

Así

$$b = S_{xy} / S_{xx} \quad (4.112)$$

El coeficiente de correlación lineal simple se define por:

$$r = \frac{\text{Cov}(x, y)}{\sqrt{S_x^2} \sqrt{S_y^2}} = \frac{S_{xy} [n-1]^{-1}}{S_x S_y} \quad -1 < r < 1 \quad (4.113)$$

El coeficiente de determinación, que es igual a la porción de la varianza y que es explicada por la ecuación de regresión, se expresa como:

$$r^2 = b^2 \frac{S_x^2}{S_y^2} \quad 0 < r^2 < 1 \quad (4.114)$$

De esta última relación se desprende que para $r^2 = 0$ la regresión no explica nada de la varianza de las variables independientes. Cuando $r^2 = 1$ no existen desviaciones o errores en torno a la línea de mínimos cuadrados, es decir, se tiene un ajuste perfecto.

5. OBTENCIÓN DE LOS DATOS FALTANTES EN LOS REGISTROS DE OCHO ESTACIONES PERTENECIENTES A LA REGIÓN HIDROLÓGICA 26

5.1. Descripción del sitio de estudio

A continuación se describirá de manera breve las características principales de los ríos y estaciones seleccionadas, mismos que se muestran en las Figuras 5.1 y 5.2, que abarca este trabajo.

5.1.1 Descripción de los Ríos

Río Hondo o de los Remedios.

Este río se origina en la Sierra de las Cruces, teniendo una dirección hacia el noreste. Este río está formado en su inicio por corrientes tales como el arroyo Agua Blanca, Huizquilucan y el río del Borracho. Siguiendo aguas abajo, se le incorporan los ríos tributarios del Sordo, los Cuartos, Totolica y el canal de los Tornillos. En la intersección de estos dos ríos, cambia de nombre a río de los Remedios, ya que se convierte en un canal artificial. Antes de desembocar en el vaso regulador el Cristo, el río de los Remedios recibe la descarga del interceptor Poniente.

Río Totolica.

El Río Totolica se forma en una zona de topografía accidentada, en las laderas de la Sierra de las Cruces. Teniendo una dirección original hacia el oriente, cambia hacia el noreste para desembocar en el río Hondo. En sus 15.2 kilómetros de longitud, recibe el agua de su río tributario Cruz Blanca, además cuenta con la presa Totolica, para control de avenidas, y la derivadora Chica de Atoto.

Río Chico de los Remedios.

Formado por los escurrimientos que provienen de las laderas orientales de los cerros de la Ascensión, las Piedras y el Pedregal. En su comienzo tiene una dirección hacia el oeste, pero al llegar a la población de los Remedios cambia su curso hacia el noreste. En su recorrido antes de llegar a la mancha urbana, bordea al parque nacional de los Remedios. Una vez en la zona urbana de Naucalpan, el río San Mateo desemboca en él. Para finalizar sus 14.6km de longitud, el Río Chico de los Remedios desemboca en el vaso regulador el Cristo. Se debe mencionar que en su cauce, cuenta con vasos reguladores pequeños tales como la Colorada, los Arcos, las Julianas y el Colorado.

Río Pánuco.

El Río Panuco tiene una longitud de 510 km, comenzando en los ríos Moctezuma y Tampaón; con un escurrimiento natural medio superficial de 19,673 millones de m³/año es uno de los ríos más caudalosos de la República Mexicana.

Se hace referencia a este río, aunque ninguna estación este ubicada en él, porque todos los ríos donde se localizan las estaciones son tributarios primarios o secundarios del Río Pánuco.

Río Coy.

Este Río nace a una elevación 650 m.s.n.m. a 6 km de la población de Aquismos en el estado de San Luis Potosí. Su formación se debe a los escurrimientos de manantiales. Su corriente tiene una dirección generalmente al noreste; en su recorrido recibe agua de los manantiales del Nacimiento. Es considerado un río tributario del río Tampaón, debido a que confluye con él por su margen derecha.

Río el Salto.

El río el Salto se forma a tan solo 8 km al sureste del municipio de Tula, en el estado de Tamaulipas a una elevación de 1,600 m.s.n.m. Siguiendo un rumbo sur-sureste, su principal afluente es el río Puerco. Se debe mencionar que el río el Salto va cambiando de nombre dependiendo donde se localice. Su corriente es aprovechada para generar energía hidroeléctrica, por lo que en su cauce se localiza la planta Camilo Arriaga.

Río Verde.

Su formación se localiza a 35 km al oriente de San Luis Potosí, a una altura de 2,600 m.s.n.m., teniendo una dirección este-sureste. Es el principal río tributario del río Santa María, ya que cuando converge con este, se convierte en el río Tampaón. El área que drena es de 6039.00km².

Sus aguas generalmente se utilizan para el riego de cultivos.

Río Agua Blanca.

A 7.5 km al noroeste de Cárdenas, San Luis Potosí, a una elevación de 1,400m.s.n.m se encuentra la formación del río Agua Blanca; llamado en ese lugar río Espinazo del Diablo. Comienza con una dirección sureste sus primeros 12.5 km, después se interna en un cañón formado por las sierras Paredes y Peña Blanca, tomando una dirección hacia el este. En el tramo del cañón, se debe mencionar que esta corriente recibe pequeños afluentes, siendo el más importante el arroyo Saucillo.

En el cauce del río, se localiza una obra de derivación, la cual tiene la función de distribuir hacia la zona de riego de los poblados de Agua buena y Tamasopo, los escurrimientos en el río. Se debe mencionar que pasando esta obra derivadora, el río cambia de nombre oficialmente a río Agua Blanca hasta que desemboca al Río Gallinas y que a su vez desembocara al Río Tampaón.

Drena un área de 262.5 km².

5.1.2 Descripción de las estaciones Hidrométricas

Estación 26032 "Molino Blanco".

Esta estación se encuentra ubicada en la Latitud 19°28',39' y Longitud 99°13'15' en el municipio de Naucalpan, Estado de México; sobre el Río de los Remedios. A 2.5 km aguas abajo de la estación, se localiza el vaso regulador el Cristo. Al norte de la estación, se encuentra el poblado de Puente de Vigas a 4 km.

A razón de que es la última estación hidrométrica antes de llegar al vaso regulador, tiene la función de almacenar los volúmenes que llegan al vaso antes mencionado.

La infraestructura con la que cuenta esta estación para realizar los aforos consiste en un sistema de cable (19mm de diámetro y acero)-vía con canastilla (aluminio). Este sistema se encuentra apoyado en una estructura de concreto de 3.5m de altura y con un claro de 36 m.

Los gastos se obtienen en forma gráfica y automática, se utiliza un limnígrafo "Rossbach" R-IV, que se ubica en la margen derecha del río; a 13.4 m aguas abajo de la sección de aforos. Este limnígrafo, se encuentra situado dentro de una caseta de tabique. Su sección es de 0.8 m en la partesuperior y de longitud tiene 3m.

Cuenta con un laboratorio en la casa del aforador, para registrar la cantidad de sólidos suspendidos que lleva el agua.

Estación 26053 "El Molinito".

Ubicada en el cauce del río Hondo, con una latitud 19°27'13' y longitud 99°14'08'; teniendo a 2,500 m al norte, el centro de la pequeña población de San Bartolo Naucalpan, dentro del municipio de Naucalpan, Estado de México.

Su instalación obedeció a la necesidad de las instituciones de tener un registro de los gastos del Río Hondo así como saber su régimen, para posteriormente poder utilizarlo en estudios hidrológicos.

Para obtener los aforos, se cuenta con una pasarela de concreto que reposa sobre vigas de fierro, con dimensiones de 16.95 m de longitud y un ancho de 0.95m.

Por medio de un limnígrafo "Stevens" tipo E se obtienen, de manera automática, los cambios de nivel en las corrientes. Este limnígrafo, se encuentra en la margen izquierda y alojado en un tubo de fierro de 4.5m de altura y 55 cm de diámetro.

Estación 26057 "Totolica".

Con una latitud de 19°27'55' y longitud de 99°14'40', a 1,500 m al oeste del centro de San Bartolo Naucalpan en el municipio del mismo nombre, Estado de México, y a tan solo 40 km aguas abajo de la cortina de la presa Totolica se localiza la estación numero 26057.

Su principal función es cuantificar los gastos que salen de la presa Totolica.

Para poder realizar los aforos, consta de una plataforma de concreto con barandal, la cual se encuentra sobre vigas de hierro. Sus dimensiones son 0.8 m de ancho y 10.9 m de longitud.

La estación cuenta con un limnígrafo "Stevens" para registrar automáticamente los gastos del río Totolica, este se localiza a 3 m aguas abajo de la estructura para el aforo. Consiste en una pequeña caseta hecha de tabique y de lámina, con dimensiones de 2.15 m de ancho y 3.34 m de largo.

Estación 26360 "Etchegaray".

Localizada en los límites de los fraccionamientos Bosques de Etchegaray y la Florida, en Naucalpan, Estado de México y a unos 100 m aguas arriba del cruzamiento del río Chico de los Remedios con la carretera federal México - Querétaro. Con una latitud de 19°28'50' y una Longitud de 99°14'00', la estación Etchegaray fue instalada con la intención de registrar las aportación del Río Chico de los Remedios al vaso regulador el Cristo.

La estructura que se encuentra en esta estación para realizar los aforos, es una plataforma de concreto con barandal, soportada por una estructura de vigas de fierro de 0.8 m de ancho y 10.12 m de longitud.

Para registrar gráficamente los niveles del río, se cuenta un limnígrafo "Rossbach" no. 1041, el cual se localiza a 4 m aguas abajo de la pasarela en la margen derecha del río. Su estructura de protección consiste en un tubo de 0.6 m de diámetro y 5.4 m de altura.

En la tabla 5.1 se presenta un resumen de las características de las cuatro estaciones anteriormente descritas.

ESTACIÓN	PERÍODO REGISTRADOS DE DATOS	CORRIENTE	CUENCA	LONGITUD	LATITUD
26032 Molino Blanco	1930-1995,1997-2002, 2004-2005	Río de los Remedios	Vaso de Cristo	99°13'15"	19°28'39"
26053 El Molinito	1952-1995,1997-2005	Río Hondo	Río de los Remedios	99°14'08"	19°27'13"
26057 Totolica	1933-1999,2003	Río Totolica	Lago de Texcoco	99°14'40"	19°27'55"
26360 Etchegaray	1966-1999,2001-2005	Río Chico	Río de los Remedios	99°14'00"	19°28'50"

Tabla 5.1 Longitud del registro de datos de las estaciones 26032, 26053, 26057 y 26360, ubicadas en el Estado de México pertenecientes a la R.H. 26.

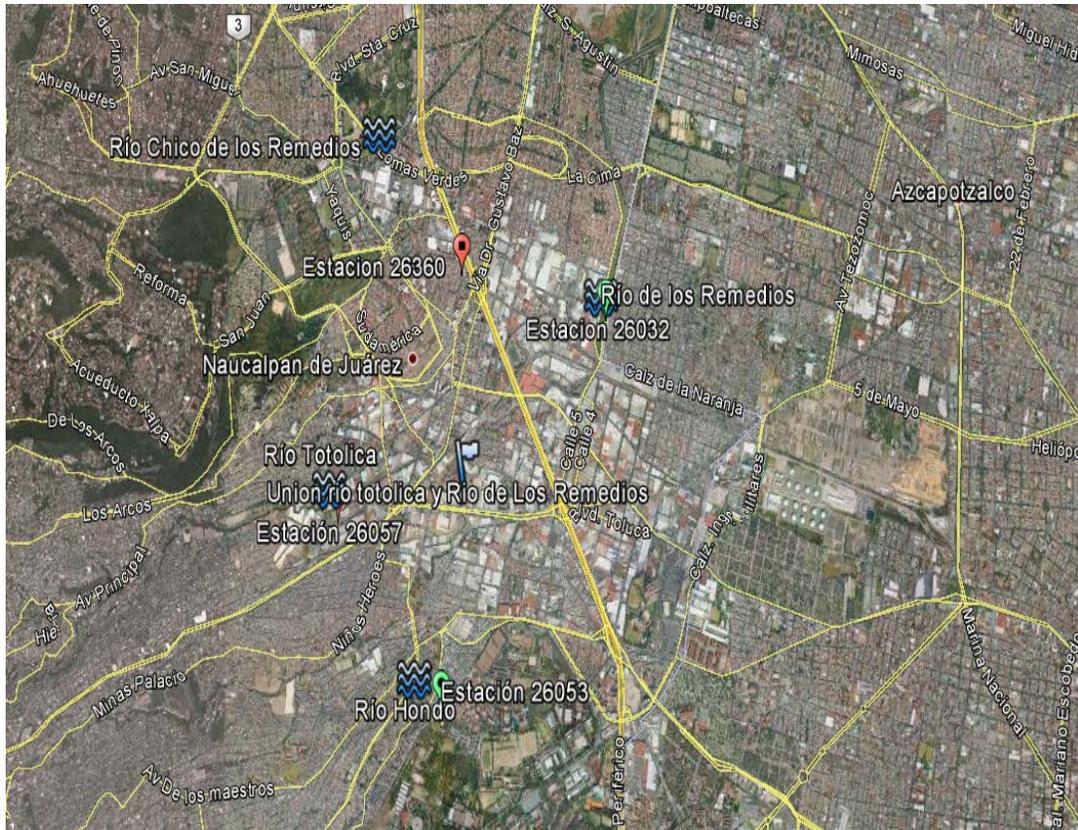


Figura 5.1. Localización de estaciones hidrométricas 26032, 26053, 26057 y 26360 pertenecientes a la R.H 26. Google Earth.

Estación 26241 "Ballesmi".

Con el objetivo de determinar el régimen del Río Coy, para usarlo en estudios hidrológicos de la presa de almacenamiento Tamalte; esta estación, fue ubicada en la latitud 21°44'5" y la Longitud 98°57'00" en el puente de la carretera no. 85 que cruza esta corriente. El municipio donde se encuentra es General Pedro Antonio Santos en el estado de San Luis Potosí. Cabe mencionar que en este mismo sitio se localiza una estación climatológica operada por la CONAGUA.

Para realizar los aforos se utiliza el puente como infraestructura, el cual está dividido en tres tramos; el primero se localiza en el centro y cuenta con una estructura de metal a través de los 57.8 m de claro recargado sobre pilas de mampostería. Los dos tramos restantes se localizan en las márgenes y cubren claros de 13.6 m y 13.9 m sobre el margen izquierdo y el derecho respectivamente.

El limnógrafo que se utiliza para realizar el registro se localiza en el margen izquierdo del río. Su caseta y su pozo están hechos con tubo de lámina corrugada de 61 cm de diámetro.

Estación 26285 "Micos".

Localizada a 800 m al este de la estación Micos del ferrocarril San Luis Potosí-Tampico y a 7 km aguas arriba de la confluencia del río Mesillas. Teniendo una latitud de 22°07".5' y una longitud de 99°10".0', tiene como objetivo conocer el régimen de la cuenca alta del río Valles.

La infraestructura con la que cuenta esta estación para realizar los aforos cubre un claro de 42.4 m y consiste en una estructura de cable con canastilla; apoyadas en una torre de concreto armado.

El registro de niveles del río, se lleva a cabo con un limnógrafo ubicado 6 m aguas arriba de la sección de aforo e instalado en la margen derecha del río. La caseta donde se localiza el limnógrafo es de tubo de lámina galvanizada; siendo su pozo de fierro fundido.

Estación 26292 "Tanlacut".

En la latitud 21°40"5' y la longitud 99°17"5' y a 2 km al oriente del pueblo las Guayabas en el municipio de Santa Catarina en el estado de San Luis Potosí, se localiza la estación Tanlacut. La cual tiene como objetivo monitorear el comportamiento del escurrimiento a través del Río Verde, para así saber qué régimen tiene antes de su confluencia con el río Santa María.

Cuenta con un sistema de cable y canastilla para poder realizar los aforos. El cable cruza un claro de 85.50 m. En esta estación, no se llevan a cabo registros de niveles del río.

Estación 26430 "Agua Buena".

Ubicada a 500 m de la población de Agua Buena, sobre la carretera que conecta la población con la carretera federal no. 70. Su ubicación en la latitud de 21°57"09' y una altitud de 99°22"47' es debido a que se necesita saber los volúmenes de este río, para proyectar los aprovechamientos hidráulicos para el poblado del mismo nombre.

La estructura utilizada para realizar el aforo, es el puente carretero, el cual cuenta con una barandilla de fierro de 0.8m de altura. Al igual que en la estación 26292, no se llevan a cabo mediciones de nivel del río.

En la tabla 5.2 se resumen las características de las estaciones anteriormente descritas.

NOMBRE DE ESTACIÓN	PERÍODO DE REGISTRO DE DATOS	CORRIENTE	LONGITUD	LATITUD	RÍO COLECTOR
26241 Ballesmi	1953-1978, 1980-2006	Río Coy	98°57'00"	21°44'05"	Pánuco
26285 Micos	1960-2006	Río el Salto	99°10'00"	22°07'5"	Pánuco
26292 Tanlacut	1960-2006	Río Verde	99°19'5"	21°40'5"	Pánuco
26430 Agua buena	1972-2006	Río Agua Buena	99°22'47"	21°57'09"	Pánuco

Tabla 5.2. Longitud del registro de datos de las estaciones 26241, 26285, 26292 y 26430, ubicadas en San Luis Potosí en la cuenca del Río Tampoán, pertenecientes a la R.H. 26.

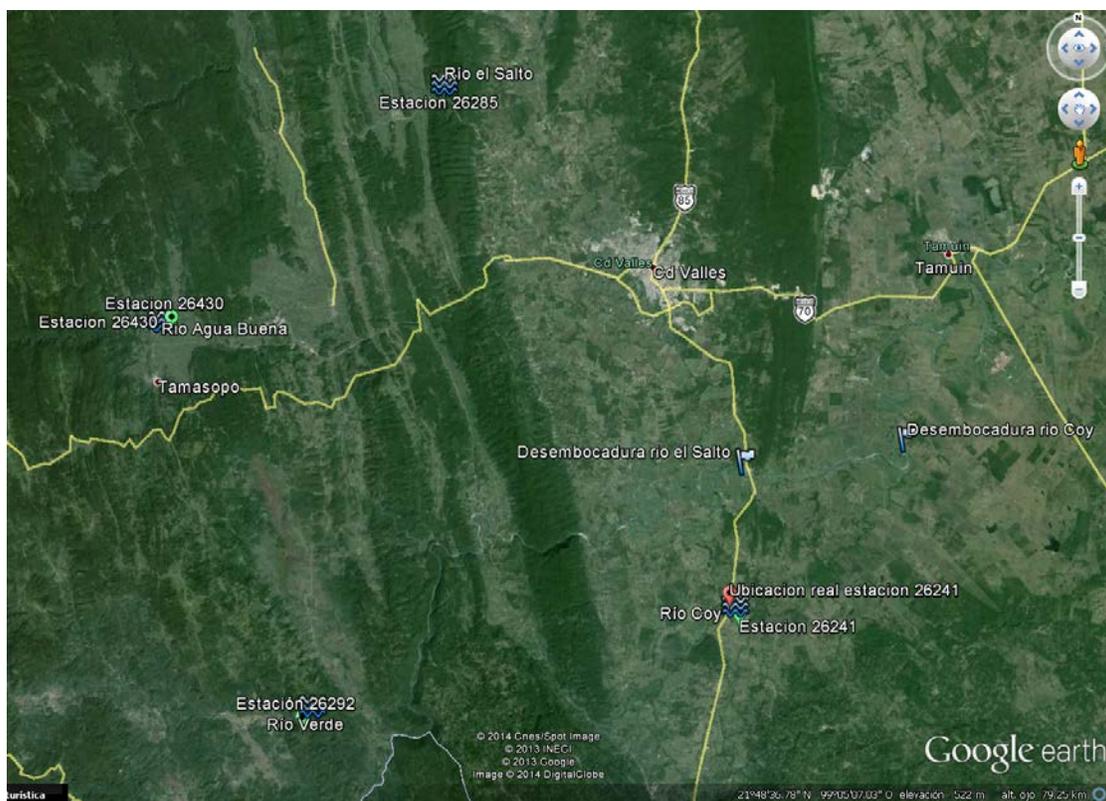


Figura 5.2. Localización de estaciones hidrométricas 26285, 26292, 26241 y 26430, pertenecientes a la R.H 26. Google Earth.

5.2 Determinación de los datos faltantes en los registros de las estaciones en estudio

Se realizará, para las ocho estaciones seleccionadas, la obtención de los datos faltantes.

Se obtendrán dichos datos con dos criterios, el primero se realizará sustituyendo el valor faltante con el valor de la media anual, práctica que es en ocasiones empleada, y como segundo criterio el obtener el dato faltante con la ecuación de regresión lineal considerando la estación que presente la mejor correlación con la estación sin datos.

A continuación se describirá brevemente la forma como se aplicó la metodología así como la presentación de los resultados.

5.2.1 Empleo de la media anual

Una de las prácticas comunes en la hidrología es considerar a la media aritmética como valor cuando no exista un registro de datos. Así, este estadístico es colocado en los años donde no se cuenta con información.

Los gastos requeridos para la obtención de datos faltantes, corresponden a los valores medios diarios de las **293 estaciones** pertenecientes a la Región Hidrológica No. 26.

En la tabla 5.3 se muestra el número de datos faltantes para las ocho estaciones en estudio y en la tabla 5.4 se muestra el valor de la media, mismo que fue considerado como dato en los años donde existe carencia de información.

ESTACIÓN	LONGITUD DE REGISTRO	NÚMERO DE DATOS REGISTRADOS	AÑO CON DATOS FALTANTES	TOTAL DE DATOS FALTANTES
26032	1950-2006	19,256	1984, 1986, 1988, 1991, 1993, 1996, 2002, 2003	1,563
26053	1952-2006	19,541	1986, 1996, 2001, 2002	439
26057	1950-2006	18,890	1993, 1997, 1998, 2000, 2001, 2002, 2004, 2005	1,929
26241	1953-2006	18,580	1979, 1991, 1998, 2000, 2004	842
26285	1960-2006	16,861	1994	215
26292	1960-2006	16,449	1988, 1989, 1990, 1991, 1993, 1994, 1996, 1997, 1998	505
26360	1966-2006	14,173	1986, 1987, 1990, 2000	559
26430	1972-2006	12,189	1995, 2000	351

Tabla 5.3. Registro de datos faltantes y longitud de registro para las estaciones en estudio.

ESTACIÓN	\bar{Q} m ³ /s
26032	3.7282
26053	1.2527
26057	0.1964
26241	29.4958
26285	25.2588
26292	8.4056
26360	0.5299
26430	10.8101

Tabla 5.4 Valores de la media para las estaciones en estudio.

5.2.2 Empleo de Regresión Lineal Simple

El método consiste en obtener, para las ocho estaciones en estudio, la mejor ecuación lineal de ajuste considerando un periodo común de registro, con el objetivo de obtener el valor del gasto en los años donde no se tuvo un registro.

Para ello el primer paso es la normalización de los datos aplicando la ecuación 4.84. Realizado lo anterior, con lo expresado en el subcapítulo 4.6.2, se seleccionará la mejor ecuación de ajuste, misma que tendrá la forma de la expresión 4.96, la selección dependerá del valor del coeficiente R el cual deberá estar lo más cercano a uno o menos uno.

Cabe destacar que el valor de las variables empleadas en la ecuación 4.96 corresponderán a:

- \hat{y} Valor estimado del gasto en el año sin registro (Variable dependiente) en m³/s
- x Valor dato o conocido de la estación con el mejor valor de R , para el mismo año con datos faltantes (variable independiente) en m³/s.
- a, b Constantes de regresión.

En la tabla 5.5 se presenta la relación entre la estación con datos faltantes y las estaciones con las cuales se planteó la obtención del coeficiente de correlación.

ESTACIÓN CON DATOS FALTANTES Y	ESTACIONES EMPLEADAS QUE PRESENTARON EL MISMO PERIODO DE REGISTRO CON DATOS PARA EL ESTABLECIMIENTO DEL COEFICIENTE DE CORRELACIÓN X
26032	26023, 26039, 26042, 26053, 26054, 26070, 26118, 26137, 26180, 26205, 26214, 26218, 26137, 26180, 26205, 26214, 26266, 26268, 26272, 26275, 26278, 26289, 26315, 26356, 26358, 26412, 26416, 26440, 26445
26053	26023, 26054, 26057, 26070, 26149, 26191, 26241, 26248, 26263, 26296, 26431
26057	26053, 26151, 26214, 26217, 26243, 26255, 26263, 26268, 26270, 26283, 26286, 26289, 26313, 26329, 26336, 26337, 26342, 26360, 26389, 26412, 26429, 26449
26241	26243, 26248, 26272, 26289, 26291, 26293, 26387, 26415
26285	26263
26292	26056, 26137, 26149, 26201, 26249, 26267, 26268, 26272, 26275, 26313, 26332, 26389, 26421
26360	26053, 26054, 26070, 26137, 26149, 26267, 26342, 26352, 26357, 26389, 26412, 26440
26430	26248, 26267, 26280, 26285

Tabla 5.5. Estaciones a correlacionar cumpliendo con el periodo de tiempo común.

La correlación se realiza para cada uno de los meses, es decir se obtendrán valores del coeficiente de correlación y ecuaciones de regresión para enero, febrero, marzo..., diciembre (cada mes del año), seleccionando como la mejor ecuación de correlación a aquella cuyo valor de R este cercano a uno o menos uno. La Tabla 5.6 muestra el valor de R para la estación 26285 con las estaciones en competencia. Y la representación gráfica se muestra en la figura 5.3.

ESTACIÓN 26285	
ESTACIONES EN COMPETENCIA	VALOR DEL COEFICIENTE R
26285	1
26053	0.08965135
26057	0.12439718
26007	0.08710656
26031	-0.03021097
26034	0.26629715
26039	0.04955678
26178	0.1899507
26184	0.25771483
26191	0.3013686
26193	0.22304917
26195	0.1095072

Tabla 5.6. Valores del coeficiente de correlación para el mes de mayo del año 1994 para la estación 26285.

ESTACIÓN 26285	
ESTACIONES EN COMPETENCIA	VALOR DEL COEFICIENTE R
26218	0.67063507
26243	0.5546005
26248	0.5527653
26249	0.62680804
26254	0.24797414
26263	0.91540462
26267	0.72356589
26268	0.47291664
26270	0.41508631
26280	0.67301827
26282	0.29790876
26283	-0.06655665
26296	0.6464578
26388	0.58368767
26389	0.34098676

Tabla 5.6. Continuación. Valores del coeficiente de correlación para el mes de mayo del año 1994 para la estación 26285.

Una vez seleccionada la estación con el mejor valor de valor de R , se procede a la obtención de la ecuación de regresión lineal para el mes de mayo del año 1994, quedando como variable independiente para este ejemplo la estación 26263 (variable X) y como variable dependiente la estación 26285, (variable Y), Tabla 5.7.

Y m ³ /s	X m ³ /s	Y m ³ /s	X m ³ /s
1.294	1.579	1.294	1.579
1.297	1.579	1.297	1.579
1.334	1.584	1.334	1.584
1.297	1.647	1.297	1.647
1.294	1.651	1.294	1.651
⋮	⋮	⋮	⋮
1.294	1.651	1.294	1.651
1.982	1.978	1.982	1.978
1.940	1.978	1.940	1.978
1.896	1.951	1.896	1.951
$Y=0.8006x+0.2863$	1.841	1.761	1.841

Tabla 5.7. Valor del gasto estimado para el mes de mayo de 1994 para la estación 26285, en función de la correlación con la estación 26263.

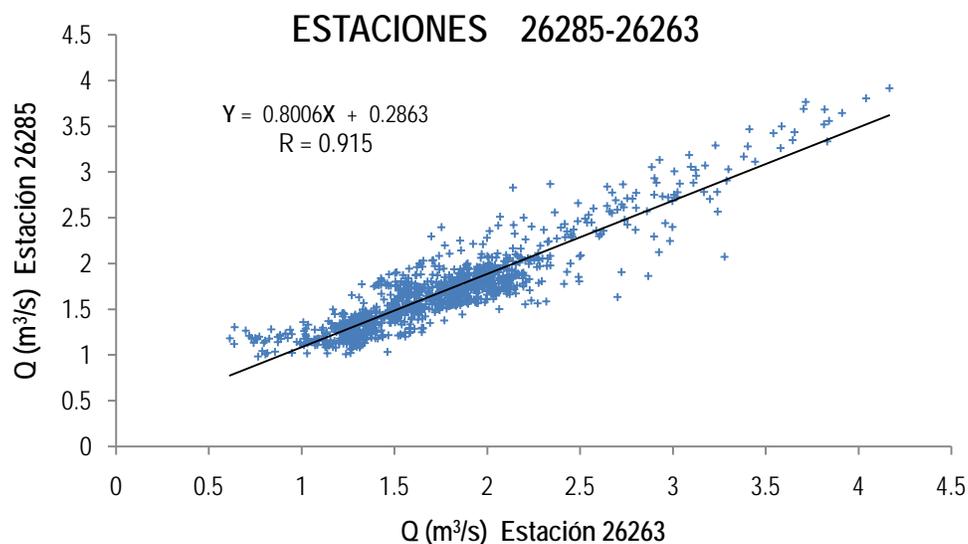


Figura 5.3. Representación gráfica y ecuación de regresión para las estaciones 26285 y 26263.

En el Anexo A se muestran los valores de los coeficientes de correlación para las ocho estaciones en estudio.

En la tabla 5.8 se presenta un resumen de los resultados obtenidos en las ocho estaciones en estudio, considerando el valor de los Gastos Máximos Anuales, únicamente para los años que presentaron datos faltantes y cuyo valor de Gasto Máximo Anual fue diferente.

ESTACIÓN 26032 COMPARACIÓN DE GASTOS MÁXIMOS ANUALES m³/s				
AÑO	REGISTRO ORIGINAL	CON LA MEDIA	CON REGRESIÓN LINEAL SIMPLE	DIFERENCIA DE GASTOS
1984	Sin datos	3.72	90.52	86.8
1993	5.05	5.09	15.94	10.85
1996	Sin datos	3.72	22.98	19.26
2003	Sin datos	3.72	81.82	78.1
ESTACIÓN 26053 COMPARACIÓN DE GASTOS MÁXIMOS ANUALES m³/s				
AÑO	REGISTRO ORIGINAL	CON LA MEDIA	CON REGRESIÓN LINEAL SIMPLE	DIFERENCIA DE GASTOS
1996	Sin datos	1.25	4.52	3.27
ESTACIÓN 26057 COMPARACIÓN DE GASTOS MÁXIMOS ANUALES m³/s				
AÑO	REGISTRO ORIGINAL	CON LA MEDIA	CON REGRESIÓN LINEAL SIMPLE	DIFERENCIA DE GASTOS
1997	1.61	1.65	1.61	0.04
2000	Sin datos	0.19	2.88	2.69
2001	Sin datos	0.19	4.47	4.28
2002	Sin datos	0.19	5.71	5.52
2004	Sin datos	0.19	2.24	2.05
2005	Sin datos	0.19	4.35	4.16

Tabla 5.8. Valor de los Gastos Máximos Anuales en los años con discrepancias.

ESTACIÓN 26241 COMPARACIÓN DE GASTOS MÁXIMOS ANUALES m ³ /s				
AÑO	REGISTRO ORIGINAL	CON LA MEDIA	CON REGRESIÓN LINEAL SIMPLE	DIFERENCIA DE GASTOS
1979	Sin datos	29.49	153.85	124.36
2000	24.79	29.49	184.19	154.7
ESTACIÓN 26292 COMPARACIÓN DE GASTOS MÁXIMOS ANUALES m ³ /s				
AÑO	REGISTRO ORIGINAL	CON LA MEDIA	CON REGRESIÓN LINEAL SIMPLE	DIFERENCIA DE GASTOS
1993	208.61	208.61	564.84	356.23
1994	11.60	11.60	68.04	56.44
1997	9.25	9.25	15.0	5.75
ESTACIÓN 26360 COMPARACIÓN DE GASTOS MÁXIMOS ANUALES m ³ /s				
AÑO	REGISTRO ORIGINAL	CON LA MEDIA	CON REGRESIÓN LINEAL SIMPLE	DIFERENCIA DE GASTOS
2000	Sin datos	0.52	5.18	4.66
ESTACIÓN 26430 COMPARACIÓN DE GASTOS MÁXIMOS ANUALES m ³ /s				
AÑO	REGISTRO ORIGINAL	CON LA MEDIA	CON REGRESIÓN LINEAL SIMPLE	DIFERENCIA DE GASTOS
2000	61.66	61.66	117.82	56.16
ESTACIÓN 26285 COMPARACIÓN DE GASTOS MÁXIMOS ANUALES m ³ /s				
AÑO	REGISTRO ORIGINAL	CON LA MEDIA	CON REGRESIÓN LINEAL SIMPLE	DIFERENCIA DE GASTOS
1994	30.26	30.26	133.63	130.37

Tabla 5.8. Continuación. Valor de los Gastos Máximos Anuales en los años con discrepancias.

5.3. Evaluación de la aleatoriedad y estacionariedad de los registros hidrológicos

Con el fin de establecer la importancia de emplear la ecuación de Regresión Lineal Simple para la estimación de datos Faltantes, se trabajará con los Gastos Máximos Anuales considerando los siguientes casos:

- i. Obtención de los datos faltantes del registro manejando la *Media Anual*
- ii. Obtención de los datos faltantes del registro empleando la *Ecuación de Regresión Lineal*

5.3.1 Determinación de la Independencia para los Gastos Máximos Anuales

Para la determinación de la Independencia de la variable se emplearán las ecuaciones 4.10, 4.11 y 4.12. La independencia se verificará considerando los casos:

- i. Cuando la obtención de datos faltantes se realizó considerando la media.
- ii. Cuando la determinación de datos faltantes se realizó considerando la Regresión Lineal Simple.

Los resultados se presentan en la tabla 5.9 y la representación gráfica en las figuras 5.4 a la 5.11.

ESTACIÓN	EMPLEANDO LA MEDIA	EMPLEANDO REGRESIÓN LINEAL SIMPLE
26032	Si	Si
26053	Si	Si
26057	No	Si
26241	Si	Si
26285	Si	Si
26292	No	Si
26360	Si	Si
26430	Si	Si

Tabla 5.9. Resultado de la independencia para los registros de las ocho estaciones considerando los dos casos de estudio.

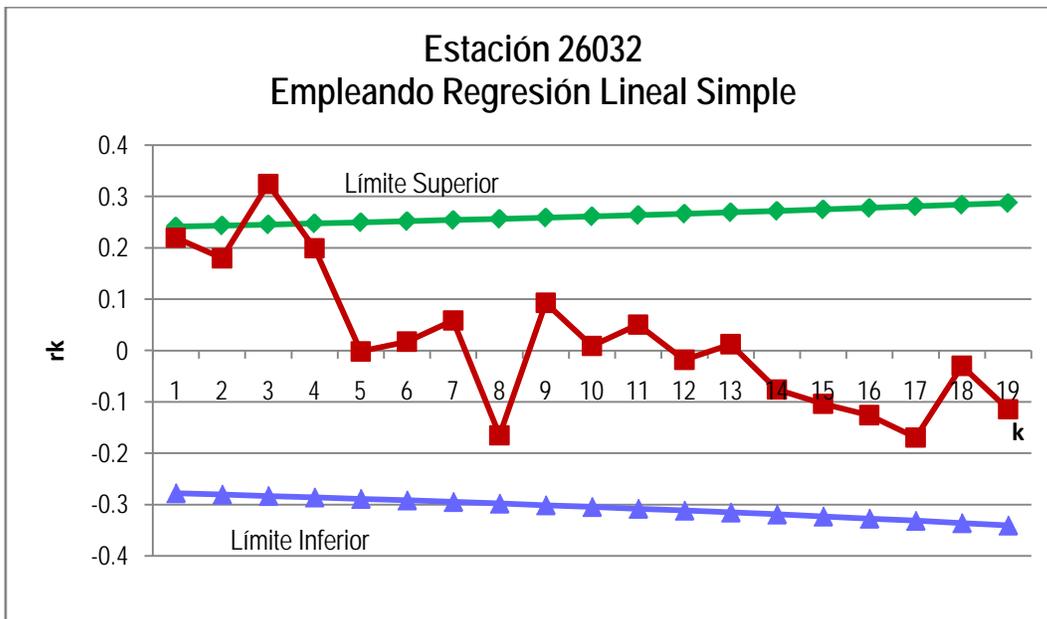


Figura 5.4. Correlograma de independencia para la estación 26032, considerando los dos casos de estudio.

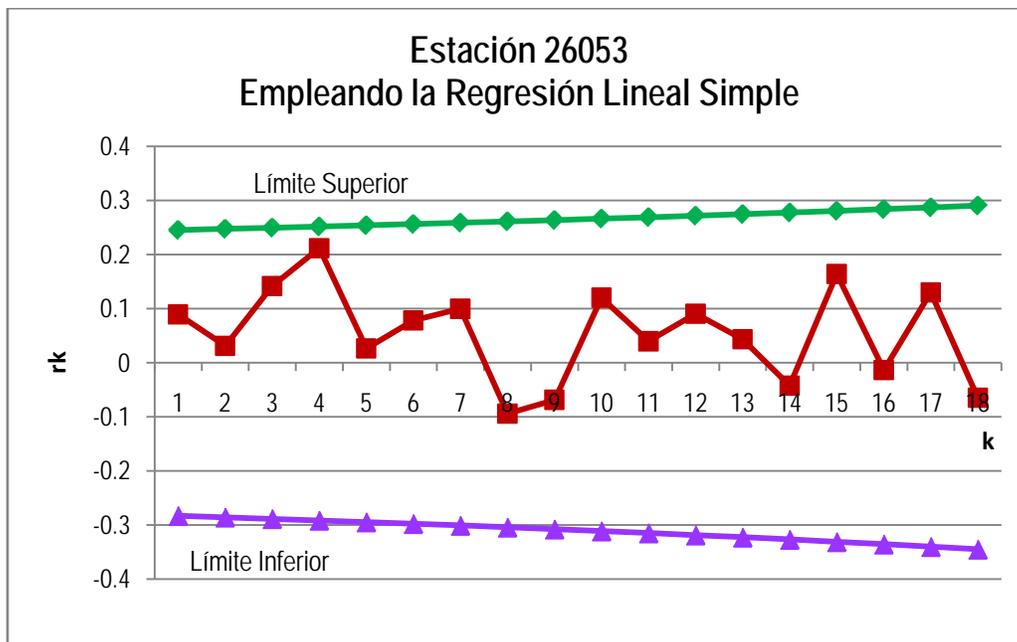
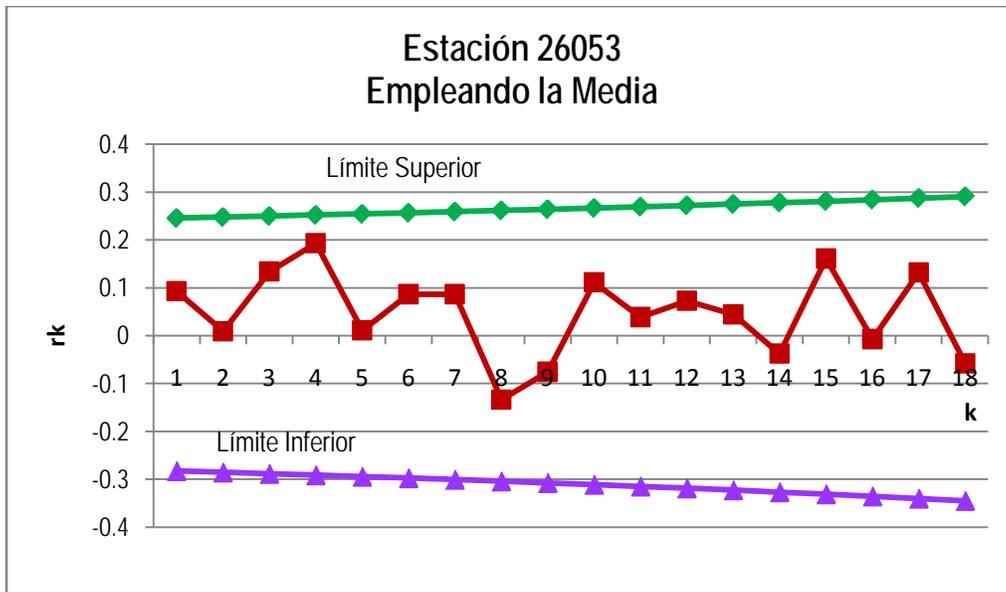


Figura 5.5. Correlograma de independencia para la estación 26053, considerando los dos casos de estudio.

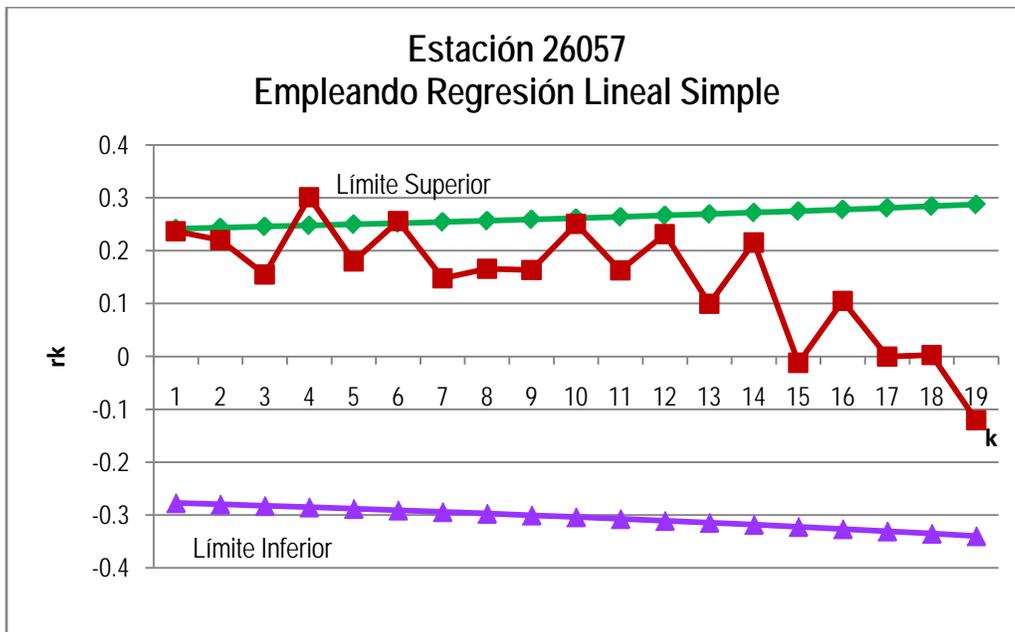
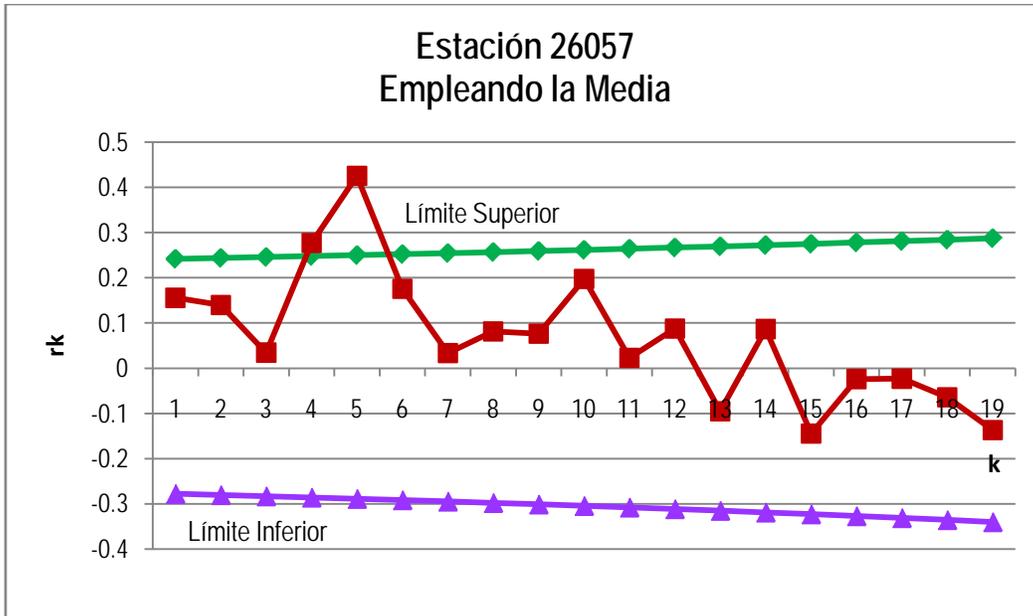


Figura 5.6. Correlograma de independencia para la estación 26057, considerando los dos casos de estudio.

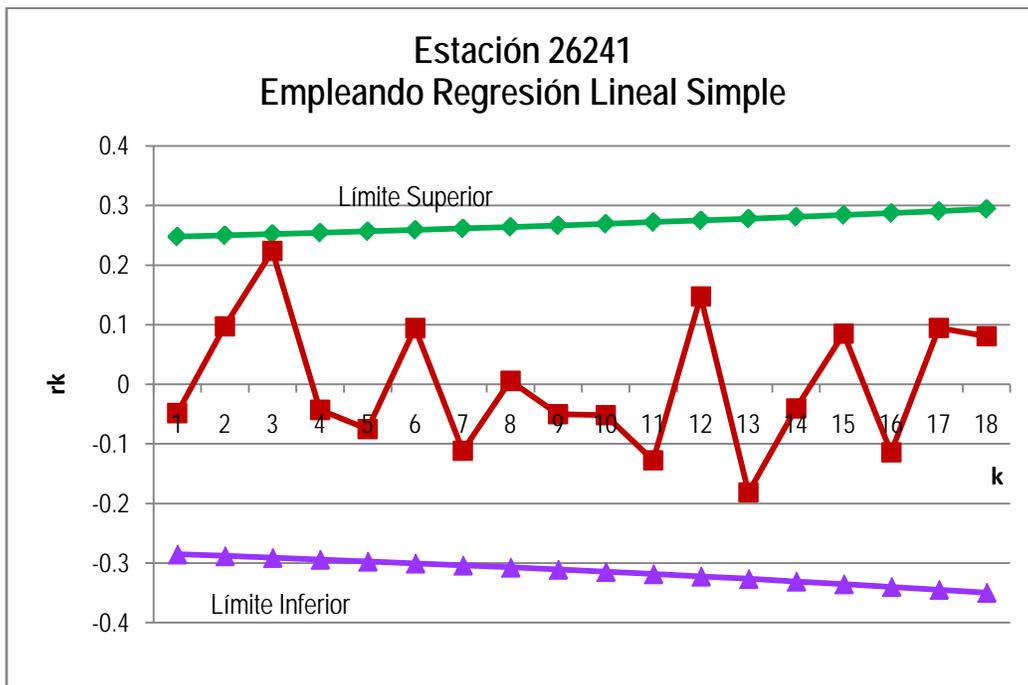
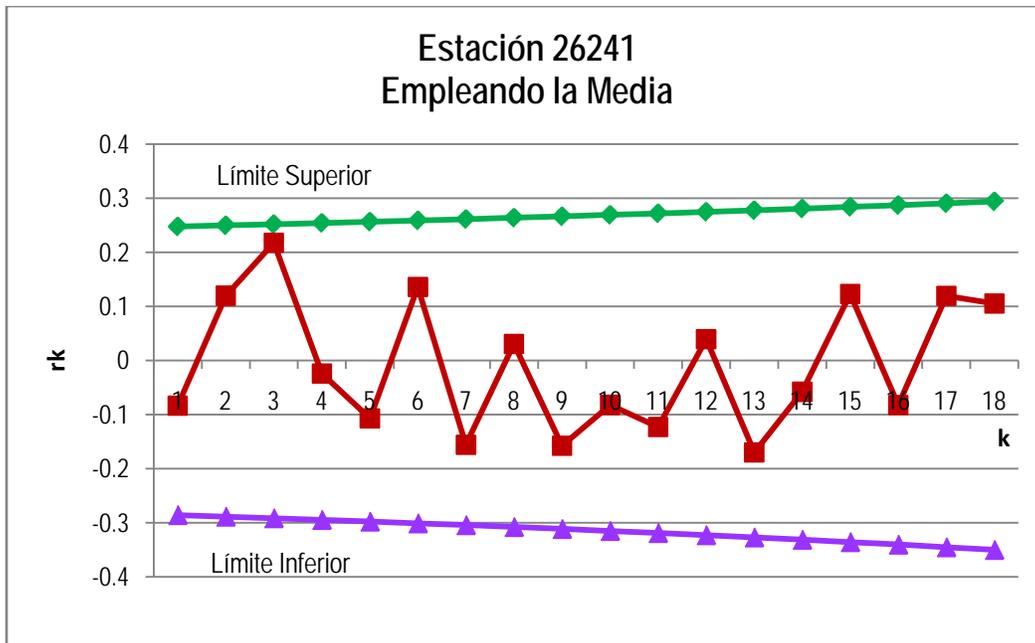


Figura 5.7. Correlograma de independencia para la estación 26241, considerando los dos casos de estudio.

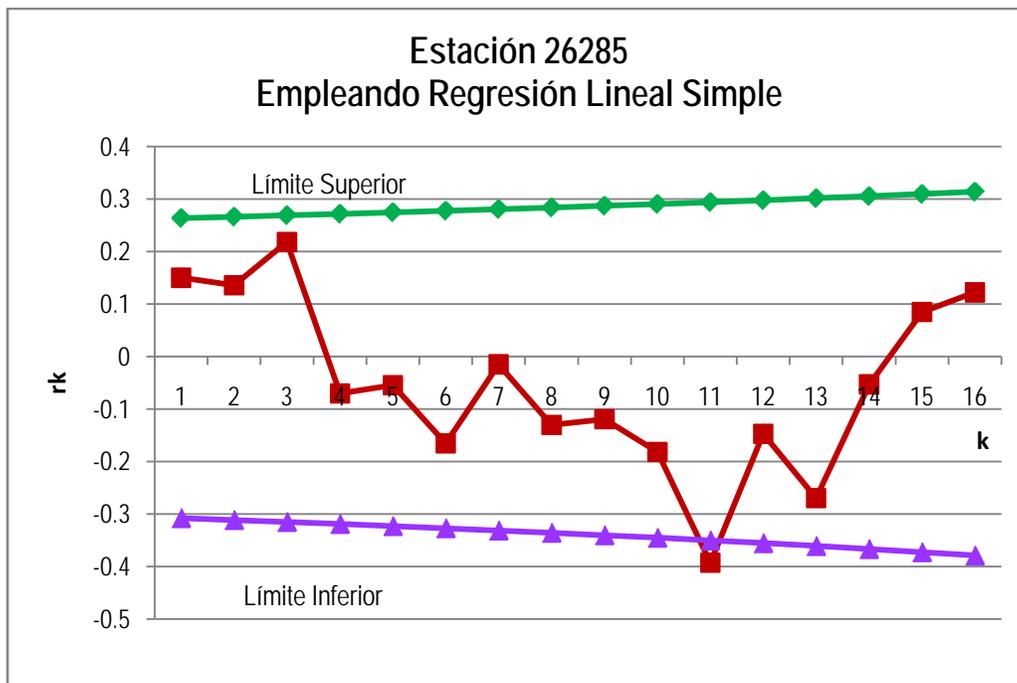
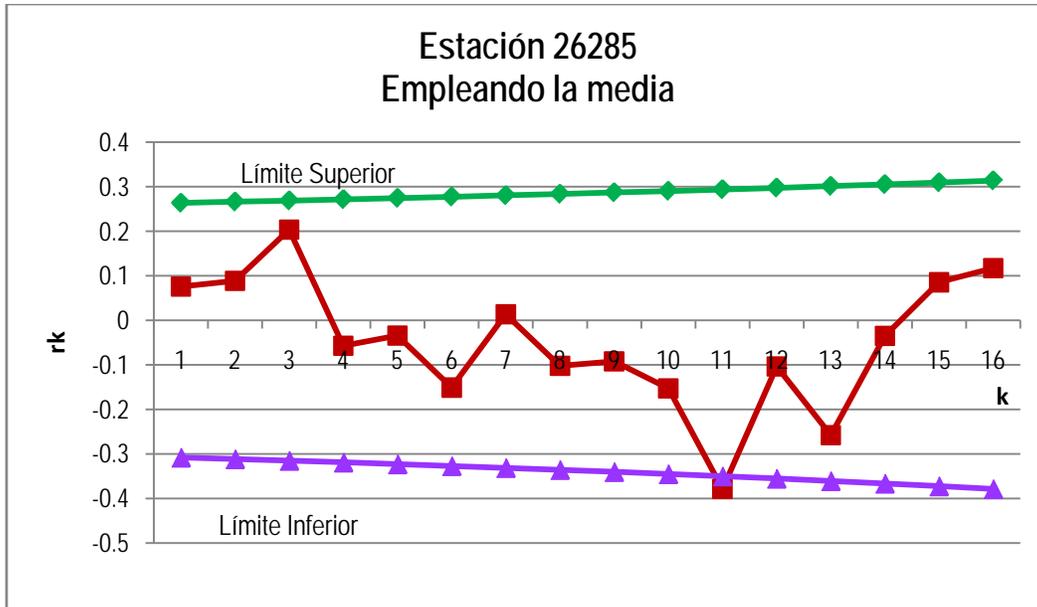


Figura 5.8. Correlograma de independencia para la estación 26285, considerando los dos casos de estudio.

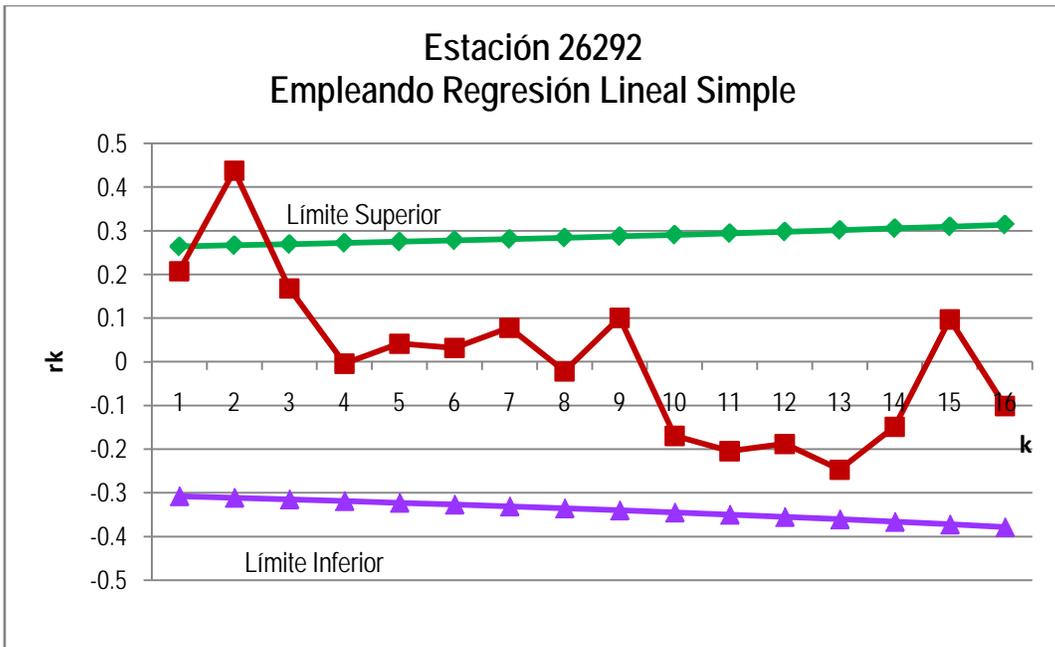
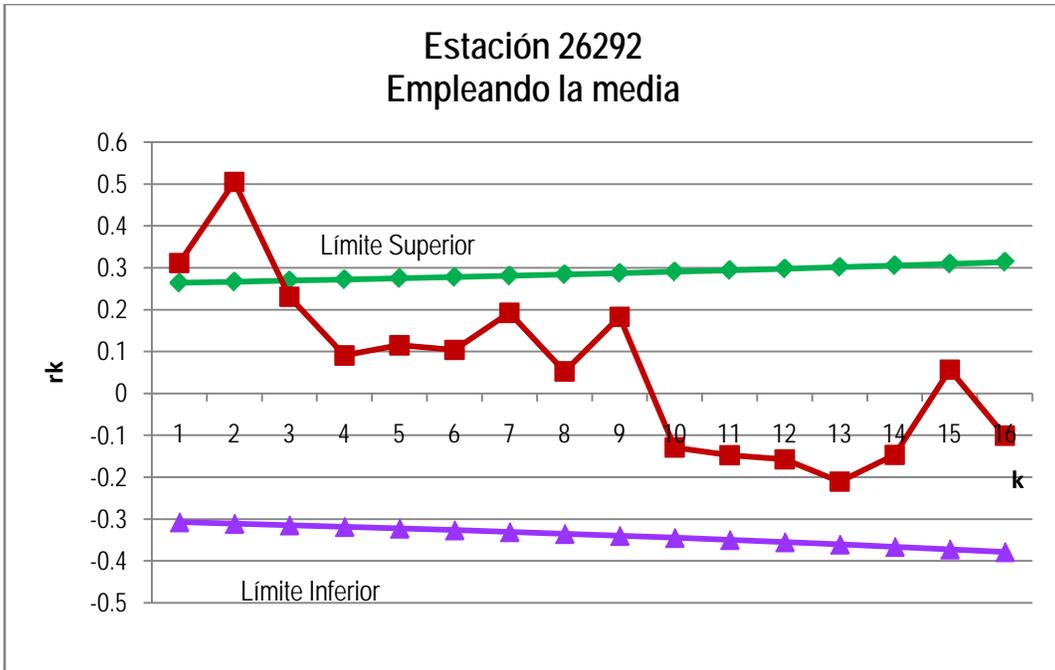


Figura 5.9. Correlograma de independencia para la estación 26292, considerando los los dos casos de estudio.

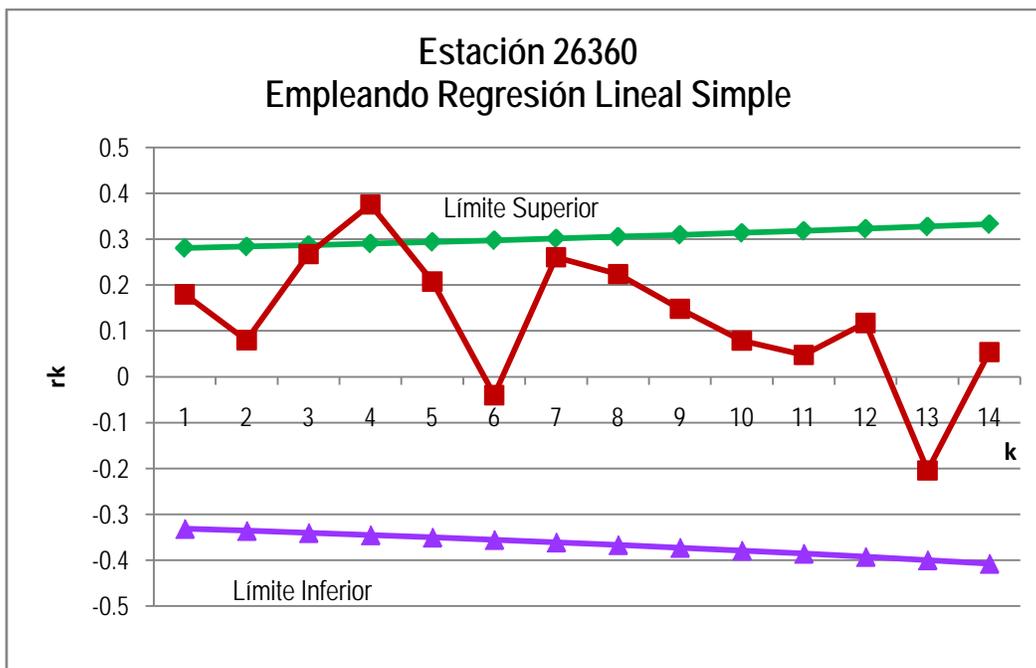
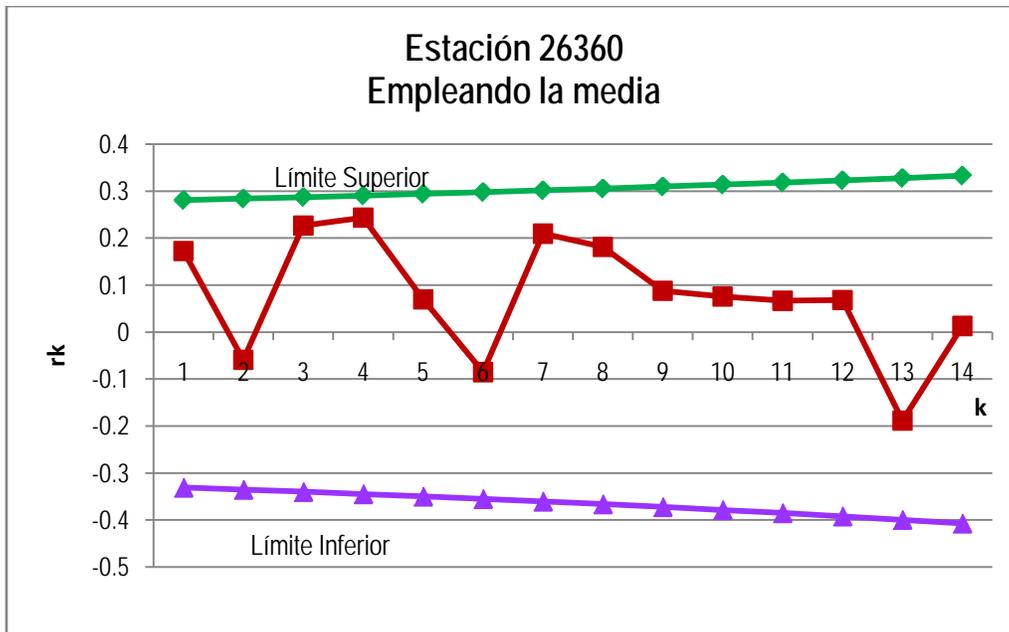


Figura 5.10. Correlograma de independencia para la estación 26360, considerando los dos casos de estudio.

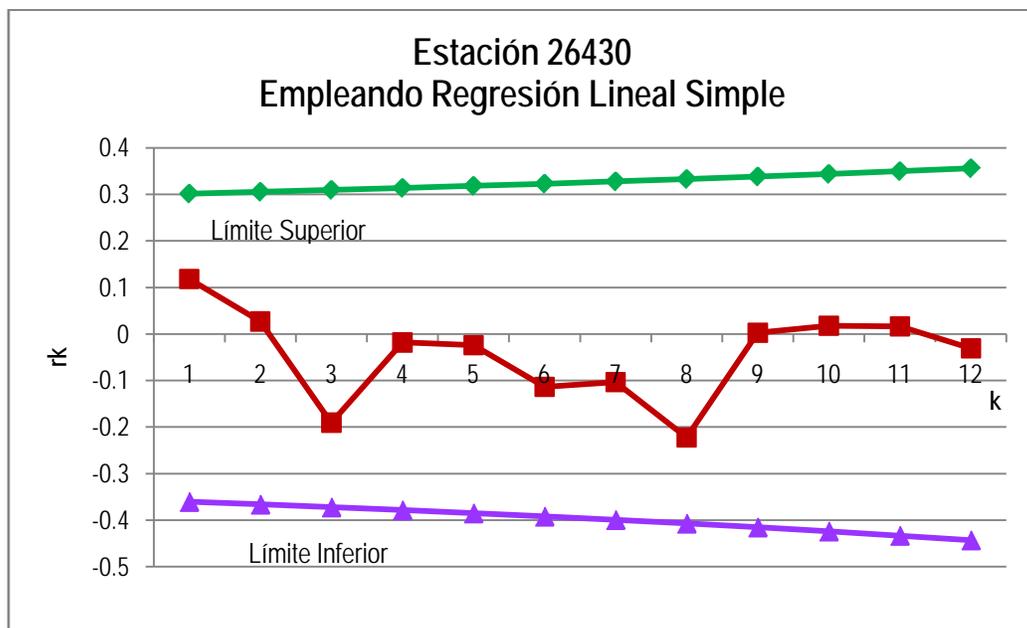
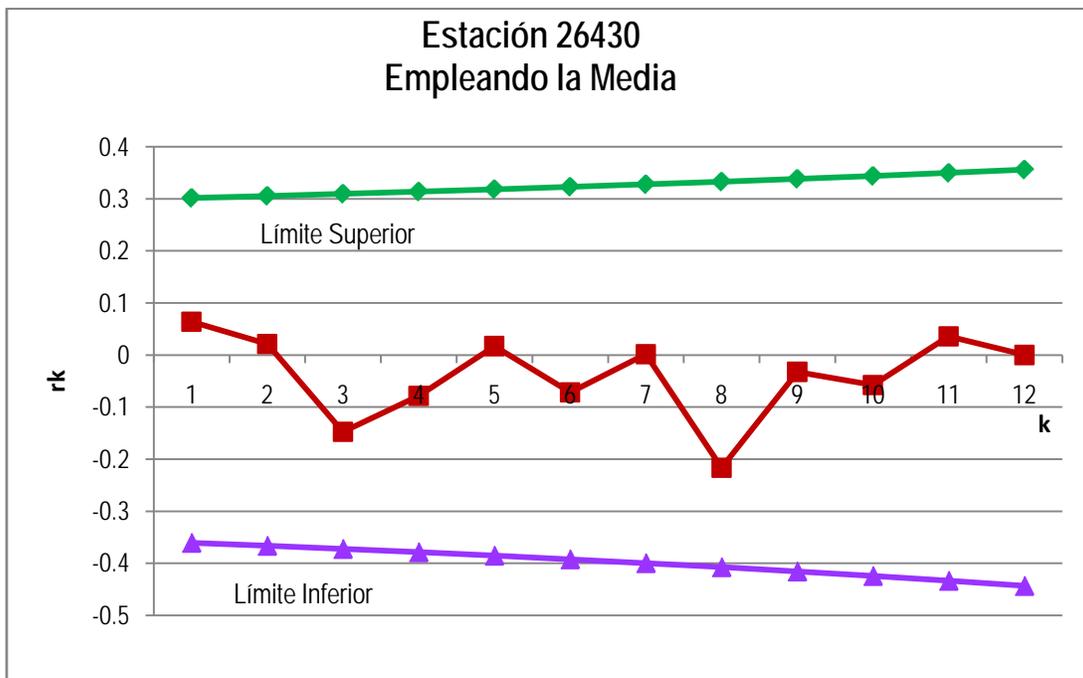


Figura 5.11. Correlograma de independencia para la estación 26360, considerando los dos casos de estudio.

5.3.2 Determinación de la Homogeneidad para los Gastos Máximos Anuales

Como es conocido, la homogeneidad indica el cambio en la tendencia del comportamiento de la serie de datos, así cuando una muestra es HOMOGÉNEA implicará que no existe cambio en el patrón del comportamiento de la variable en estudio, mientras que en el caso de resultar NO HOMOGÉNEA indicará que existe un cambio en el patrón de comportamiento.

Las pruebas que se realizaron son la de Helmert, T-Student y Cramer para las ocho estaciones en estudio. En las tablas 5.10 y 5.11 se presentan los resultados que se obtuvieron considerando los dos casos de estudio,

ESTACIÓN	HELMERT	T-STUDENT	CRAMER	
			n ₃₀	n ₆₀
26032	No Homogénea	Homogénea	Homogénea	No Homogénea
26053	No Homogénea	No Homogénea	Homogénea	Homogénea
26057	No Homogénea	No Homogénea	Homogénea	No Homogénea
26241	No Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea
26285	No Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea
26292	No Homogénea	No Homogénea	No Homogénea	No Homogénea
26360	No Homogénea	No Homogénea	No Homogénea	No Homogénea
26430	No Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea

Tabla 5.10. Resultados de Homogeneidad para los registros rellenados con el valor Medio.

ESTACIÓN	HELMERT	T-STUDENT	CRAMER	
			n ₃₀	n ₆₀
26032	No Homogénea	No Homogénea	No Homogénea	No Homogénea
26053	No Homogénea	No Homogénea	Homogénea	Homogénea
26057	No Homogénea	No Homogénea	No Homogénea	No Homogénea
26241	No Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea
26285	No Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea
26292	No Homogénea	No Homogénea	No Homogénea	Homogénea
26360	No Homogénea	No Homogénea	No Homogénea	No Homogénea
26430	No Homogénea	Homogénea	Homogénea	Homogénea

Tabla 5.11. Resultados de Homogeneidad para los registros rellenados con la técnica de Regresión Lineal Simple.

De los resultados anteriores se detecta que tres estaciones presentaron diferencias en la homogeneidad las cuales fueron la 26032, 26057 y 26292.

En las figuras 5.12 a la 5.17 se muestran los resultados gráficos de las tres estaciones anteriormente mencionadas incluyendo su línea de tendencia.

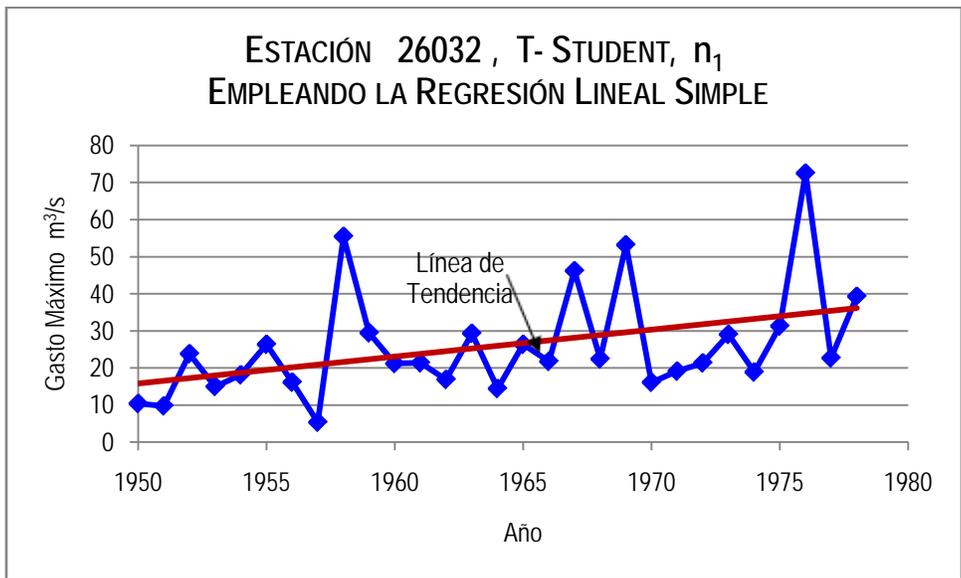
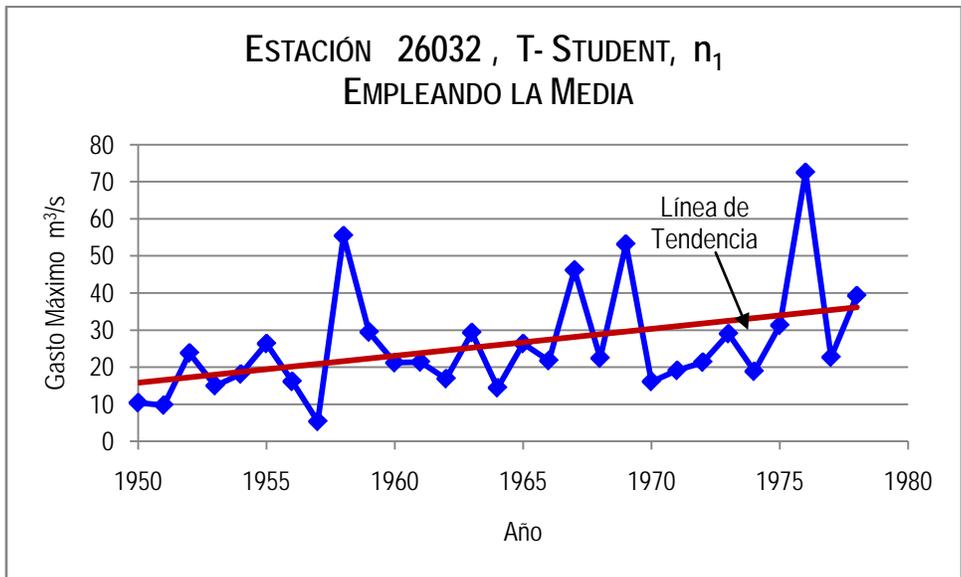


Figura 5.12. Comparación del resultado de homogeneidad para la estación 26032 trabajando los casos de obtención de datos faltantes manejando el valor medio y la Regresión Lineal Simple con la prueba de T-Student para un tamaño n_1 .

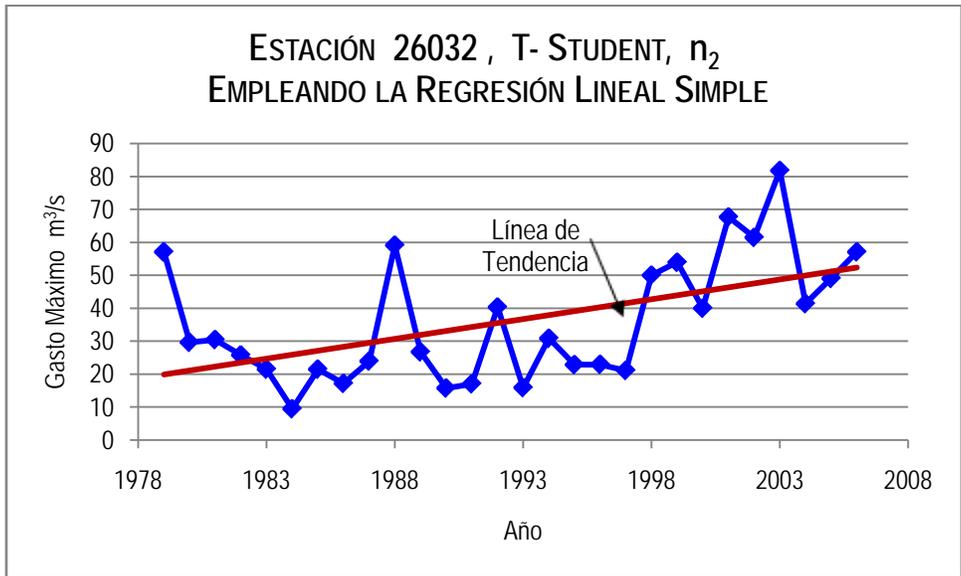
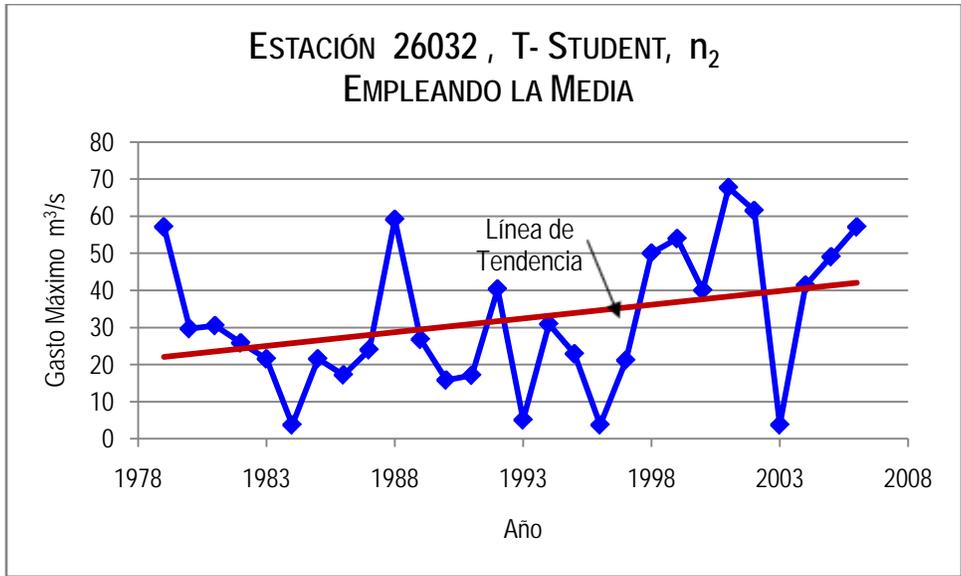


Figura 5.13. Comparación del resultado de homogeneidad para la estación 26032 trabajando los casos de obtención de datos faltantes manejando el valor medio y la Regresión Lineal Simple con la prueba de T-Student para un tamaño n_2 .

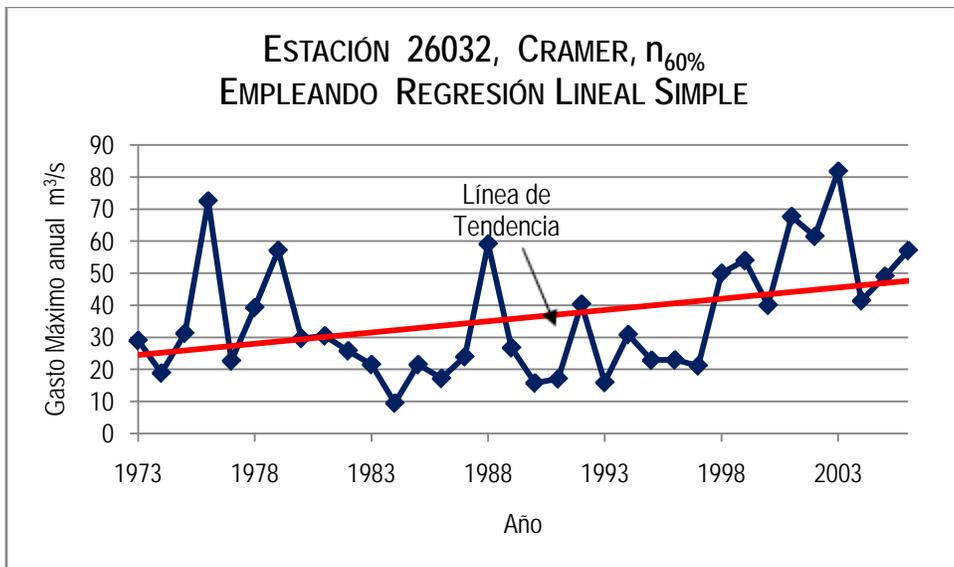
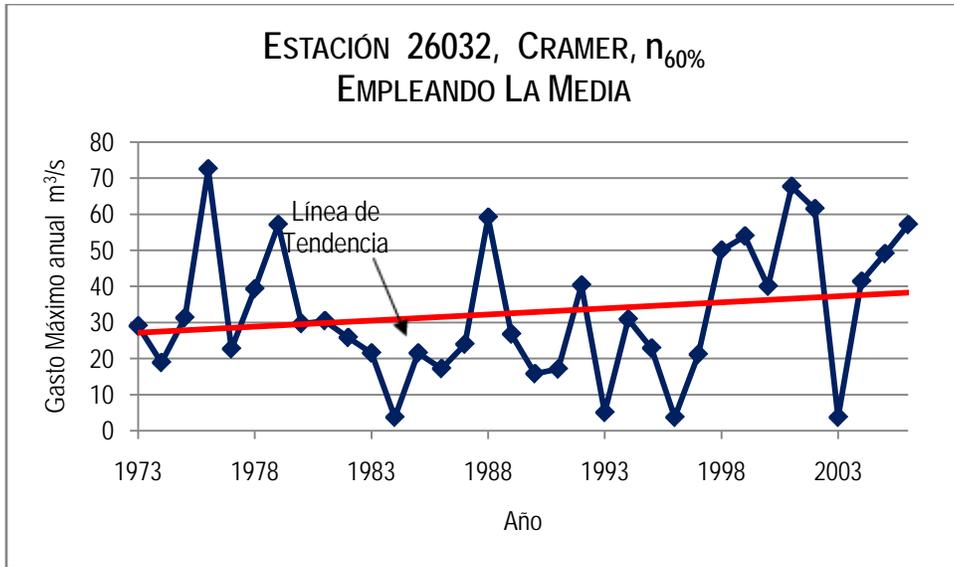


Figura 5.14. Comparación del resultado de homogeneidad para la estación 26032 trabajando los casos de obtención de datos faltantes manejando el valor medio y la Regresión Lineal Simple con la prueba de Cramer para un tamaño al 60% del registro.

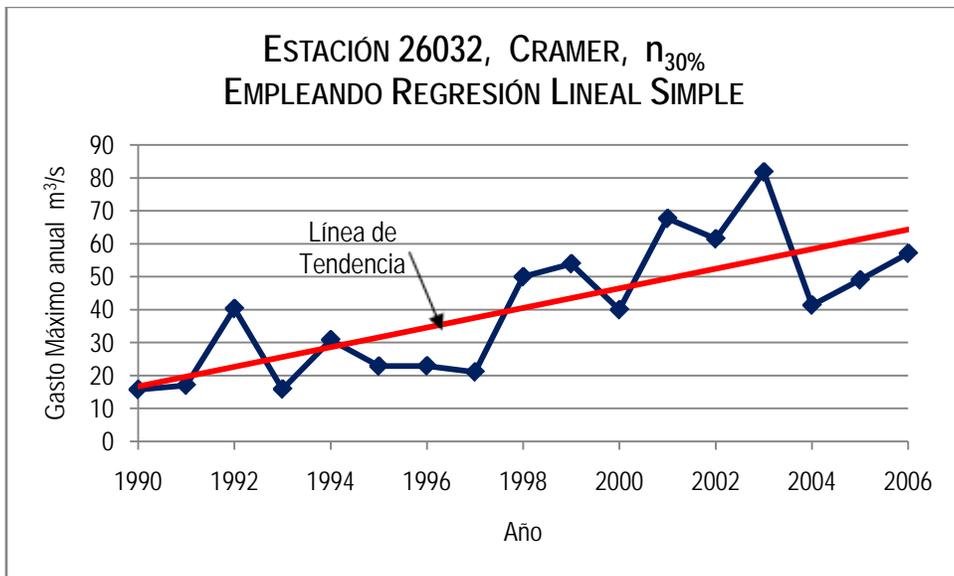
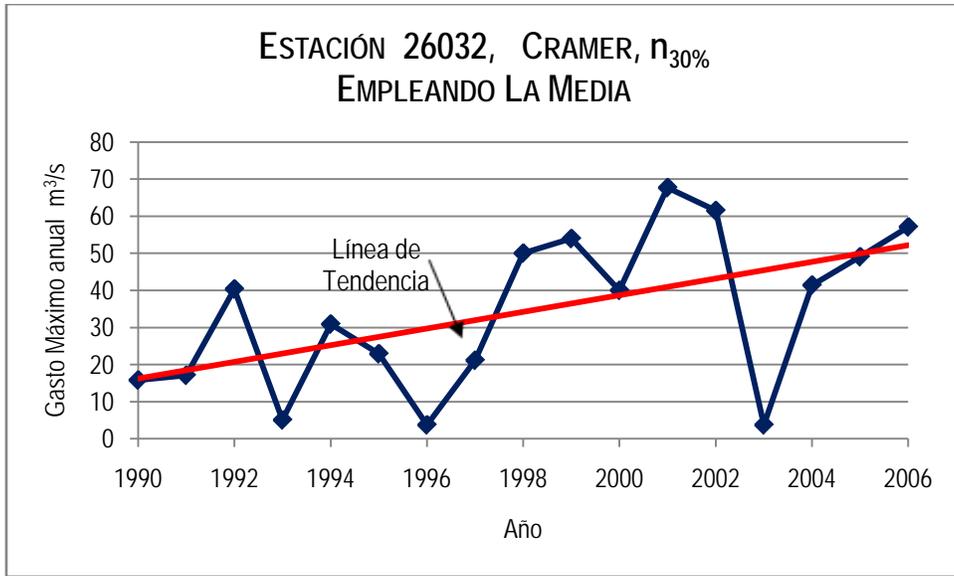


Figura 5.15. Comparación del resultado de homogeneidad para la estación 26032 trabajando los casos de obtención de datos faltantes manejando el valor medio y la Regresión Lineal Simple con la prueba de Cramer para un tamaño al 30% del registro.

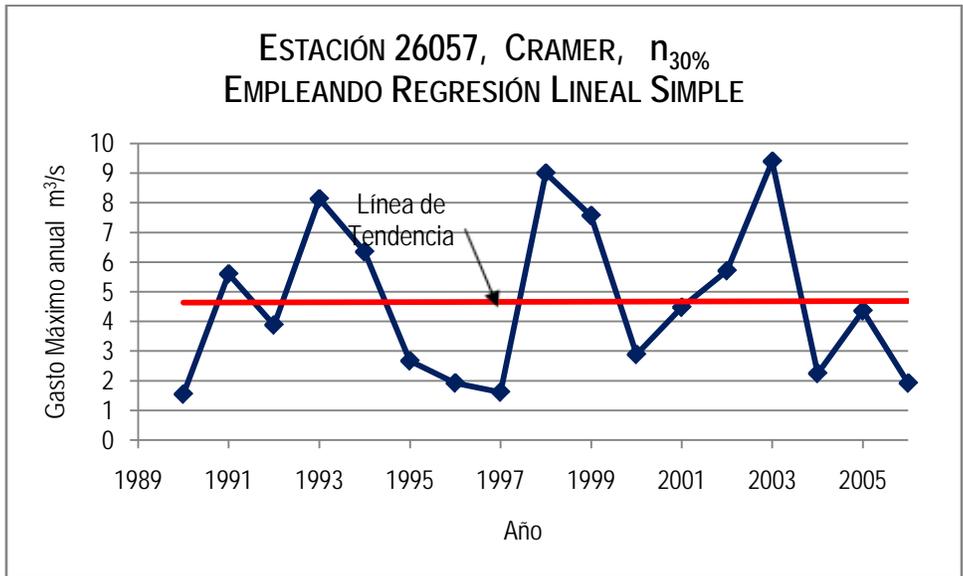
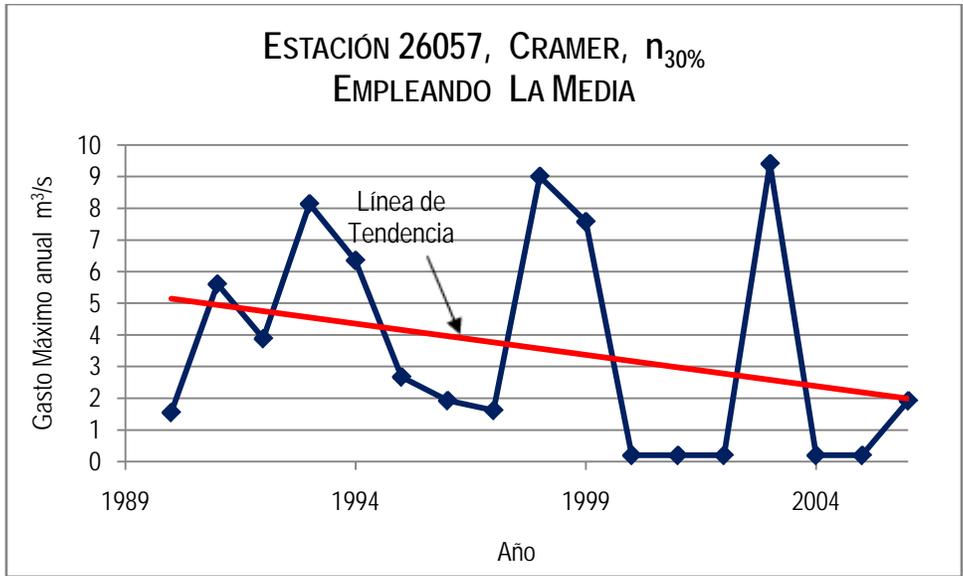


Figura 5.16. Comparación del resultado de homogeneidad para la estación 26057 trabajando los casos de obtención de datos faltantes manejando el valor medio y la Regresión Lineal Simple con la prueba de Cramer para un tamaño al 30% del registro.

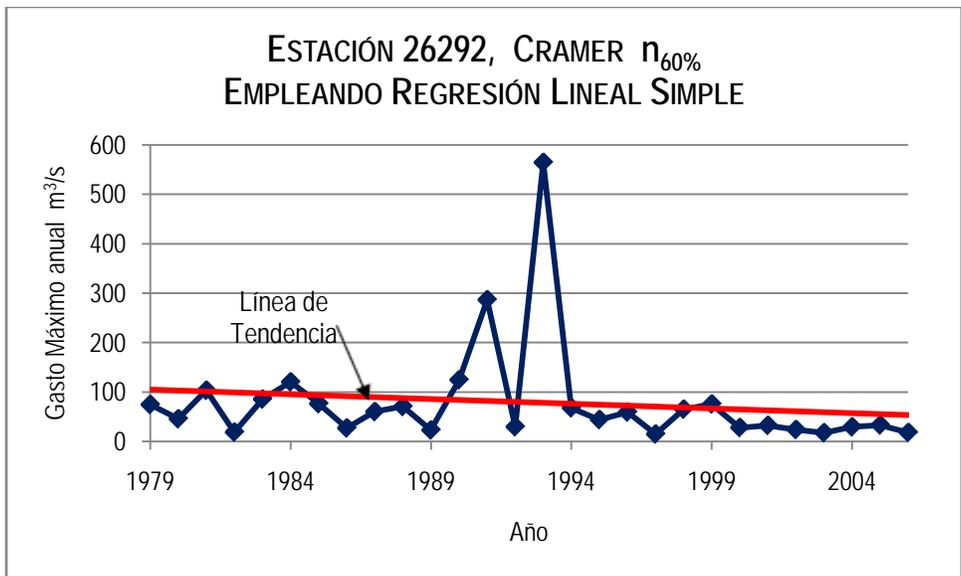
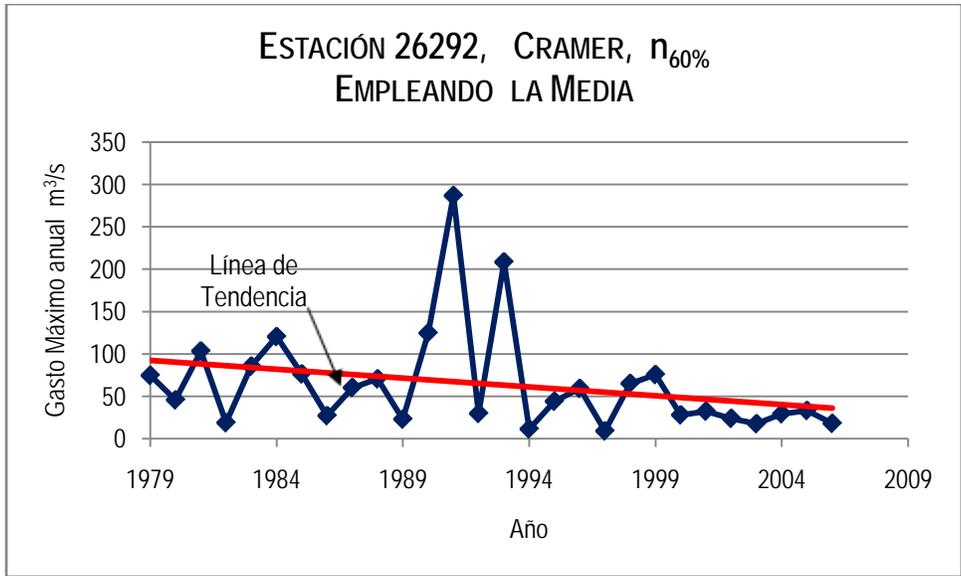


Figura 5.17. Comparación del resultado de homogeneidad para la estación 26292 trabajando los casos de obtención de datos faltantes manejando el valor medio y la Regresión Lineal Simple con la prueba de Cramer para un tamaño al 60% del registro.

5.4 Obtención de la Mejor Función de Ajuste para las ocho estaciones en estudio

Las Funciones en competencia fueron: Exponencial 1P, Exponencial 2P, Normal, Log Normal 2P, Log Normal 3P, Gamma 2p, Gamma 3P, Log Pearson III y Gumbel, cuyas ecuaciones se describieron en el capítulo cuatro.

Para la determinación de la mejor función se empleó la ecuación 4.82, el resumen de los resultados se presentan en las tablas 5.12 a la 5.19. Cabe destacar que se obtuvieron los eventos de diseño y error estándar para los dos casos de estudio.

ERROR ESTÁNDAR m ³ /s		ESTACIÓN: 26032
FUNCIÓN	EMPLEANDO LA MEDIA	EMPLEANDO REGRESIÓN LINEAL SIMPLE
Exponencial 1P	10.234	11.03
Exponencial 2P	4.349	3.464
Normal	4.591	5.81
Log Normal 2P	6.34	3.03
Log Normal 3P	3.245	3.94
Log Pearson III	18.28	18.423
Gumbel	31.56	3.42
Gamma 2P	3.06	3.21
Gamma 3P	16.19	3.906

Tabla 5.12. Valor del Error Estándar en m³/s para las diferentes funciones en competencia para la estación 26032.

ERROR ESTÁNDAR m ³ /s		ESTACIÓN: 26053
FUNCIÓN	EMPLEANDO LA MEDIA	EMPLEANDO REGRESIÓN LINEAL SIMPLE
Exponencial 1P	4.189	4.27
Exponencial 2P	1.229	1.12
Normal	2.447	2.54
Log Normal 2P	0.859	1.234
Log Normal 3P	1.704	1.769
Log Pearson III	6.992	6.9
Gumbel	1.399	1.44
Gamma 2P	1.399	1.44
Gamma 3P	3.88	4.56

Tabla 5.13. Valor del Error Estándar en m³/s para las diferentes funciones en competencia para la estación 26053.

ERROR ESTÁNDAR m ³ /s		ESTACIÓN: 26057
FUNCIÓN	EMPLEANDO LA MEDIA	EMPLEANDO REGRESIÓN LINEAL SIMPLE
Exponencial 1P	0.4196	0.459
Exponencial 2P	0.487	0.407
Normal	1.196	1.099
Log Normal 2P	0.8496	0.384
Log Normal 3P	0.868	0.776
Log Pearson III	2.985	2.801
Gumbel	0.731	0.643
Gamma 2P	0.515	0.469
Gamma 3P	0.702	0.495

Tabla 5.14. Valor del Error Estándar en m³/s para las diferentes funciones en competencia para la estación 26057.

ERROR ESTÁNDAR m ³ /s		ESTACIÓN: 26241
FUNCIÓN	EMPLEANDO LA MEDIA	EMPLEANDO REGRESIÓN LINEAL SIMPLE
Exponencial 1P	79.654	71.97
Exponencial 2P	21.67	24.95
Normal	33.35	31.36
Log Normal 2P	12.21	26.07
Log Normal 3P	20.64	18.98
Log Pearson III	122.09	128.16
Gumbel	16.82	16.19
Gamma 2P	16.79	16.10
Gamma 3P	22.34	33.63

Tabla 5.15. Valor del Error Estándar en m³/s para las diferentes funciones en competencia para la estación 26241.

ERROR ESTÁNDAR m ³ /s		ESTACIÓN: 26285
FUNCIÓN	EMPLEANDO LA MEDIA	EMPLEANDO REGRESIÓN LINEAL SIMPLE
Exponencial 1P	91.60	94.83
Exponencial 2P	30.744	28.1995
Normal	46.468	48.53
Log Normal 2P	24.229	24.945
Log Normal 3P	34.61	35.88
Log Pearson III	135.59	133.52
Gumbel	29.95	30.633
Gamma 2P	30.93	31.716
Gamma 3P	87.0	106.0

Tabla 5.16. Valor del Error Estándar en m³/s para las diferentes funciones en competencia para la estación 26285.

ERROR ESTÁNDAR m ³ /s		ESTACIÓN: 26292
FUNCIÓN	EMPLEANDO LA MEDIA	EMPLEANDO REGRESIÓN LINEAL SIMPLE
Exponencial 1P	39.83	46.35
Exponencial 2P	30.04	34.866
Normal	73.97	82.626
Log Normal 2P	28.04	40.107
Log Normal 3P	56.837	64.07
Log Pearson III	153.13	167.04
Gumbel	48.77	55.39
Gamma 2P	28.32	32.8
Gamma 3P	33.73	44.99

Tabla 5.17. Valor del Error Estándar en m³/s para las diferentes funciones en competencia para la estación 26292.

ERROR ESTÁNDAR m ³ /s		ESTACIÓN: 26360
FUNCIÓN	EMPLEANDO LA MEDIA	EMPLEANDO REGRESIÓN LINEAL SIMPLE
Exponencial 1P	2.966	3.114
Exponencial 2P	1.22	1.132
Normal	0.423	0.373
Log Normal 2P	2.51	1.998
Log Normal 3P	0.699	0.6286
Log Pearson III	2.653	2.393
Gumbel	0.823	0.747
Gamma 2P	0.758	0.66
Gamma 3P	9.37	10.249

Tabla 5.18. Valor del Error Estándar en m³/s para las diferentes funciones en competencia para la estación 26360.

ERROR ESTÁNDAR m ³ /s		ESTACIÓN: 26430
FUNCIÓN	EMPLEANDO LA MEDIA	EMPLEANDO REGRESIÓN LINEAL SIMPLE
Exponencial 1P	40.89	42.44
Exponencial 2P	9.87	10.58
Normal	7.08	6.35
Log Normal 2P	8.98	10.26
Log Normal 3P	5.74	5.62
Log Pearson III	5.76	5.69
Gumbel	38.47	72.11
Gamma 2P	34.36	34.43
Gamma 3P	5.99	6.20

Tabla 5.19. Valor del Error Estándar en m³/s para las diferentes funciones en competencia para la estación 26430.

En la tabla 5.20 se presenta el resumen de cuál fue la mejor función de ajuste por estación y caso.

MEJOR FUNCIÓN DE AJUSTE		
ESTACIÓN	EMPLEANDO LA MEDIA	EMPLEANDO REGRESIÓN LINEAL SIMPLE
26032	Gamma 2P	Log Normal 2P
26053	Log Normal 2P	Exponencial 2P
26057	Exponencial 1P	Log Normal 2P
26241	Log Normal 2P	Gamma 2P
26285	Log Normal 2P	Log Normal 2P
26292	Log Normal 2P	Gamma 2P
26360	Normal	Normal
26430	Log Normal 3P	Log Normal 3P

Tabla 5.20. Mejor Función de ajuste para cada una de las estaciones y caso de estudio.

De la tabla anterior se observa que las funciones que representan mejor el evento en estudio son la Normal, Log Normal y Gamma cuyo origen matemático es el mismo con las particularidades de cada una de ellas.

5.4.1 Estimación de los eventos de Diseño

En las siguientes tablas se presenta el valor de los eventos de diseño considerando la obtención de los datos faltantes trabajando con la media anual y con el método de Regresión Lineal Simple.

ESTACIÓN: 26032		
Tr Años	\hat{Q} m ³ /s EMPLEANDO LA MEDIA	\hat{Q} m ³ /s EMPLEANDO REGRESIÓN LINEAL SIMPLE
2	25.736	26.66
5	41.54	42.78
10	51.91	54.79
20	61.68	67.19
50	74.05	84.56
100	83.15	98.56
500	103.80	134.37
1,000	112.56	151.37
5,000	132.75	194.89
10,000	141.41	215.49

Tabla 5.21. Eventos de diseño considerando los dos casos de estudio para la estación 26032.

ESTACIÓN: 26053		
Tr Años	\hat{Q} m ³ /s EMPLEANDO LA MEDIA	\hat{Q} m ³ /s EMPLEANDO REGRESIÓN LINEAL SIMPLE
2	10.26	9.93
5	16.63	15.98
10	21.41	20.56
20	26.38	25.13
50	33.36	31.19
100	39.00	35.76
500	53.54	46.39
1,000	60.46	50.97
5,000	78.27	61.60
10,000	86.73	66.19

Tabla 5.22. Eventos de diseño considerando los dos casos de estudio para la estación 26053.

ESTACIÓN: 26057		
Tr Años	\hat{Q} m ³ /s EMPLEANDO LA MEDIA	\hat{Q} m ³ /s EMPLEANDO REGRESIÓN LINEAL SIMPLE
2	2.0334	2.379
5	4.72	5.16
10	6.757	7.539
20	8.791	10.21
50	11.48	14.261
100	13.51	17.763
500	18.24	27.56
1,000	20.27	32.585
5,000	24.99	46.406
10,000	27.03	53.39

Tabla 5.23. Eventos de diseño considerando los dos casos de estudio para la estación 26057.

ESTACIÓN: 26241		
Tr Años	\hat{Q} m ³ /s EMPLEANDO LA MEDIA	\hat{Q} m ³ /s EMPLEANDO REGRESIÓN LINEAL SIMPLE
2	186.78	185.45
5	297.85	297.82
10	370.41	381.58
20	438.50	468.22
50	524.55	589.44
100	587.75	687.20
500	730.78	937.49
1,000	791.38	1056.33
5,000	930.83	1360.66
10,000	990.56	1504.81

Tabla 5.24. Eventos de diseño considerando los dos casos de estudio para la estación 26241.

ESTACIÓN: 26285		
Tr Años	\hat{Q} m ³ /s EMPLEANDO LA MEDIA	\hat{Q} m ³ /s EMPLEANDO REGRESIÓN LINEAL SIMPLE
2	209.54	216.27
5	341.49	331.84
10	440.92	415.163
20	544.481	499.5
50	690.36	615.05
100	808.7	706.56
500	1,113.94	935.54
1,000	1,259.81	1,042.1
5,000	1,635.56	1,310.05
10,000	1,814.5	1,434.88

Tabla 5.25. Eventos de diseño considerando los dos casos de estudio para la estación 26285.

ESTACIÓN: 26292		
Tr Años	\hat{Q} m ³ /s EMPLEANDO LA MEDIA	\hat{Q} m ³ /s EMPLEANDO REGRESIÓN LINEAL SIMPLE
2	70.32	79.48
5	171.35	212.46
10	273.07	319.94
20	401.21	432.04
50	618.55	586.42
100	825.44	707.45
500	1480.14	1001.12
1,000	1852.53	1132.63
5,000	2981.94	1448.67
10,000	3603.53	1589.13

Tabla 5.26. Eventos de diseño considerando los dos casos de estudio para la estación 26292.

ESTACIÓN: 26360		
Tr Años	\hat{Q} m ³ /s EMPLEANDO LA MEDIA	\hat{Q} m ³ /s EMPLEANDO REGRESIÓN LINEAL SIMPLE
2	5.69	5.801
5	7.859	7.86
10	8.996	8.938
20	9.934	9.828
50	10.9896	10.829
100	11.693	11.496
500	13.117	12.846
1,000	13.664	13.365
5,000	14.825	14.466
10,000	15.287	14.904

Tabla 5.27. Eventos de diseño considerando los dos casos de estudio para la estación 26360.

ESTACIÓN: 26430		
Tr Años	\hat{Q} m ³ /s EMPLEANDO LA MEDIA	\hat{Q} m ³ /s EMPLEANDO REGRESIÓN LINEAL SIMPLE
2	80.44	82.02
5	111.22	112.99
10	130.06	131.95
20	147.23	149.22
50	268.48	170.2
100	183.89	186.096
500	218.41	220.83
1,000	232.98	235.49
5,000	266.52	269.23
10,000	280.93	283.73

Tabla 5.28. Eventos de diseño considerando los dos casos de estudio para la estación 26430.

Analizando ahora los **Gastos estimados** para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 50, 100, 500, 1000, 5000 y 10000 años, y comparando los resultados obtenidos en las tablas 5.21 a la 5.28, se observa que las magnitudes fueron (tabla 5.29):

DIFERENCIA ENTRE GASTOS ESTIMADOS m ³ /s								
$\hat{Q}_{Regresión} - \hat{Q}_{Media}$								
ESTACIONES								
Tr (años)	26032	26053	26057	26241	26285	26292	26360	26430
2	-0.927	-0.333	0.345	-1.329	6.726	9.162	0.114	1.579
5	-1.244	-0.651	0.437	-0.034	-9.649	41.105	0.001	1.767
10	-2.873	-0.854	0.782	11.175	-25.756	46.867	-0.058	1.881
20	-5.520	-1.243	1.419	29.720	-44.977	30.835	-0.106	1.986
50	-10.508	-2.170	2.781	64.885	-75.307	-32.124	-0.161	2.115
100	-15.401	-3.242	4.249	99.451	-102.144	-117.989	-0.197	2.209
500	-30.571	-7.144	9.323	206.711	-178.399	-479.027	-0.271	2.419
1,000	-38.807	-9.493	12.314	264.951	-217.703	-719.907	-0.299	2.508
5,000	-62.131	-16.671	21.412	429.829	-325.511	-1533.270	-0.359	2.712
10,000	-74.078	-20.556	26.360	514.254	-379.623	-2014.400	-0.383	2.799

Tabla 5.29. Diferencia entre los gastos estimados considerando las dos metodologías para el rellenado de datos.

Como se puede observar de los resultados anteriormente presentados, existe diferencias entre el obtener los datos faltantes trabajando con el valor de la media anual o empleando la técnica de Regresión Lineal Simple. En el siguiente capítulo se presentaran en forma las conclusiones de los resultados obtenidos.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La prevención de los riesgos climatológicos se realiza recurriendo a la observación de información meteorológica correspondiente a largos periodos de tiempo, que permite distinguir cuales valores pueden ser considerados como habituales y aquellos, que por su marcada diferencia corresponden a situaciones vinculadas con el riesgo.

La proyección y construcción de las obras Hidráulicas, deben tener como base un buen estudio hidrológico; si este no se lleva a cabo correctamente, la infraestructura puede resultar sobreestimada o subestimada, repercutiendo en los aspectos sociales, económicos y políticos, incrementándose incluso el riesgo de presentarse un desastre de gran magnitud.

Los cálculos elaborados en el capítulo 5, permitieron exponer con detalle los análisis previos, para calcular la información faltante en los registros disponibles con el método de Regresión Lineal Simple. Paralelamente se estimaron los mismos datos faltantes con el criterio de la media anual para resaltar la importancia que ofrecen los cálculos con la primera metodología.

Como una de las primeras conclusiones se analizará la importancia del rellenado de datos faltantes considerando la media anual como valor sustituto y el método de Regresión Lineal Simple. Se considerará el valor de los Gastos Máximos Anuales. En la tabla 5.8 se presentará un resumen de los resultados obtenidos en las ocho estaciones en estudio únicamente para los años que presentaron datos faltantes y cuyo valor de Gasto Máximo Anual fue diferente.

Como puede observarse, existe una diferencia importante entre elegir los gastos máximos anuales al rellenar los datos faltantes empleando el valor medio anual o trabajando con la ecuación de Regresión Lineal Simple. El caso más extremo se presentó en la estación 26292 con una diferencia entre los gastos de 356.23 m³/s.

En general se observó que el valor del gasto máximo trabajando el registro con el valor medio siempre fue menor comparado con el de Regresión Lineal Simple, una de las consecuencias de elegir este gasto es el subdimensionamiento de la obra civil proyectada.

Hablando de la **homogeneidad** en la tabla 6.2 se presentan los resultados generales obtenidos al considerar las pruebas de Helmert, T-Student y Cramer para las ocho estaciones. De las tablas 5.10 y 5.11 se obtendrá un análisis estadístico considerando como muestra 32 resultados.

PROCEDIMIENTO DE RELLENADO DE DATOS	MUESTRA NO HOMOGÉNEA	MUESTRA HOMOGÉNEA
Media Anual	56.25%	43.75%
Regresión Lineal Simple	62.5%	37.5%

Tabla 6.2. Estadísticas de homogeneidad para las ocho estaciones en estudio.

De la tabla 6.2 se establece que con la Regresión Lineal Simple, el 62.5% de las veces existen cambios en la tendencia del comportamiento de la muestra por lo que se tendrán que emplear

modelos estadísticos no estacionarios. Mientras que en el caso de la media este porcentaje se reduce al 56 %. Una vez más se observa que los resultados arrojados por la media son menores.

Analizando la homogeneidad de manera particular, en la estación 26032, con el método de Regresión Lineal el 100% de las pruebas indica que se estará trabajando con un registro no estacionario, mientras que con la media, el 50% de las pruebas indican que es un proceso no estacionario.

Para la estación 26057 con la Regresión lineal el 100% de las pruebas indican que el registro es no estacionario mientras que con la media solo el 75% indicaron que es un proceso no estacionario.

Finalmente para la estación 26292 con la Regresión Lineal el 75% de las pruebas indicaron un proceso no estacionario mientras que con la media el 100% de las pruebas indicaron la No homogeneidad.

Con respecto a la **Independencia** y considerando la muestra trabajada con la media anual se observa que en el 25% de las estaciones en estudio (26057 y 26292) los registros fueron dependientes, es decir se perdió la aleatoriedad de la variable, mientras que con la metodología de Regresión Lineal el 100% de las estaciones presentaron independencia.

De la tabla 5.29, presentada en el capítulo anterior, los valores negativos implican que el valor estimado, manejando la media anual, fue mayor que el obtenido con el método de Regresión Lineal Simple. Adicionalmente se ve que conforme el periodo de retorno aumenta la diferencia entre gastos es mayor. El valor más drástico ocurrió en la estación 26292 para un periodo de 10,000 años existiendo una diferencia entre valores de 2,014.4 m³/s.

Como Recomendación, es importante destacar que aunque el método de Regresión Lineal Simple es de fácil aplicación, no debe emplearse indistintamente, es necesario saber si el ajuste o relación entre estaciones es la adecuada, y esto solo se logra con la información que proporciona el valor del coeficiente de correlación, entre más cercano este a uno o menos uno la relación es la correcta, mientras que los valores cercanos a cero manifiestan una pésima correlación.

Es muy importante tener un monitoreo constante de la operación del sistema de medición, evitar en lo posible la falta de registros provocada por errores en la medición, falla en la instrumentación o nulo mantenimiento lo que provocará un mal diseño de la infraestructura hidráulica pudiendo originar pérdidas humanas, deterioro de la infraestructura, economía en descenso y el desplazamiento de personas hacia los albergues.

BIBLIOGRAFÍA

CEPAL, 2009. Metodologías para la evaluación del impacto socioeconómico de los desastres. Sede Subregional de la CEPAL en México, México 2009.

Chander, S., Spolia, S. K. y A. Kumar., 1978. Flood frequency analysis by power transformation. Proc. A.S.C.E. J. Hydraul. Div. 104(HY11): 1495-1504.

CONAGUA. 2010. Subdirección General de Programación Elaborado a partir de datos de INEGI. Censos Generales y Conteos. INEGI, Censo de población y vivienda 2010. INEGI, Marco Geoestadístico, Versión 5.0. 2011.

CONAGUA, 2011. Estadísticas del agua en México, edición 2011. Capítulo 4 Infraestructura hidráulica. Atlas del agua en México.

CONAPO. 2007. Proyecciones de la población de México 2005-2050. México.

Escalante, S. C, 2002. Técnicas Estadísticas en Hidrología. México, UNAM, Facultad de Ingeniería, 2002, 298 p.p

INEGI 2012. Anuario estadístico de Guanajuato. México.

INEGI 2012. Anuario estadístico de Hidalgo. México.

INEGI 2012. Anuario estadístico de México.

INEGI 2012. Anuario estadístico de Puebla. México.

INEGI 2012. Anuario estadístico de Querétaro. México.

INEGI 2012. Anuario estadístico de San Luis Potosí. México.

INEGI 2012. Anuario estadístico de Tamaulipas. México.

INEGI 2012. Anuario estadístico de Tlaxcala. México.

INEGI 2012. Anuario estadístico de Veracruz de Ignacio de la Llave. México.

INEGI 2012. Anuario estadístico del Distrito Federal. México.

INEGI 2012. Anuario estadístico del Nuevo León 2012. México.

Kite, G.W. 1988. Frequency and risk analyses in hydrology. Water Resources Publications. USA 257p.

Mayoral Jiménez Isabel. Septiembre de 2013.

<http://www.cnnexpansion.com/economia/2013/09/17/inundaciones-agotan-fonden>

Salas, J. D, J. W. Delleur, V. Yevjevich y W. L. Lane., 1988. Applied modeling of hydrological time series. Water Resources Publications. USA. 484 p.

SEGOB-CENAPRED, 2001. Diagnóstico de Peligros e Identificación de Riesgos de Desastres en México. Primera edición. México.

SEGOB. 2012. FONDEN: El Fondo de Desastres Naturales de México: una reseña. Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento / Banco Mundial 2012 —México: SEGOB: Banco Mundial 2012. 82 p

Sistema Nacional de protección Civil 2013 —México: SEGOB: Sistema Nacional de protección Civil 2013.

<http://www.nhc.noaa.gov/aboutsshws.php> Saffir-Simpson Hurricane Wind Scale. National Weather Service, National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)

[http://www.nhc.noaa.gov/surge/Introducción a la MarejadaCiclónica](http://www.nhc.noaa.gov/surge/Introducción%20a%20la%20MarejadaCiclónica), NOAA/ National Weather Service, National Hurricane Center

COMUNICADOS DE PRENSA. COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA (CONAGUA).

CONAGUA, México, 2013. Comunicado de Prensa No. 604-13.

CONAGUA, México, 2013. Comunicado de Prensa No. 605-13.

CONAGUA, México, 2013. Comunicado de Prensa No. 607-13.

CONAGUA, México, 2013. Comunicado de Prensa No. 609-13.

CONAGUA, México, 2013. Comunicado de Prensa No. 610-13.

CONAGUA, México, 2013. Comunicado de Prensa No. 611-13.

CONAGUA, México, 2013. Comunicado de Prensa No. 612-13.

CONAGUA, México, 2013. Comunicado de Prensa No. 614-13.

CONAGUA, México, 2013. Comunicado de Prensa No. 615-13.

CONAGUA, México, 2013. Comunicado de Prensa No. 616-13.

CONAGUA, México, 2013. Comunicado de Prensa No. 617-13.

CONAGUA, México, 2013. Comunicado de Prensa No. 618-13.

CONAGUA, México, 2013. Comunicado de Prensa No. 619-13.

CONAGUA, México, 2013. Comunicado de Prensa No. 621-13.

CONAGUA, México, 2013. Comunicado de Prensa No. 622-13.

CONAGUA, México, 2013. Comunicado de Prensa No. 623-13.

CONAGUA, México, 2013. Comunicado de Prensa No. 624-13.

CONAGUA, México, 2013. Comunicado de Prensa No. 625-13.

CONAGUA, México, 2013. Comunicado de Prensa No. 626-13.

CONAGUA, México, 2013. Comunicado de Prensa No. 627-13.

CONAGUA, México, 2013. Comunicado de Prensa No. 628-13.

CONAGUA, México, 2013. Comunicado de Prensa No. 629-13.

CONAGUA, México, 2013. Comunicado de Prensa No. 630-13.

CONAGUA, México, 2013. Comunicado de Prensa No. 631-13.

CONAGUA, México, 2013. Comunicado de Prensa No. 632-13.

CONAGUA, México, 2013. Comunicado de Prensa No. 633-13.

CONAGUA, México, 2013. Comunicado de Prensa No. 635-13.

CONAGUA, México, 2013. Comunicado de Prensa No. 639-13.

CONAGUA, México, 2013. Comunicado de Prensa No. 642-13.

CONAGUA, México, 2013. Comunicado de Prensa No. 644-13.

CONAGUA, México, 2013. Comunicado de Prensa No. 646-13.

CONAGUA, México, 2013. Comunicado de Prensa No. 649-13.

CONAGUA, México, 2013. Comunicado de Prensa No. 650-13.

NOTAS PRENSA NACIONAL

Excélsior, 14 de septiembre de 2013. "Cuatro estados en alerta por tormentas 'Ingrid' y 'Manuel'"

Excélsior, 14 de septiembre de 2013. "Oaxaca en alerta por derrumbes en carreteras e inundaciones"

Excélsior, 14 de septiembre de 2013. "Ríos desbordados en Veracruz; un muerto por intentar cruzar arroyo".

Excélsior, 15 de septiembre de 2013. "SIAT CT Sistema de alerta temprana para ciclones tropicales. Secretaria de Gobernación y Sistema Tormenta tropical Manuel toca tierra en manzanillo". Notimex.

Excélsior, 15 de septiembre de 2013. "Elevan a 14 las muertes derivadas de huracán "Ingrid" y tormenta Manuel". EFE.

Excélsior, 15 de septiembre de 2013. "Alerta en Michoacán, colima y guerrero por la tormenta "Manuel", que hoy toca tierra". Notimex.

El universal, 16 de Septiembre de 2013. Justino Miranda. "Morelos reporta 900 damnificados por Manuel"

Excélsior, 16 de septiembre de 2013. Rodrigo Aguilar. "En Acapulco hay 40mil turistas varados"

Excélsior, 16 de septiembre de 2013. Héctor Figueroa "Suman 300 mil damnificados y 42 muertos por tormentas Ingrid y Manuel"

Excélsior, 16 de septiembre de 2013. "Ingrid toca tierra cerca de la pesca, Tamaulipas; se debilita a tormenta tropical"

Excélsior, 16 de septiembre de 2013. "Van 35 muertos por el paso de dos ciclones tropicales simultáneos"

Excélsior, 16 de septiembre de 2013. "Acapulco está totalmente incomunicado por aire y tierra". Notimex.

Eleconomista, 17 de Septiembre de 2013. "Ingrid y Manuel mantienen en vilo a Zacatecas". Notimex,

Excélsior, 17 de septiembre de 2013. "Falla prevención frente a desastre; desesperación y rapiña en Acapulco"

Excélsior, 17 de septiembre de 2013. "Se esperan aún lluvias fuertes por remanentes de Ingrid y Manuel". Notimex

Excélsior, 17 de septiembre de 2013. Rolando Aguilar. "Reportan daños en más de 11 mil viviendas y 25 ríos desbordados en Guerrero"

Excélsior, 17 de septiembre de 2013. "Emiten declaratoria de emergencia para 56 municipios de Guerrero".

Excélsior, 17 de septiembre de 2013. "Manuel retoma fuerza y se convierte en depresión tropical"

Excélsior, 17 de septiembre de 2013. "Más de 263 mil usuarios de la CFE afectados por Ingrid y Manuel". Notimex.

Excélsior, 17 de septiembre de 2013. "Causa estragos desbordamiento del Usumacinta; al menos 800 familias afectadas"

Excélsior, 18 de septiembre de 2013. "Aumentan a 77 municipios en declaratoria de desastre"

Excélsior, 18 de septiembre de 2013. "Remanentes de 'Ingrid' y 'Manuel' provocan desbordamiento de ríos".

CNN, México, 19 de Septiembre de 2013. Rodrigo Aguilar, "100,000 afectados en Sinaloa por el paso del huracán Manuel"

Radio fórmula, México, 21 de Septiembre de 2013. Víctor Torres. Da Sinaloa cifras preliminares de daños por lluvias"

La Jornada, www.jornada.unam.mx 20 de Septiembre de 2013. "Manuel provoca dos decesos en Sinaloa y uno en Jalisco; hay unos 100 mil damnificados".

Excélsior, 21 de Septiembre de 2013. Miguel García Tinoco, "Alrededor de 8 mil personas los afectados en Michoacán por 'Manuel'"

CNN México, 24 de Septiembre de 2013. "Las cifras del desastre por 'Manuel' e 'Ingrid'"

Proceso. Pedro Zamora Briseño, 3 de Octubre de 2013. "Manuel deja daños por 242 millones de pesos en Colima"

ANEXO A

ANEXO A

A continuación se presentan los valores del coeficiente de correlación para las ocho estaciones seleccionadas y que presentan datos faltantes.

ESTACIÓN CON DATOS FALTANTES.	ESTACIÓN DE CORRELACIÓN	COEFICIENTE R	DATOS FALTANTES
26032	26023	0.7682	04/1996
	26039	0.6030	04/1986
	26042	-0.6428, -0.5217, -0.4938	02/2003, 03/2003, 04/2003
	26053	0.8938, 0.6589, 0.6526, 0.6882, 0.6990	06/1986, 07/1993, 08/1993, 09/1993, 07/2003
	26054	0.7002, 0.7983, 0.8884, 0.8167, 0.7660, 0.7351, 0.6209	01/1984, 02/1984, 03/1984, 04/1984, 05/1984, 06/1984, 12/1984
	26070	0.7984, 0.2661	10/1993, 11/1996
	26118	0.6111, 0.6654, 0.6985, 0.7590, 0.6376	07/1984, 08/1984, 09/1984, 10/1984, 11/1984
	26180	-0.6683	01/1988
	26214	-0.7998	12/2002, 12/2003
	26218	0.8269	03/1993
	26137	0.7505,	02/1996
	26205	-0.8563	05/2003
	26266	0.7542	03/1996
	26268	0.6878	10/1996
	26272	-0.6676	01/2003
	26275	0.6881	05/1996
	26278	0.7183	04/1991
	26289	0.5060	12/1996
	26315	0.8679	05/1986
	26331	0.9832	03/1988
26356	0.7486, 0.8526	01/1993, 02/1993	
26358	-0.5289	04/1993	

Tabla A1. Valores del Coeficiente de Correlación R por mes y año para la estación 26032.

ESTACIÓN CON DATOS FALTANTES.	ESTACIÓN DE CORRELACIÓN	COEFICIENTE R	DATOS FALTANTES
26032	26412	0.5276,	05/1993,
		0.8133,	06/1993,
		0.7210,	01/1996,
		0.8529,	06/1996,
		0.9104,	07/1996,
		0.8011,	08/1996,
		0.8359,	09/1996,
		0.6124,	06/2003,
		0.8508,	08/2003,
		0.8471,	09/2003,
		0.7861,	10/2003,
		0.4739	11/2003
	26416	-0.9774	03/1991
	26440	0.8162	02/1991
	26445	0.9542	02/1988

Tabla A1. Continuación. Valores del Coeficiente de Correlación R por mes y año para la estación 26032.

ESTACIÓN CON DATOS FALTANTES.	ESTACIÓN DE CORRELACIÓN	COEFICIENTE R	DATOS FALTANTES
26053	26023	0.4000	12/1996
	26054	0.8150,	03/1986,
			04/1986
	26057	0.4820	08/1996
	26070	0.6265	09/1996
	26149	0.5995	03/1996
	26191	0.5865,	01/1996,
			02/1996,
			05/1996,
			06/1996,
			07/1996,
			10/1996,
		0.5801	11/1996
26241	0.8111	12/2002	
26248	0.6016	04/1996	
26263	0.7772	12/2001	
26296	0.6680	01/2002	
26431	-0.8719	01/2002	

Tabla A2. Valores del Coeficiente de Correlación R por mes y año para la estación 26053.

ESTACIÓN CON DATOS FALTANTES.	ESTACIÓN DE CORRELACIÓN	COEFICIENTE R	DATOS FALTANTES
26057	26053	-0.5435	01/1993
	26151	0.6968	07/2004, 07/2005
	26214	0.3362	12/1993
	26217	0.5591	03/2004, 03/2005
	26243	-0.6937 -0.7047	02/2000, 02/2001, 02/2002, 09/2004, 09/2005
	26255	-0.5806	04/2004, 04/2005
	26263	0.3806	03/2000, 03/2001, 03/2002
	26268	0.3001	05/2000, 05/2001, 05/2002
	26270	0.4728, 0.5073	06/2000, 06/2001, 06/2002, 10/2004, 10/2005
	26283	0.8259	12/2000, 12/2001, 12/2002
	26286	0.9550	12/1997
	26289	0.5039	02/2004, 02/2005
	26313	-0.6993	01/2004, 01/2005
	26329	-0.5827, 0.7401	01/2000, 01/2001, 01/2002, 05/2004, 05/2005
	26336	-0.5108	11/2004, 11/2005
	26337	0.4533	04/2000, 04/2001, 04/2002
	26342	-0.2763	12/2004, 12/2005
	26360	0.6437	08/2004, 08/2005
26389	-0.5979	12/1998	

Tabla A3. Valores del Coeficiente de Correlación R por mes y año para la estación 26057.

ESTACIÓN CON DATOS FALTANTES.	ESTACIÓN DE CORRELACIÓN	COEFICIENTE R	DATOS FALTANTES
26057	26412	0.5997,	06/2004,
		0.3092,	06/2005,
	0.7251	08/2000,	
			08/2001,
			08/2002,
			09/2000,
			09/2001,
			09/2002
	26429	-0.4566,	10/2000,
			10/2001,
			10/2002,
			11/2000,
			11/2001,
			11/2002
	26449	0.3614	07/2000,
			07/2001,
			07/2002

Tabla A3. Continuación. Valores del Coeficiente de Correlación R por mes y año para la estación 26057.

ESTACIÓN CON DATOS FALTANTES.	ESTACIÓN DE CORRELACIÓN	COEFICIENTE R	DATOS FALTANTES
26241	26243	0.7707,	01/1979,
		0.8485,	02/1979,
		0.8410,	03/1979,
		0.7876,	04/1979,
		0.8135,	05/1979,
		0.8577,	06/1979,
		0.8540,	07/1979,
		0.8504,	08/1979,
		0.8772,	09/1979,
		0.8646,	10/1979,
		0.8269,	11/1979,
		0.8611,	12/1979,
		0.8450,	03/1991,
		0.8486,	01/1998,
		0.8430,	02/1998,
		0.8704,	04/2000,
	0.7797,	05/2000,	
0.8596	10/2000		
	26248	0.8338	12/2000
	26272	0.8730	09/2004
	26289	0.8052	03/2000

Tabla A4. Valores del Coeficiente de Correlación R por mes y año para la estación 26241.

ESTACIÓN CON DATOS FALTANTES	ESTACIÓN DE CORRELACIÓN	COEFICIENTE R	DATOS FALTANTES
	26291	0.8298	08/2004
	26293	0.8809	06/2000
	26387	0.8611, 0.8782, 0.7565	08/2000, 09/2000, 11/2000
	26415	0.8819, 0.8066, 0.9313, 0.8989, 0.9251	04/1991, 05/1991, 06/1991, 07/1991, 07/2000

Tabla A4. Continuación. Valores del Coeficiente de Correlación R por mes y año para la estación 26241.

ESTACIÓN CON DATOS FALTANTES	ESTACIÓN DE CORRELACIÓN	COEFICIENTE R	DATOS FALTANTES
26285	26263	0.9154, 0.9784, 0.9876, 0.9758, 0.9763, 0.9671, 0.9456, 0.9499	05/1994, 06/1994, 07/1994, 08/1994, 09/1994, 10/1994, 11/1994, 12/1994

Tabla A5. Valores del Coeficiente de Correlación R por mes y año para la estación 26285.

ESTACIÓN CON DATOS FALTANTES.	ESTACIÓN DE CORRELACIÓN	COEFICIENTE R	DATOS FALTANTES
26292	26056	0.8331	02/1998
	26137	0.9326,	05/1990,
		0.7239	05/1991, 11/1998
	26149	0.6754	11/1997
	26201	0.6591	05/1989, 05/1990
		26249	0.7610
	26267	0.8741	10/1997
26268	0.6796, 0.4637, 0.7163, 0.8924, 0.8803, 0.8051	05/1988, 04/1990, 04/1991, 06/1991, 11/1993, 12/1993, 06/1996	

Tabla A6. Valores del Coeficiente de Correlación R por mes y año para la estación 26292.

ESTACIÓN CON DATOS FALTANTES	ESTACIÓN DE CORRELACIÓN	COEFICIENTE R	DATOS FALTANTES
26292	26272	0.9199, 0.9138, 0.9121	09/1993, 10/1993, 10/1998
	26275	-0.8887	09/1997
	26313	0.8658	04/1991
	26332	0.8553 0.7882	05/1996, 03/1998
	26389	0.8937, 0.8961, 0.8981	03/1991, 01/1994, 02/1994
	26421	-0.7453	12/1998

Tabla A6. Continuación. Valores del Coeficiente de Correlación R por mes y año para la estación 26292.

ESTACIÓN CON DATOS FALTANTES	ESTACIÓN DE CORRELACIÓN	COEFICIENTE R	DATOS FALTANTES
26360	26053	0.7154	02/1990
	26054	0.6449	03/1990
	26070	0.4368, 0.4727	07/2000, 10/2000
	26137	-0.3594	01/2000
	26149	-0.3592	12/2000
	26267	-0.3472	03/2000
	26337	-0.3158	02/2000
	26342	0.4517	04/1990
	26352	-0.8542, -0.6685	12/1986, 01/1987,
	26357	0.8782	12/1990
	26389	-0.5109	11/2000
	26412	0.3753, 0.4275, 0.5766, 0.5431, 0.7169	04/2000, 05/2000, 06/2000, 08/2000, 09/2000
	26440	0.7772	01/1990

Tabla A7. Valores del Coeficiente de Correlación R por mes y año para la estación 26360.

ESTACIÓN CON DATOS FALTANTES	ESTACIÓN DE CORRELACIÓN	COEFICIENTE R	DATOS FALTANTES
26430	26248	0.9690	12/2000
	26267	0.8091,	09/1995,
		0.8792,	10/1995,
		0.7872,	11/1995,
		0.6213,	01/2000,
		0.5658,	02/2000,
0.7273,		06/2000,	
0.8921,		07/2000,	
0.9531,		08/2000,	
0.9755,		09/2000,	
0.9570		10/2000	
26280	0.8726	11/2000	
26285	0.3584,	04/2000,	
	0.5076	05/2000	
26309	0.4793	12/1995	

Tabla A8. Valores del Coeficiente de Correlación R por mes y año para la estación 26430.