

**AVENIDAS DE DISEÑO PARA LOS TÚNELES
DE CONDUCCIÓN DEL RÍO GRIJALVA**

CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES

1 ANTECEDENTES

En este capítulo se describen las principales causas de los deslizamientos de tierra y se hace notar que la mayoría de ellos son causados por las intensas lluvias, como lo fue el deslizamiento que bloqueó por completo el cauce del río Grijalva. A continuación, se tiene una recopilación de información acerca de la cuenca Grijalva, sus principales características fisiográficas, incluyendo datos técnicos de su sistema hidroeléctrico. Posteriormente se describe la situación meteorológica de la zona afectada antes del deslizamiento y por último, se puede ver un resumen de las medidas de mitigación de inundaciones que se han llevado a cabo.

1.1 Deslizamientos

Cada año los deslizamientos de tierra representan una grave amenaza a los asentamientos humanos e infraestructura. “Deslizamientos de tierra” es un término general que cubre una amplia variedad de formas de tierra y procesos relacionados al movimiento de descenso del suelo y roca por la influencia de la gravedad. Aunque comúnmente ocurren conjuntamente con terremotos, inundaciones y volcanes, están mucho más diseminados que aquellas amenazas y con el tiempo causan más daño a la propiedad que cualquier otro evento geológico (Programa de entrenamiento para el manejo de desastres DMTP, 1995).

1.1.1 Causas de los deslizamientos

Los deslizamientos de tierra ocurren usualmente como efecto secundario de intensas tormentas, terremotos y erupciones volcánicas. Los materiales que componen los deslizamientos de tierra se dividen en dos clases, lecho de roca o suelo (DMTP, 1995).

Los deslizamientos de tierra ocurren como resultado de cambios, súbitos o graduales, en la composición, estructura, hidrología o vegetación de una ladera. Estos cambios puede ser causados por:

- **Vibraciones** por terremotos, explosiones, maquinaria, tráfico y truenos. Algunos de los deslizamientos de tierra más devastadores han sido provocados por terremotos.
- **Cambios en el contenido del agua** causado por intensas precipitaciones e incremento de los niveles del agua subterránea.
- **Remoción del apoyo lateral** causado por erosión, falla previa de la ladera, construcción, excavación, desforestación o pérdida de vegetación estabilizadora.
- **Exceso de peso** de lluvia, granizo, nieve, acumulación de piedras sueltas o material volcánico, acumulaciones de roca, acumulación de desechos y peso de edificaciones y vegetación.
- **Desgaste** y otras acciones físicas o químicas pueden disminuir la fuerza de las rocas y del suelo con el tiempo.

La interacción entre la hidrología y la geología determina finalmente que ocurra o no la activación de un deslizamiento. La respuesta puede ser rápida o inmediata en taludes de poco espesor de suelo con intensidades grandes de precipitación, o puede depender de la lluvia acumulada en 5, 15 o 30 días, o el efecto puede demorarse varios días o meses

después de los eventos de precipitación, de acuerdo a la complejidad geológica del sitio (Suárez, 2006).

La hidrogeología (Suárez, 2006) es un factor determinante en la ocurrencia de deslizamientos de tierra. La mayoría de los deslizamientos que ocurren en las zonas tropicales están relacionados con eventos de lluvias. Si se conoce con cierta precisión el comportamiento hidrogeológico de un sitio o área determinada, es posible pronosticar la ocurrencia de deslizamientos, flujos o avalanchas, relacionados con los eventos de lluvias, lo cual permitiría activar programas de manejo de riesgos. Sin embargo la mayoría de los deslizamientos ocurren en condiciones geológicas complejas y la modelación hidrogeológica es difícil. Se requiere realizar un trabajo muy extenso de investigación con muy buena instrumentación para obtener información detallada útil de la respuesta hidrológica para el manejo práctico de deslizamientos específicos. La hidrogeología no es una ciencia exacta y es difícil cuantificar los procesos con precisión con excepción de casos relativamente sencillos. Sin embargo, el estado actual del conocimiento sobre la respuesta hidrogeológica de los taludes permite entender algunos de los fenómenos y mecanismos de respuesta, lo cual facilita el análisis general de casos específicos.

Se debe partir del conocimiento lo más completo posible de la meteorología, hidrología, geología y geotecnia de la zona a analizar. Las lluvias en el sistema climático tropical dependen en buena parte de la zona de convergencia intertropical y generalmente los eventos de deslizamientos catastróficos están relacionados con variaciones de la zona de convergencia los cuales ocasionan lluvias extraordinarias, las cuales a su vez actúan como activadoras de deslizamientos de tierra. **Son los eventos lluviosos extremos los que más efecto tienen sobre la ocurrencia de deslizamientos de tierra** (Suárez, 2006).

El agua producto de las lluvias se infiltra en el suelo y produce cambios en el estado de presiones de poro. Estos cambios corresponden a una respuesta del sistema hidrogeológico del suelo a la ocurrencia de las precipitaciones. La forma y tiempo de esta respuesta dependen de las condiciones hidrogeológicas del sitio y/o del área circundante y a las características de los eventos lluviosos. Esta respuesta hidrogeológica puede conducir a la activación de deslizamientos de tierra. La ocurrencia de deslizamientos, su cantidad y su magnitud depende de la susceptibilidad del terreno a los deslizamientos y de la intensidad tiempo y distribución del evento de lluvias.

Cornforth (2005) presenta un caso instrumentado de aumento de nivel de agua freática con intensidad de la lluvia (figura 1.1). El caso corresponde a un deslizamiento antiguo de un conglomerado sobre un basalto. El piezómetro muestra una demora entre la precipitación y los niveles freáticos. La demora entre los picos de la precipitación y el nivel de agua es de 25 horas para este caso. La respuesta del terreno puede ser rápida o puede tomar varios días o semanas.

En los sistemas de respuesta rápida los niveles freáticos son difíciles de medir utilizando piezómetros con medición en visitas periódicas debido a que los picos de los niveles de agua son muy transitorios. La instrumentación mediante piezómetros en tiempo real permite estudiar a detalle la respuesta hidrogeológica rápida. Sin embargo no es común la instrumentación en tiempo real y pocos sitios en el mundo cuentan con instrumentación piezométrica automática.

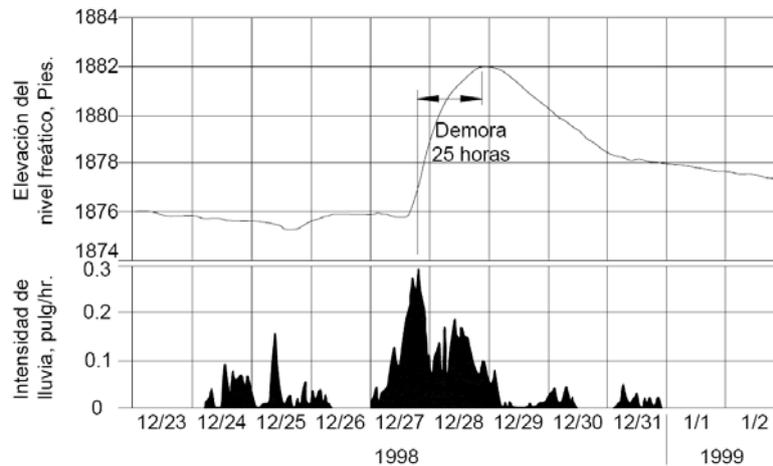


Figura 1.1. Respuesta del nivel freático a las lluvias en un deslizamiento de un conglomerado sobre un basalto (Cornforth, 2005).

1.1.2 Los deslizamientos y su clasificación

Sharpe en 1938 definió los deslizamientos como la caída perceptible o movimiento descendente de una masa de tierra, roca o ambas. Según Crozier (1986) un deslizamiento se define como el movimiento gravitacional hacia el exterior de la ladera y descendente de tierra o rocas, el término deslizamiento se utiliza para movimientos de ladera que se producen a lo largo de una superficie de rotura bien definida.

Existen varias clasificaciones de deslizamientos, basadas todas ellas en el mecanismo de rotura, la naturaleza de los materiales involucrados y la velocidad de movimiento de masa (tabla 1.1). En la figura 1.2 se muestran los distintos tipos de deslizamientos.

Un desprendimiento es aquel movimiento de una porción de suelo o roca, en forma de bloques aislados o masivamente que, en una gran parte de su trayectoria desciende por el aire en caída libre, volviendo a entrar en contacto con el terreno, donde se producen saltos, rebotes y rodaduras (Corominas, 1989).

Los vuelcos son movimientos de rotación hacia el exterior, de una unidad o de un conjunto de bloques, alrededor de un eje pivotante situado por debajo del centro de gravedad de la masa movida.

Los deslizamientos son movimientos descendentes relativamente rápidos de una masa de suelo o roca que tiene lugar a lo largo de una o varias superficies definidas que son visibles o que pueden ser inferidas razonablemente o bien corresponder a una franja relativamente estrecha. Se considera que la masa movida se desplaza como un bloque único, y según la trayectoria descrita los desplazamientos pueden ser rotacionales o traslacionales.

El movimiento dominante en las expansiones laterales es la extrusión plástica lateral, acomodada por fracturas de cizalla o de tracción que en ocasiones puede ser de difícil localización.

Finalmente los flujos son movimientos de una masa desorganizada o mezclada donde no todas las partículas se desplazan a la misma velocidad ni sus trayectorias tiene que ser paralelas. Debido a ello la masa movida no conserva su forma en su movimiento descendente, adoptando a menudo morfologías lobuladas (Corominas, 1989).

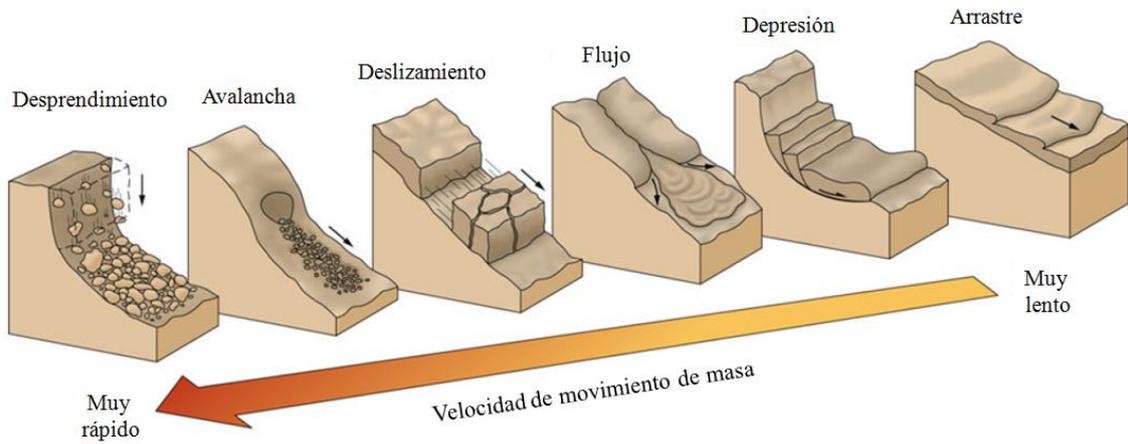


Figura 1.2. Clasificación de los deslizamientos (Schuster, 2002).

Tabla 1.1. Clasificación simplificada de los movimientos de ladera modificada de Corominas y García (1997) con la terminología en inglés.

TIPO DE MECANISMO	SUBTIPO	TIPO DE DESLIZAMIENTO	(INGLÉS)
Movimientos donde predomina la trayectoria vertical		Desprendimientos o caídas	Falls
Movimientos de giro de bloques determinados por la fracturación en escarpes		Vuelcos	Topples
Movimientos de grandes bloques al iniciarse la rotura	Superficies de desplazamientos planas o asimilables a ellas	Resbalamientos o deslizamientos Desplazamientos concordantes Desplazamientos discordantes	Slides
	Desplazamientos sobre superficies curvadas	Deslizamiento rotacional	Rotational slides
Movimientos de una masa desorganizada	Flujos	Reptación Coladas de tierra Soliflucción Corrientes de derrubios Golpes de arena y limo Flujos de roca Avalanchas	Creep Earthflows Solifluction Debris flows Sand and silt flows Rock flows Avalanches
Movimientos con extrusión plástica lateral		Expansión lateral	Lateral spreading
Otros movimientos	Deformaciones sin rotura o previas a la rotura	Reptación por fluencia Cabeceo de estratos Combadura Pandeo en valle Deformaciones gravitacionales profundas Rotura confinada	Flexural toppling Cambering Bulging Sagging Confined failure
	Movimientos complejos	Colapso de volcanes Flujos deslizantes	Flow slides

1.1.3 Actividad y peligrosidad de los deslizamientos

Atendiendo al estado de actividad en que se encuentra un deslizamiento se pueden definir los términos representados en la figura 1.3.

1. Deslizamiento activo es el que se está moviendo en el momento de la observación.
2. Deslizamiento en suspenso es el que se ha movido en los últimos 12 meses, pero actualmente no es activo.
3. Deslizamiento reactivado es un deslizamiento activo que previamente ha sido inactivo (se conoce por reactivaciones de un deslizamiento).

4. Deslizamiento inactivo es aquel que no se ha movido en los últimos 12 meses. Los inactivos se pueden subdividir en los siguientes estados:
5. Deslizamiento latente es un movimiento inactivo que se puede reactivar por las causas que lo originaron.
6. Deslizamiento antiguo es un deslizamiento inactivo que no ha vuelto a ser afectado por sus causas originales.
7. Un deslizamiento estabilizado es aquel inactivo en el que se han adoptado medidas correctoras.
8. Deslizamiento relicto es aquel inactivo que se desarrolló bajo condiciones climáticas o geomorfológicas considerablemente diferentes de las que prevalecen actualmente.

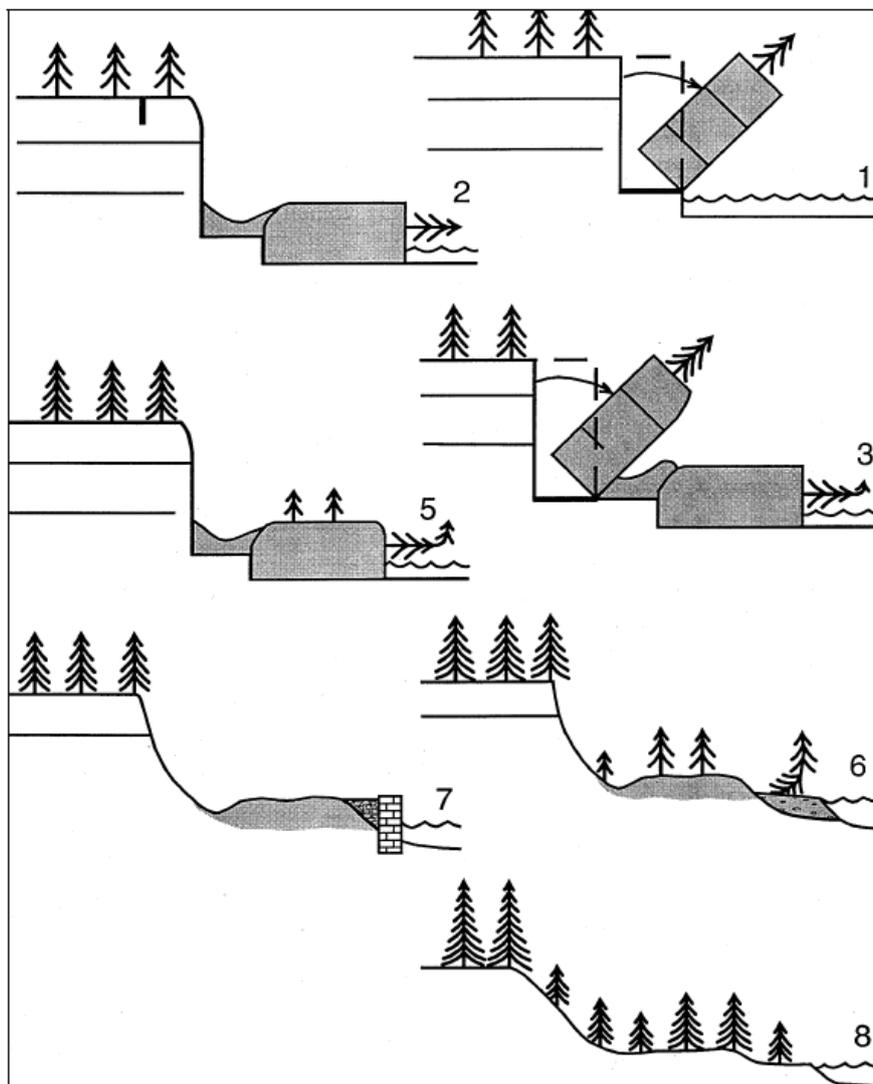


Figura 1.3. Estados de actividad de los deslizamientos (WP/WLI, 1993).

Los deslizamientos conllevan un riesgo geológico nada despreciable. Aunque el peligro de producir roturas en un lugar sea muy alto, el riesgo no lo será si ello no produce daños en la población o en las infraestructuras. El riesgo trae consigo la existencia de un peligro, pero

un fenómeno peligroso no conduce necesariamente a un riesgo para la población. Los siguientes conceptos basados en Varnes (1984) definen bien la relación entre peligrosidad y riesgo.

La peligrosidad (P) es la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente perjudicial dentro de un periodo de tiempo determinado y en un área específica.

La vulnerabilidad (V) es el grado de pérdida provocado por la ocurrencia de un fenómeno natural de una magnitud determinada sobre un elemento o conjunto de elementos.

El riesgo específico (Rs) es el grado de pérdida esperado debido a un fenómeno natural y se expresa como el producto de P por V.

Los elementos bajo riesgo (E) de un área son la población, las propiedades, etc.

Finalmente el riesgo total (Rt) corresponde al número de vidas perdidas, daños a la propiedad y a las personas, etc. Debidas a un fenómeno natural concreto. El riesgo total se define como el producto del riesgo específico y de los elementos bajo riesgo como se observa en la siguiente expresión:

$$R_t = E * R_s = E * (P * V) \quad (1.1)$$

1.1.4 Modelos para predecir la respuesta de los deslizamientos

No existe un modelo que pueda ser aplicado a todos los casos. Existen los modelos estadísticos y los modelos físicos. Entre los modelos físicos existen modelos basados en flujos de agua y presiones de poro positivas, y modelos de flujo no saturado. El modelo a utilizar depende de la información existente y del mecanismo de falla presente (Suárez, 2006).

Las investigaciones de análisis estadístico de la información permiten elaborar modelos para predecir que si ocurre un determinado evento lluvioso van a ocurrir o no deslizamientos catastróficos. Si existe información previa específica de los eventos en un sitio determinado se pueden determinar los niveles de catástrofe con base en la estadística. Por ejemplo, los trabajos realizados en Hong Kong han permitido elaborar modelos para los taludes alrededor de esa ciudad. De igual forma se pueden elaborar modelos para otros sitios. Sin embargo, el problema principal es la falta de información histórica para poder elaborar un modelo estadístico.

Los modelos físicos con base en programas computacionales que combina elementos hidrogeológicos y geotécnicos son una herramienta útil para determinar niveles de amenaza (Crostra y Frattini 2003), para problemas locales de un determinado deslizamiento cuando la complejidad geológica no es muy grande y la información existente es suficiente para la elaboración de un modelo.

Marín Nieto (2003), indica que la complejidad geológica en las zonas tropicales es tal que impide obtener una relación para predecir la ocurrencia de un deslizamiento en una

determinada región climática y geológica. La respuesta hidrogeológica depende del marco geológico y no existen dos sitios geológicamente iguales.

La extrapolación de información de un sitio para otro generalmente no es confiable. Sin embargo, “conceptualmente” se puede extrapolar entre dos ambientes geológicamente similares, con un determinado margen de error.

Resumiendo, en el estado del arte actual el análisis estadístico es la mejor herramienta disponible de predicción. “Lo que ocurrió en el pasado puede ocurrir en el futuro” y los modelos físicos son una herramienta útil la cual requiere de niveles de investigación muy detallados.

1.1.5 Deslizamientos en el mundo

Los deslizamientos de tierra son un fenómeno natural que ha recibido poca atención excepto por los casos históricos o individuales y por sus efectos. Los deslizamientos recientes que se han reportado en el mundo se debieron principalmente a precipitaciones, sismos y erupciones volcánicas. Después de investigar en la literatura sobre el tema, se ha encontrado, que el factor más frecuente y que incide para que se presente este fenómeno es el mal tiempo recurrente en una misma zona; en las figuras 1.4 y 1.5 se muestran la distribución y las causas de los deslizamientos en presas en el mundo, según Robert L. Schuster (1988).

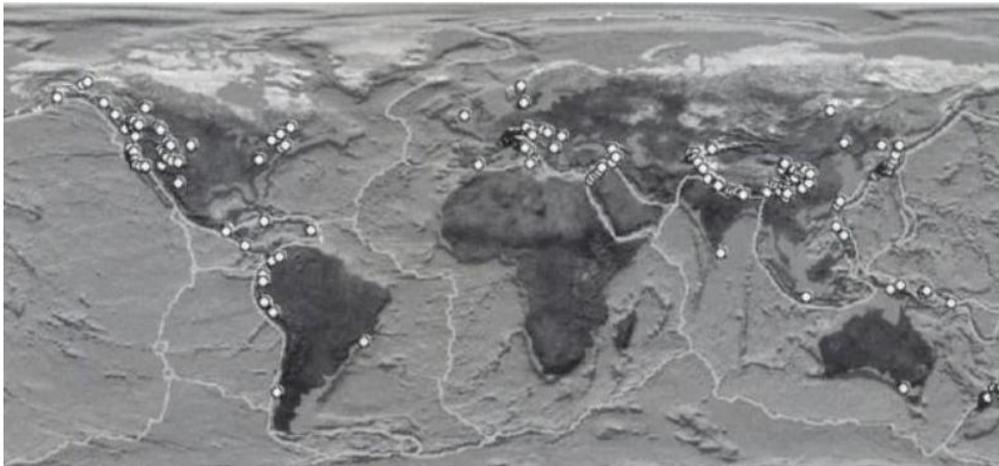


Figura 1.4. Distribución de los deslizamientos en Presas (Schuster, 1988).

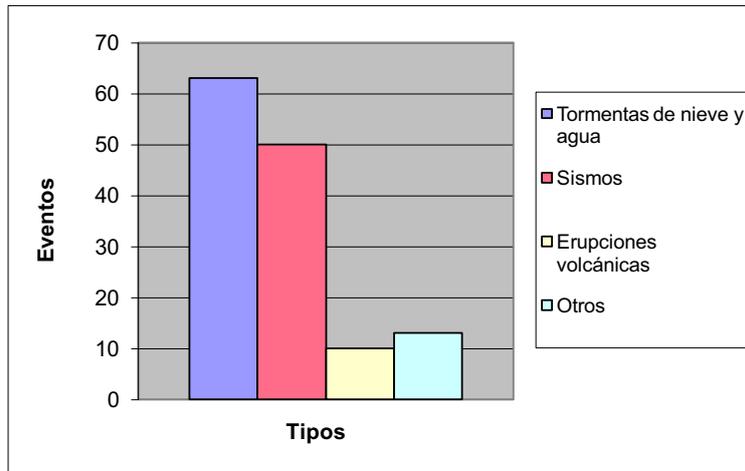


Figura 1.5. Causas de deslizamientos (Schuster, 1988)

Muchos caídos son de corta duración; en 63 casos documentados (Schuster y Costa, 1986), se tiene que:

- El 22 % fallan en menos de 1 día y la mitad en menos de 10 días.
- El desbordamiento y la consecuente erosión regresiva constituyen la causa más frecuente de la falla.
- El comportamiento del caído y la magnitud de la inundación resultante, dependen de su tamaño y geometría y de las propiedades de los materiales que forman el caído, figura 1.6.

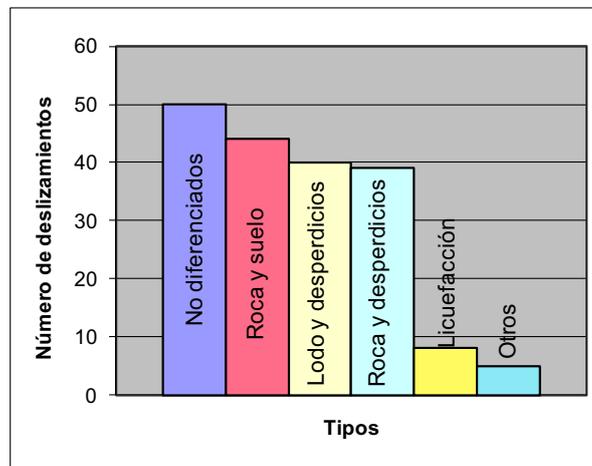


Figura 1.6. Tipos de deslizamientos (Schuster, 1986)

Los datos registrados durante el último siglo a nivel mundial muestran un incremento en el número de eventos catastróficos debidos a procesos naturales y en los daños producidos por los mismos, especialmente en los últimos 40 años; los países de Asia, América y África son los que más numerosas y mayores catástrofes naturales han padecido (Alexander, 1993; Alcántara-Ayala, 2002; United Nations, 2002; The Centre for Research on the Epidemiology of Disasters EM-DAT, 2005).

Antecedentes

Las mayores pérdidas económicas se producen en los países desarrollados, debido principalmente a que el valor de los bienes expuestos a las amenazas (infraestructuras, edificios, actividad económica, etc.) es mucho mayor (Crozier, 1986; Alexander, 1993; Uitto, 1998; Berz, 1999; Chardon, 1999; Alcántara-Ayala, 2002, 2004). No obstante, aunque el valor absoluto de los daños sea mayor en los países industrializados, su importancia en relación con el PIB, es mucho menor que en los países en vías de desarrollo (Burton, 1978; *United Nations*, 2002). Así, por ejemplo, durante el período 1990-99 los gastos afrontados por la *Federal Emergency Management Agency* (FEMA), como consecuencia de las catástrofes naturales ocurridas en los Estados Unidos, ascendieron a más de 25.4 billones de dólares, cifra absoluta muy considerable pero poco significativa en relación con el PIB del país (FEMA, 2002).

Las catástrofes naturales que mayores daños (víctimas y/o pérdidas materiales) causan a nivel mundial son las inundaciones y los huracanes, seguidos por los terremotos (Munich Re, 2005), tal como se muestra en las figuras 1.7 y 1.8.

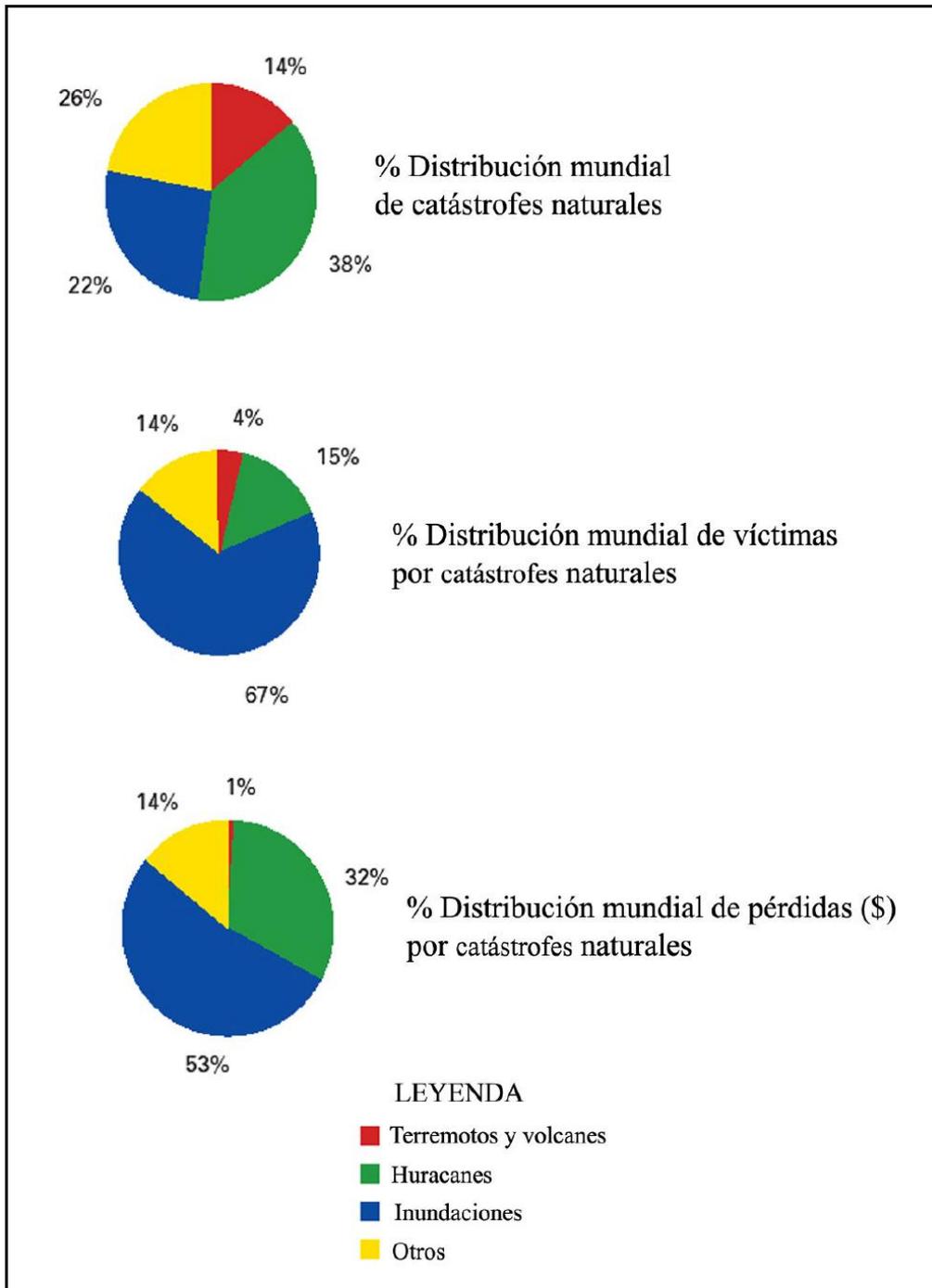


Figura 1.7. Importancia de los diferentes tipos de catástrofes naturales para el periodo 1950-2000 (Munich Re, 2005). Los deslizamientos se incluyen en el apartado de “otros”.

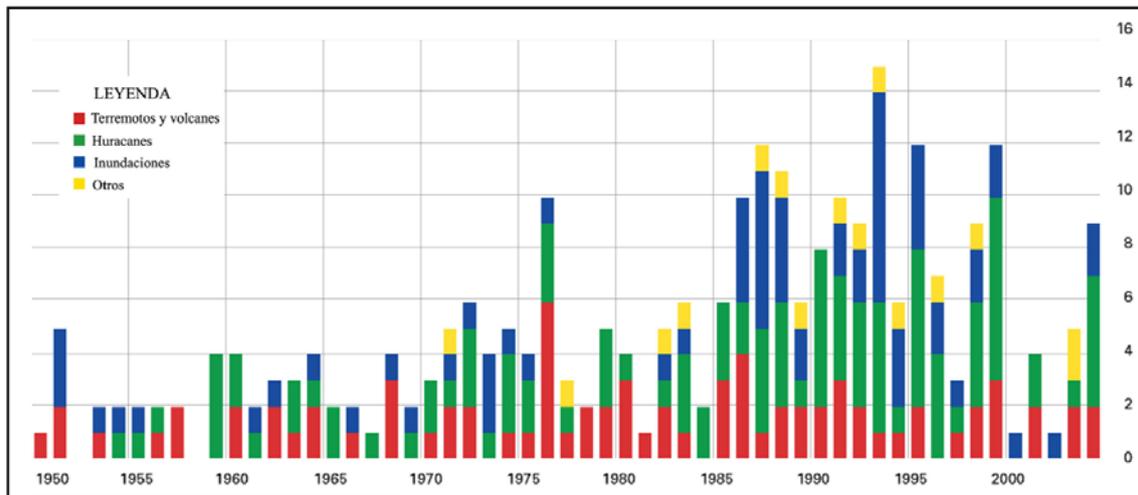


Figura 1.8. Distribución de los grandes tipos de catástrofes naturales en el mundo en la segunda mitad del siglo XX (Munich Re, 2005).

Si se tiene en cuenta la distribución geográfica de los distintos riesgos naturales, las inundaciones y los deslizamientos son sin duda los más generalizados, pues afectan a todos los países del mundo. Algunos ejemplos de inundaciones importantes son las ocurridas en Francia (1992), Centroeuropa (1992, 1993, 1995, 2002, 2005), Italia (1994, 2000), República Checa y Polonia (1997), Suecia (2000), EEUU, Bangladesh, China, Guatemala, Honduras, Somalia y Sudáfrica durante la década de los 90 (United Nations, 2002), las inundaciones ocurridas en Nueva Orleans como consecuencia del huracán “Katrina” en agosto de 2005, y las de México, en los estados de Chiapas y Tabasco (1973, 1998, 1999, 2005, 2007).

En segundo lugar, lo que parece ser una tendencia al aumento en el número de eventos catastróficos y en los daños causados por dichos procesos a lo largo de la segunda mitad del siglo XX (figura 1.9). En relación con esto, cabe señalar que el aumento detectado en víctimas y daños (figura 1.10), parece bastante lógico, al haberse producido en ese período un aumento notable del número de personas y de los bienes expuestos en zonas de riesgo.

Sin embargo, el aumento en el número de eventos reflejado en los datos registrados puede deberse en parte a una mejora en la recopilación de información para los tiempos más recientes.

Esto parece especialmente probable en el caso de los terremotos y de las erupciones volcánicas. Sin embargo, en el caso de las inundaciones, huracanes o deslizamientos, el aumento se deba también al efecto del cambio climático global, una de cuyas consecuencias es el aumento en la frecuencia y/o intensidad de los eventos climáticos extremos (Berz, 1999; Moreno, 2005). Es interesante señalar, sin embargo, que la tendencia al aumento es bastante menor para los desastres de tipo estrictamente climático que para aquéllos en los que intervienen los condicionantes geomorfológicos. Esto se ha interpretado por Cendrero (2006) como consecuencia de la superposición del cambio climático y del “cambio geomorfológico global”.

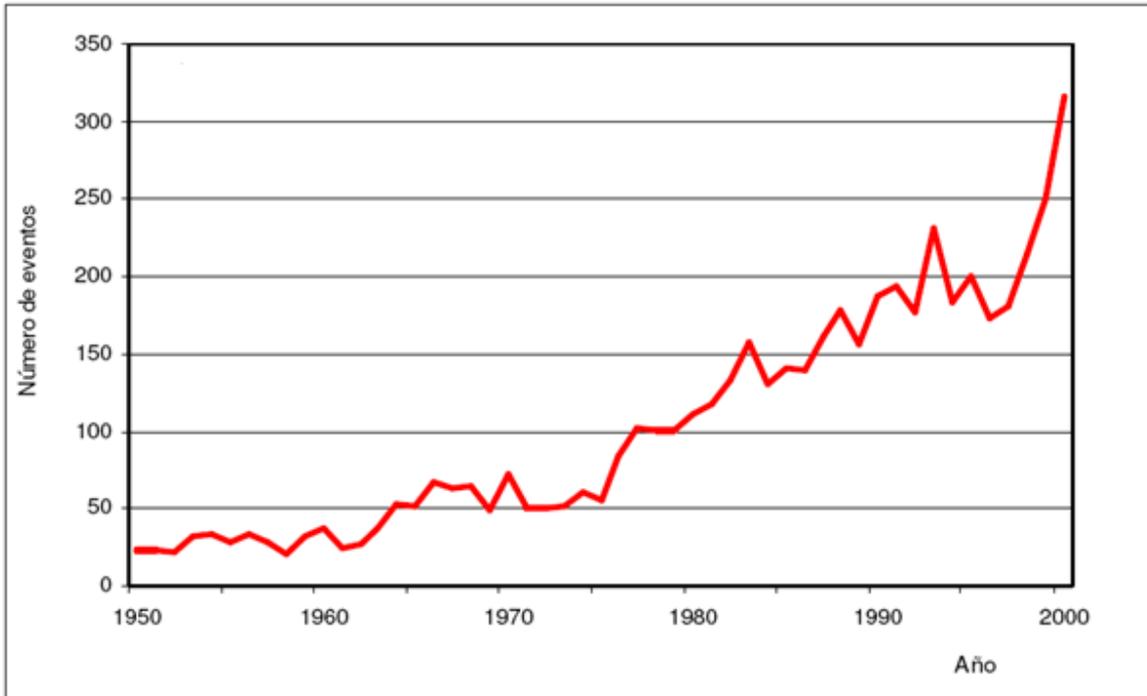


Figura 1.9. Evolución en el número de eventos naturales catastróficos en el mundo durante los últimos 50 años (EM-DAT, 2005).

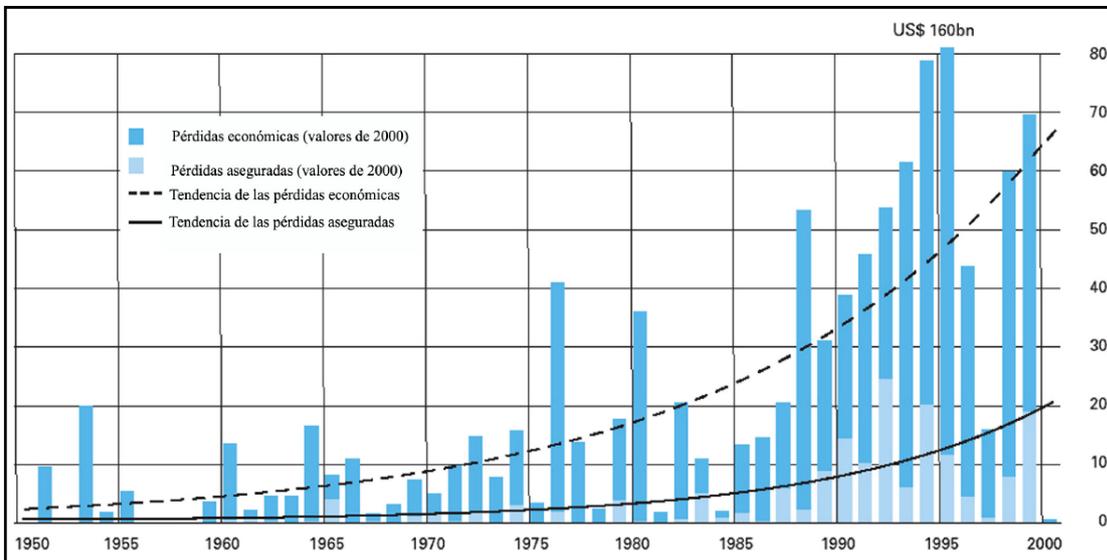


Figura 1.10. Evolución del número de daños (en billones de dólares americanos) ocasionados como consecuencia de los procesos naturales ocurridos durante los últimos 50 años en el mundo (Munich Re, 2005).

1.1.5.1 Consecuencias socio-económicas de los deslizamientos a nivel mundial

La mayoría de los deslizamientos que ocurren en el mundo producen únicamente daños materiales, o si acaso un número pequeño de víctimas. Es frecuente que no queden reflejados en las recopilaciones de ámbito global o nacional, a pesar de que, por lo frecuentes y extendidos que son estos procesos, causan, en conjunto, daños muy importantes. Muchos deslizamientos se producen en zonas montañosas, prácticamente deshabitadas, por lo cual el riesgo es mínimo (pero no la peligrosidad). En otras ocasiones, los movimientos son pequeños o superficiales, y los daños que producen son reducidos, y por tanto no se consideran (Remondo, 2001). En muchos otros casos, aunque los daños sean importantes, los deslizamientos coinciden con inundaciones o con sismos y, en menor medida, actividad volcánica. Existen numerosos ejemplos de grandes deslizamientos que han producido daños considerables en muy diversos países (tabla 1.2).

La base de datos creada por EM-DAT (2005) a partir de bases de datos preexistentes y de nuevos datos, ha contabilizado, para el período 1900-2001, que los deslizamientos u otros procesos relacionados con ellos han provocado un total de 64,088 víctimas en 364 grandes eventos.

Estos datos se aproximan a los obtenidos por Schuster (1986). Sin embargo, y como ya se ha comentado, se debe tener en cuenta que la mayoría de los registros corresponden a las tres últimas décadas, por lo que los datos están incompletos, además de poder haber sido incluidos en los registros de otros procesos. En el caso de las inundaciones y durante el mismo período, estos autores estiman que el número de víctimas es de unos 7.5 millones. Considerando tales cifras válidas, esto supone que las inundaciones son hasta 100 veces más dañinas que los deslizamientos.

En América Latina, el número de víctimas y los daños materiales por evento ocurrido han sido siempre muy altos, ya que muchos asentamientos humanos se encuentran al pie de montañas o bien en zonas próximas. Sin embargo, las estimaciones de daños son escasas, sobre todo en eventos poco recientes, y las que hay difieren mucho unas de otras. Los datos que se presentan a continuación corresponden a eventos puntuales de deslizamiento, casi siempre relacionados con otro tipo de proceso. Teniendo en cuenta que estos ejemplos representan sólo una pequeña parte del total, cabe esperar que los daños debidos a deslizamientos sean muy grandes y si se les compara con los producidos por otro tipo de proceso, probablemente sean los movimientos en masa uno de los procesos naturales que mayores daños produce en esta región del mundo.

Avenidas de diseño para los túneles de conducción del río Grijalva

Tabla 1.2. Datos relativos a eventos catastróficos originados por deslizamiento a nivel mundial, víctimas y daños (EM-DAT, 2005).

País	Amenaza	Año	Víctimas	Daños (Millones de \$)
Unión Soviética	Deslizamiento	1949	12.000	
México	Deslizamiento	1959	5.000	
Perú	Deslizamiento	1941	5.000	
Honduras	Deslizamiento	1973	2.800	
Perú	Deslizamiento	1962	2.000	200
Italia	Deslizamiento	1963	1.189	
India	Deslizamiento	1968	1.000	
Colombia	Deslizamiento	1987	640	
Perú	Deslizamiento	1971	600	
China	Deslizamiento	1934	500	
India	Deslizamiento	1948	500	
Perú	Deslizamiento	1973	500	
Brasil	Deslizamiento	1967	436	
Indonesia	Deslizamiento	1955	405	
India	Deslizamiento	1995	400	
USA	Deslizamiento	1972	400	
Afganistán	Deslizamiento	1995	354	
Brasil	Deslizamiento	1966	350	27
Perú	Deslizamiento	1974	310	22
Colombia	Deslizamiento	1974	300	
Ecuador	Deslizamiento	1993	300	
Perú	Deslizamiento	1997	300	
Filipinas	Deslizamiento	1985	300	
Filipinas	Deslizamiento	2000	287	
China	Deslizamiento	1983	277	
Haití	Deslizamiento	1954	262	
Turquía	Avalancha	1992	261	
India	Deslizamiento	1988	255	
India	Avalancha	1988	250	
India	Avalancha	1995	250	
Tajikistan	Deslizamiento	1992	243	24
India	Deslizamiento	1998	239	
Rusia	Avalancha	1993	239	
Perú	Deslizamiento	1983	232	
India	Deslizamiento	1979	230	
China	Deslizamiento	1996	226	
China	Deslizamiento	1996	226	
Brasil	Deslizamiento	1967	224	
Brasil	Deslizamiento	1967	224	
Austria	Avalancha	1954	200	
China	Deslizamiento	1991	200	
Colombia	Deslizamiento	1971	200	
Colombia	Deslizamiento	1973	200	
Colombia	Deslizamiento	1986	200	
Ecuador	Deslizamiento	1993	200	500
Japón	Deslizamiento	1923	200	
Papua-N. Guinea	Deslizamiento	1991	200	
Filipinas	Deslizamiento	1981	200	

En Guatemala, en 1976, un terremoto originó unos 10,000 deslizamientos y más de 200 muertos (Harp, 1981).

En Honduras, como consecuencia del huracán Mitch en 1998, se produjeron unos 500,000 deslizamientos (cerca de un millón en toda Centroamérica; Harp, 2001; Harp et al., 2002), unas 2,500 personas murieron en Nicaragua durante el mismo evento.

En El Salvador en 2001, tuvo lugar un terremoto que produjo alrededor de un billón de dólares en daños, más de 700 muertos, cerca de 1,000,000 damnificados y más de 500 deslizamientos, los cuales causaron la mayoría de estos daños (Munich, 2005).

En Venezuela, las pérdidas anuales debidas a deslizamientos se han estimado en 55 millones de dólares. En este mismo país, los flujos de derrubios ocurridos en 1999 produjeron unas 50,000 víctimas y 10 billones de dólares en pérdidas, equivalentes al 12.2% del PIB.

El terremoto que tuvo lugar en Huascarán (Perú), en 1970, generó un gran deslizamiento que acabó con la vida de unas 60,000 personas (Oliver-Smith, 2002).

En Ecuador se presentó un deslizamiento de 25 millones de m³ de piedra y tierra, y embalsó al río Paute, con un caído de 100 m de alto y un km de longitud, formando un lago de 200 millones de m³. Se excavó un canal de 18 m de profundidad y 6 m de ancho con el fin de bajar el nivel de la cresta de vertido y disminuir la inundación tanto aguas arriba como aguas abajo.

A los 26 días el agua se desbordó por el canal y a los 33 días el caído falló por erosión superficial, causando una onda de crecida con un pico de más de 10,000 m³/s, que produjo daños a lo largo de más de 100 km aguas abajo, causó 72 víctimas, se tuvieron 14,000 evacuados y pérdidas directas por USD 147 millones (1.5 % PIB de 1993), destruyó 1,500 casas y dañó más de 40 km de carreteras (González, 2007).

En 1974, uno de los deslizamientos de tierra más grandes en la historia ocurrió en el valle del río Mantaro en los Andes del Perú. Una laguna temporal fue formada cuando el deslizamiento represó el río Mantaro causando la inundación de granjas, tres puentes, y unos veinte kilómetros de carretera. Casi 500 personas en el pueblo de Mayunmarca y en sus alrededores perdieron la vida. Este desastre es un ejemplo del potencial destructivo de los deslizamientos de tierra y el por qué son considerados como peligros. Si bien no todos los deslizamientos producen catástrofes, los daños causados por muchos pequeños pueden ser igual o exceder el impacto de un solo gran deslizamiento. Así, los deslizamientos tanto grandes como pequeños son capaces de causar daños significativos y pérdidas de vida (Hutchinson y Kogan, 1975).

En el año 2006 un deslizamiento de tierra causado por las fuertes lluvias sepultó la aldea de Saint Bernard, en la isla filipina de Leyte. Confirmaron 33 muertos y otras 1,500 personas desaparecidas.

La zona afectada se limitó en un perímetro de 1 km², se estimó que podían vivir entre 3,000 y 4,000 personas. Por lo que respecta a las causas, fueron las fuertes lluvias en la zona y a la deforestación del terreno, que impidió la filtración del agua. El deslizamiento de tierra

sepultó aproximadamente 500 viviendas del pueblo. El 90% de Saint Bernard quedó barrido por el siniestro (El Mundo, 2006).

Las crecientes de ríos y los deslizamientos de tierras son comunes en Indonesia. En el año de 2007 las lluvias torrenciales caídas en la isla más poblada de Indonesia, Java, provocaron deslizamientos de tierra, que a su vez, provocaron 75 muertos. Fue la primera vez, en los últimos 25 años, que ocurrió algo de esta magnitud en Java Central. En los últimos meses, las precipitaciones causaron víctimas mortales en las regiones de Aceh, Sumatra, Riau, Jambi, norte de las Célebes, Gorontalo, sur de Borneo y Yakarta (El Mundo, 2007).

Otro caso similar fue lo que sucedió en Nicaragua en 2008, donde 18 deslizamientos de tierra se produjeron a causa de las lluvias en el sureste y norte de Nicaragua. Debido a los aguaceros ocurrieron dos deslizamientos de tierra en la Isla de Ometepe, en el Gran Lago de Nicaragua. Posteriormente se registraron catorce deslizamientos de tierra en la municipalidad de Murra, departamento (provincia) de Nueva Segovia, norte del país. También se registraron dos deslizamientos que afectaron el Centro de Salud de Murra. El número de personas muertas por las intensas lluvias que azotaron a Nicaragua fue de doce, los afectados son 4,970, las viviendas parcialmente dañadas 209 y las destruidas 26. (Soitu.es, 2008)

Otras áreas que se ven gravemente afectadas por los deslizamientos son las zonas asiáticas, como China y Japón. En China, gran parte de las víctimas y daños causados por los terremotos se deben a deslizamientos generados por éstos en terrenos de "loess" (Derbyshire, 2000). Las pérdidas anuales estimadas en China ascienden a 15.000 millones de dólares y el número de víctimas a 150 por año (Tianchi & Shumin, 1992). En Japón, uno de los países más afectados, las cantidades que se dedican anualmente para cubrir los daños ocasionados por deslizamientos ascienden a 650 millones de dólares (Yamamoto, 2003); otros autores indican pérdidas anuales por deslizamientos en torno a 4,000 millones de dólares (Schuster, 1996).

Un terremoto de 8.0 grados de magnitud en la escala de Richter sacudió la provincia de Sichuan, China, el pasado 12 de mayo de 2008, figura 1.11. Los muertos por el terremoto superan los 67,000 y unas 80,000 personas fueron evacuadas por la posible ruptura de un embalse. Como acciones secundarias se produjeron una serie de deslizamientos de tierra, caída de rocas, avalanchas de lodo e inundaciones (Diario Público, 2008).



Figura 1.11. Deslizamiento en Sichuan, China (Diario Público, 2008).

El lago del terremoto de Tangjiashan, que se encontraba en peligro de desbordarse por el agua que contenía, fue uno de los más de 30 lagos de este tipo en los ríos bloqueados por deslizamientos de tierras ocasionados por el sismo devastador y sus réplicas. El lago se encuentra en el curso superior del río y a 3.2 km del distrito de Beichuan, desde donde han sido evacuados miles de sobrevivientes del desastre natural.

Los lagos del terremoto se formaron cuando millones de toneladas de metros cúbicos de piedras y lodo se desprendieron de las montañas durante el sismo de 8.0 grados en la escala de Richter, y bloquearon decenas de ríos de la zona.

El dique del lago de Tangjiashan estaba en peligro de desbordarse debido a que el nivel del agua se elevó cerca de dos metros en 5 días, hasta llegar a los 723 m, quedando a sólo 29 m por debajo de la parte más baja del dique, que mide 752 m de alto.

El sismo, que también provocó deslizamientos de tierra en la montañosa provincia, dañó más de 33,000 hectáreas de tierras de cultivo, incluyendo más de 10,000 hectáreas de trigo y más de 20,000 hectáreas de verduras en las 13 ciudades y distritos más afectados.

El presupuesto central asignó 569 millones de dólares al fondo de ayuda para las áreas afectadas por el sismo (Diario Público, 2008).

1.2 Características fisiográficas de la Cuenca Grijalva

La cuenca del río Grijalva (figura 1.12) se localiza en el sureste de la República Mexicana, y corresponde a la vertiente del Golfo de México. Es una cuenca transfronteriza que nace en Guatemala y cruza los estados de Chiapas y Tabasco; las áreas propensas a inundaciones son las zonas adyacentes a los cauces y sus afluentes y efluentes. Existe una zona crítica de inundaciones hacia la parte centro-norte del estado de Tabasco.



Figura 1.12. Cuenca Grijalva

El área total de la cuenca es de aproximadamente 53,120 km², de los cuales 5,600 km² corresponden a la República de Guatemala y los 47,520 km² restantes abarcan parte de los estados de Tabasco, Chiapas, Veracruz y Oaxaca en México.

Esta cuenca cuenta con 11 estaciones hidrométricas, 30 estaciones climatológicas y 4 estaciones controladoras de vasos (Figura 1.13).

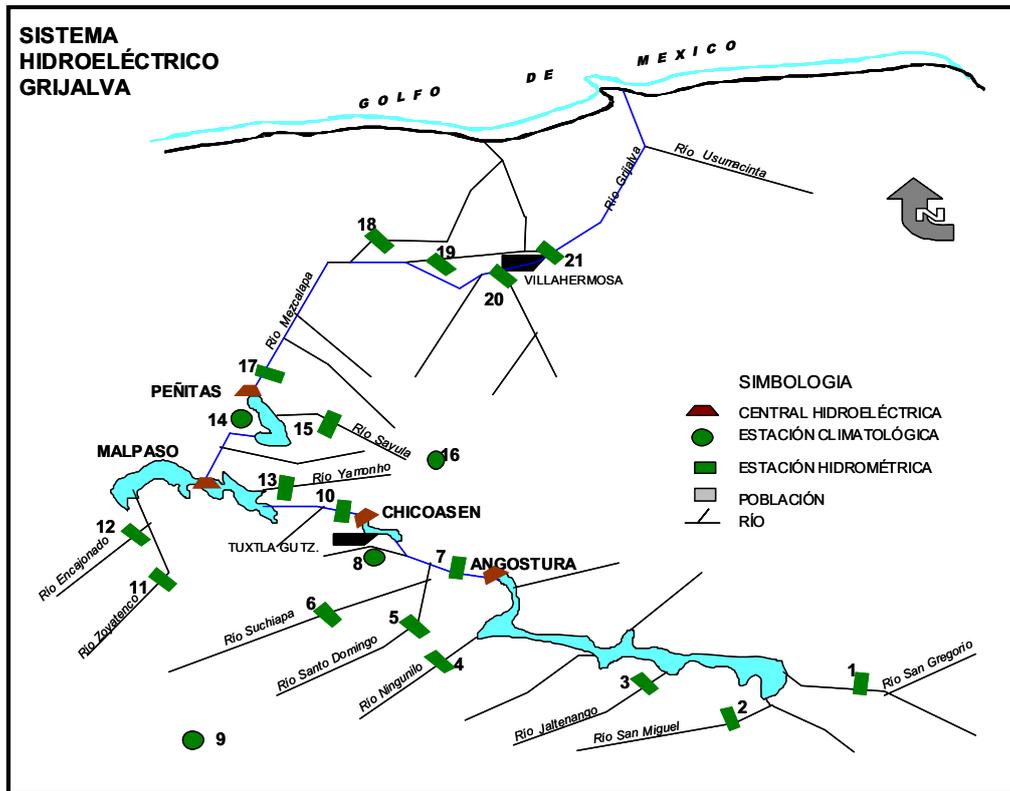


Figura 1.13. Sistema Hidroeléctrico Grijalva. Fuente: CONAGUA.

1.2.1 Características principales del río Grijalva

El río Grijalva en México, es la segunda corriente en importancia en cuanto a escurrimiento con un volumen medio anual de 30,000 millones de m³, y en su desembocadura se une con el río Usumacinta que es el principal río de México; el escurrimiento medio anual de ambos es en promedio de 125,000 Mm³ (Marengo, 2003).

La corriente que da origen al río Grijalva nace en la sierra de Cuchumatanes dentro de Guatemala, a más de 4,000 metros sobre el nivel del mar, formándose por la unión de los ríos San Gregorio y San Miguel, estos dos ríos atraviesan por separado la frontera entre México y Guatemala.

El Grijalva drena fundamentalmente la parte alta del estado de Chiapas y después se convierte en el río Samaria, el Usumacinta drena la parte alta del estado de Tabasco y Guatemala y se unen en la desembocadura con varias corrientes que cruzan la ciudad de Villahermosa, capital del estado de Tabasco, como se muestra en la figura 1.14 (Marengo, 2003).

En su cuenca alta el río Grijalva se llama así; después se conoce como río Grande de Chiapas, luego como Mezcalapa y finalmente a la altura de la ciudad de Villahermosa recupera su nombre original de río Grijalva, que conserva hasta su desembocadura al mar.

Avenidas de diseño para los túneles de conducción del río Grijalva

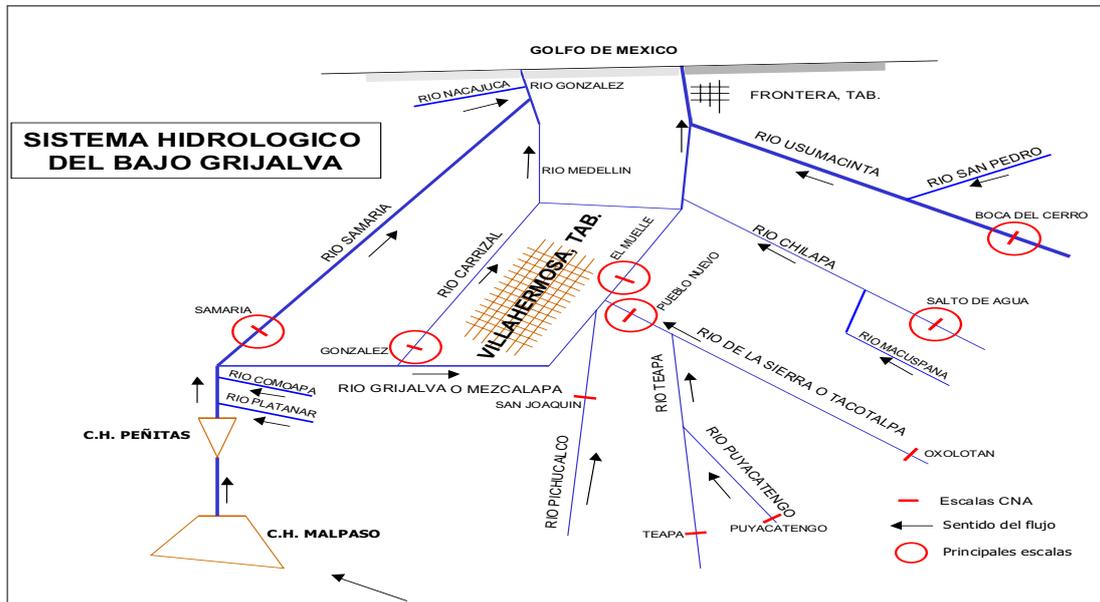


Figura 1.14. Sistema hidrográfico de los ríos Grijalva y Usumacinta (Marengo, 2003).

La región hidrológica Grijalva-Usumacinta tiene la influencia de los ciclones tropicales que se originan en el mar Caribe y en el Golfo de México. Existe gran cantidad de ríos, lagunas y arroyos que irrigan la parte baja de esta región, comprendida casi en su totalidad en el estado de Tabasco. En temporada de lluvias incrementan a tal grado el volumen de sus escurrimientos, que podrían provocar grandes inundaciones que afecten a los asentamientos humanos y zonas agrícolas, ganaderas e industriales, causando grandes daños económicos.

La región hidrológica constituye una de las más importantes del país. Está ubicada hacia la zona que se conoce generalmente como sureste y corresponde a la vertiente del Golfo de México. Propiamente se encuentra constituida por el sistema Grijalva-Usumacinta, adicionado con el río Santa Ana (Tabasco) hacia el oeste y el río Palizada (Campeche) hacia el este, de la amplia zona en que el mencionado sistema desemboca en el Golfo de México, como se muestra en la figura 1.15.

Antecedentes



Figura 1.15. Región hidrológica Grijalva-Usumacinta (CFE, 2008).

Las condiciones del clima varían radicalmente conforme el Grijalva avanza río abajo, el Alto y Medio Grijalva tienen una precipitación media que oscila entre los 1,200 y 1,700 mm anuales, debido a que esta zona está ubicada entre dos barreras meteorológicas: las zonas montañosas del norte y la costa de Chiapas, sin embargo a través de Guatemala la influencia de ondas del este genera la mayor parte de la precipitación en estas dos cuencas, donde el 95% de la precipitación es de origen tropical.

En la parte alta de la cuenca Bajo Grijalva (al sur) se ubica una de las zonas de mayor precipitación en México, con poco más de 4,000 mm anuales, las lluvias se presentan todo el año y por influencia de sistemas tropicales y de invierno, estos últimos pueden generar lluvias de más de 300 mm en 24 horas cada año, generando grandes escurrimientos y avenidas con incrementos de hasta 3 m en 12 horas, debido principalmente a intensidades de precipitación inducidas por efectos de ascenso orográfico. Esta zona registra las más altas precipitaciones cuando se combina un sistema tropical con la entrada de frentes o irrupciones de aire frío con severas inundaciones aguas abajo.

Por su alta precipitación, cuyo promedio anual es de 2,750 mm y que en el municipio de Teapa puede alcanzar hasta los 4,550 mm (CNA/INEGI, periodo 1961-2003), en Tabasco existe una extensa red de cuerpos hídricos en continua transformación, la cual cada año provoca crecientes sobre todo en la partes bajas de la planicie, la cual cubre la mayor parte de la entidad. También hay que apuntar que el crecimiento urbano no siempre ha tomado en cuenta el impacto hidrológico que pueden ocasionar las construcciones, y que lo mismo ha ocurrido con la infraestructura petrolera. También son de considerarse los asentamientos irregulares en zonas bajas, que históricamente son susceptibles de sufrir inundaciones,

como en algunas colonias periurbanas de la ciudad de Villahermosa cercanas a los márgenes de los ríos Grijalva y Carrizal. Ello implica una alta responsabilidad técnica, ambiental, económica y social en el manejo del agua de este río (CFE, 2009).

1.3 Medidas de mitigación de inundaciones en el bajo Grijalva

La contribución de la CFE al Programa Integral contra Inundaciones (PICI) tiene su origen en la contingencia presentada en la región sureste del país en septiembre y octubre de 1999 (CFE, 2008).

Durante octubre de este año CFE emprendió una serie de acciones para aumentar la capacidad de almacenaje y regulación de las presas del río Grijalva, lo que contribuyó de manera importante a reducir al magnitud de las inundaciones en la planicie de Tabasco y, en particular, en Villahermosa (CFE, 2008).

En La Angostura se sobreelevó la altura de las 6 compuertas del vertedor en 1 m, con lo que se incrementó la capacidad de regulación en esta presa en 666 millones de m³.

En 1999, en Malpaso se elevó la altura de las 3 compuertas del vertedor de servicio en 3.72 m, lo que aumentó la capacidad de la presa en 836.5 millones de m³.

En el 2007 se obtuvo un nuevo incremento, de 312 millones de m³ en la capacidad de regulación de Malpaso, en virtud de que se elevó en 1 m la altura de las cuatro compuertas del vertedor de emergencia (CFE, 2008).

En Peñitas, por sus características físicas, se elevó la altura de las 8 compuertas de los vertedores (servicio y auxiliar) en 90 cm, lo que incrementó su capacidad en 59 millones de m³.

Las acciones citadas en los párrafos anteriores fueron concluidas con oportunidad en 1999.

Los aumentos, de más de 1,500 millones de m³ en 1999, permitieron evitar la apertura de los vertedores de Malpaso y La Angostura en ese año y evitaron así, que la inundación en la cuenca baja del Grijalva fuera mucho mayor de lo que lamentablemente fue (CFE, 2008).

Una vez superada la contingencia, en ese año se realizaron los trabajos definitivos para que la nueva capacidad de regulación tuviera carácter permanente.

A partir de 1999, el CTOOHR, del que CFE forma parte, establece curvas guía en donde para el llenado de Angostura y Malpaso son más rigurosas para privilegiar la seguridad de la cuenca baja, pasando a segundo término la generación de energía eléctrica.

La mejor prueba de que el criterio de seguridad para la planicie ha privado en todo momento sobre la generación de energía, se encuentra en el hecho de que en La Angostura sólo se ha alcanzado el nivel de conservación en 2005 y 2007.

Antecedentes

En 2005, las extraordinarias precipitaciones asociadas al huracán “Stan” significaron aportaciones de casi 13,000 m³/s en Angostura, sin embargo, esto no se reflejó en la cuenca del bajo Grijalva (CFE, 2008).

En 2007 se alcanzó el nivel de conservación debido a la suspensión de la generación a partir del 23 de octubre para evitar que llegara agua a Villahermosa, lo que fue posible gracias a que se venía operando por debajo de los niveles fijados por la curva guía.

Con ello se logró disminuir la cantidad de agua que llegó a Villahermosa y controlar las consecuencias del deslizamiento en Juan de Grijalva que obstruyó el flujo del Grijalva entre Malpaso y Peñitas el 4 de noviembre, extrayendo del sistema de presas solo una parte de las aportaciones en la cuenca propia de esta última.

En resumen, CFE llevó a cabo y concluyó desde 1999, las obras que le correspondían para aumentar el margen de seguridad del sistema de presas del Grijalva y ha manejado con responsabilidad y de manera profesional sus niveles, contribuyendo así, a evitar afectaciones mayores en la planicie tabasqueña (CFE, 2008).

El evento hidrometeorológico del mes de noviembre de 2007 y los anteriores (1999 y 2005) y los impactos derivados de los mismos, reiteran las condiciones de alto riesgo y el grado de vulnerabilidad y la amenaza constante que enfrenta la población tabasqueña.

Los años donde se han registrado crecientes extraordinarias son: 1955, 1973, 1995, 1999 y 2007, siendo las 3 últimas las que más daños a la infraestructura y a la población han provocado, aunque esto se debe principalmente al crecimiento de los centros de población y áreas productivas en terrenos con alta probabilidad de ser ocupados por inundaciones.

En el bajo Grijalva, de acuerdo al PICI se han construido 200 km de bordos de protección para proteger tantas hectáreas de áreas productivas y tantas de centros de población, adicionalmente con la construcción de bordos se mejoran alcantarillas, se sobreelevan caminos y se pretende se tengan estructuras de control (compuertas en los ríos) para regular el ingreso de crecientes principalmente a la ciudad de Villahermosa capital del estado de Tabasco y que adicionalmente es paso estratégico del resto del país a la península de Yucatán por vía terrestre (Rubio, 2006).

Para la toma de decisiones e inicialización de los modelos numéricos para la predicción de crecientes, se ha instalado una red telemétrica estructurada por 18 estaciones en la cuenca que proporciona datos.

Así mismo se han realizado pruebas de capacidad hidráulica del cauce del río Mezcalapa periódicamente cada 10 años, con el objeto de revisar si no se han generado cambios morfológicos en los cauces que modifiquen sustancialmente nuestras suposiciones en modelos numéricos y predicción en cuanto a la capacidad de los cauces urbanos para soportar crecientes sin desbordar (Rubio, 2006).

El manejo de crecientes, utilizando la infraestructura de las presas del Grijalva y la proyección de escenarios en base a los pronósticos meteorológicos, hidrológicos y de niveles, resulta medular para la disminución de los riesgos por inundación de crecientes.

Existe una participación activa entre el nivel de gobierno federal y estatal tanto para el desarrollo de la infraestructura como para el manejo de crecientes durante la temporada de lluvias, a la ciudadanía solo se le mantiene informada a través de medios de comunicación acerca de la operación de las presas y pronóstico de precipitaciones.

Una evaluación realista del PICI, desde la perspectiva de los avances actuales y de los avances que se hubieran alcanzado conforme a la programación original, constituirá el punto de partida para el diseño conceptual de alternativas de nueva infraestructura hidráulica. En este sentido, es importante adoptar una postura de apertura a soluciones estructurales diferentes que, por ejemplo, han dado resultados favorables y permanentes en otros países del mundo. Tal es el caso, por ejemplo, de la infraestructura construida en Holanda, en algunas regiones de los Estados Unidos y en países del sureste de Asia, sujetos todos a fenómenos similares a los que se experimentan en el estado de Tabasco.

El gobierno del estado de Tabasco y la CONAGUA reconocieron la necesidad de formular un Plan Hídrico Integral de Tabasco (PHIT), que permitiera, por un lado, ordenar las acciones inmediatas para la reconstrucción de la ciudad de Villahermosa y otras poblaciones afectadas, así como la reincorporación a la economía de las distintas actividades productivas que fueron afectadas severamente y, por otro lado, determinar un conjunto de acciones y programas de mediano y largo plazo que permitan disminuir la vulnerabilidad y los niveles de riesgo frente a fenómenos hidrometeorológicos extremos. En ambos casos se partió, necesariamente, de un análisis objetivo de las lecciones aprendidas que desprenden del evento de octubre-noviembre de 2007.

El análisis de la experiencia acumulada incluye en forma destacada, los planteamientos que dieron lugar al PICI, cuyas obras se iniciaron en el año 2000 y que aún no han concluido. El análisis del PICI se plantea conjuntamente con el de los numerosos estudios realizados, así como los planes, programas y proyectos que antecedieron a la construcción de la infraestructura hidráulica actual, incluidas las presas Angostura, Chicoasén, Malpaso y Peñitas, mismas que forman parte del plan integral para el aprovechamiento del río Grijalva.

Los titulares de la CONAGUA junto con el Gobierno del estado de Tabasco, convinieron en solicitar a la UNAM, por conducto de su Instituto de Ingeniería, coordinar los esfuerzos necesarios para la formulación del PHIT, encaminado a presentar alternativas de solución a la problemática que enfrenta esta entidad, conforme a una perspectiva de corto, mediano y largo plazos.

El componente de infraestructura a ser incluido dentro del PHIT, los dos organismos anteriores lo desarrollarían en dos vertientes.

- **Mantenimiento, rehabilitación y operación de la infraestructura actual.** Algunas de las lecciones aprendidas en otros países, como sería el caso del huracán “Katrina”, indican que muchas de las fallas de la infraestructura construida se asocia a fallas en el mantenimiento de la infraestructura existente, así como por la falta de rehabilitación de aquella que ha llegado al término de su vida útil. Dentro de esta vertiente, se analizaría el estado actual de la infraestructura existente, incluida la infraestructura del sistema hidroeléctrico del río Grijalva y las obras de control y protección localizadas en las partes bajas del estado, a efecto de emitir las recomendaciones pertinentes para asegurar que cumplen con estándares mínimos aconsejables para su operación y mantenimiento, así como para determinar los requerimientos de rehabilitación.
- **Desarrollo de nueva infraestructura.** De acuerdo con las evaluaciones sobre alternativas de nueva infraestructura que resulten de los análisis que se han comentado, se procederá a elaborar los anteproyectos más relevantes por su impacto en el tiempo, como base para que las dependencias responsables garanticen la existencia de recursos presupuestales para el desarrollo de los proyectos ejecutivos y la construcción de las obras seleccionadas. El desarrollo de nueva infraestructura contemplada dentro del PHIT considerará, además de su factibilidad económica, social y ambiental, escenarios realistas sobre la disponibilidad de recursos financieros que a su vez son resultado de los procesos de involucramiento y participación para hacer concurrir voluntades. Respecto a esto último el PHIT establecerá criterios para priorizar inversiones conforme a distintos escenarios de disponibilidad financiera y presupuestal.

1.3.1 Gestión de crecientes

En el país se ha instrumentado el manejo integrado del recurso hídrico, es decir, el manejo de crecientes se establece en función de conciliar el uso del recurso agua para la generación de energía eléctrica y el control de inundaciones para evitar daños en centros de población y áreas productivas de la cuenca que colindan con el río Grijalva a lo largo de su trayecto.

El resumen de medidas instrumentadas por la Gerencia de Estudios de Ingeniería Civil (GEIC) de la CFE para tal efecto son las siguientes:

- Manejo en el largo plazo de los volúmenes interestacionales que ingresan al Complejo Hidroeléctrico Grijalva.
- Manejo de corto plazo de las crecientes que ingresan a las presa Malpaso y Peñitas para atenuar la incidencia de efectos nocivos de crecientes en la planicie.
- Estimación de las zonas urbanas y rurales sujetas a inundaciones producto de la operación de los vertedores de las presas del Grijalva.
- Mejoramiento y modernización de la red de medición hidrológica en la cuenca.
- Construcción de infraestructura integral para la protección contra inundaciones para la cuenca baja del río Grijalva.

El manejo de las crecientes actualmente se basa en la operación anticipada de las presas del Grijalva para control de avenidas antes del arribo de un evento hidrometeorológico extremo. En este manejo la comunicación entre el meteorólogo y el hidrólogo es crítica con el fin de evaluar escenarios y determinar el más probable, con el objeto de manejar las crecientes con la anticipación que otorga el pronóstico de la precipitación (Rubio, 2006).

Además de la infraestructura hidráulica, la gestión de crecientes involucra el desarrollo integral de políticas públicas y procesos técnico-sociales para la predicción, prevención, atención a la población afectada, evaluación de impactos y formulación de medidas de mitigación y reconstrucción, todo ello en el marco definido por los arreglos y capacidades institucionales, disposiciones jurídicas y capacidades de las distintas organizaciones sociales. La formulación del PHIT incluye el desarrollo de un sistema de gestión de crecidas, dentro del cual se ubican distintos componentes del PHIT y los procesos para su implementación. Un componente importante del sistema de gestión de crecidas incluye la gestión de riesgos y asociada a ésta, la instrumentación de las cuencas, la elaboración de mapas de riesgo y la determinación de las medidas para disminuir el grado de vulnerabilidad de las cuencas, los centros de población ahí establecidos y las distintas actividades productivas que sustentan el desarrollo económico de la entidad.

1.4 Características generales del sistema hidroeléctrico del río Grijalva

Desde el punto de vista de regulación, sólo se han construido presas en el Grijalva, los ríos Usumacinta y el río de La Sierra escurren libremente.

El sistema hidroeléctrico del río Grijalva fue construido por la CFE en el estado de Chiapas, con el objeto de regular avenidas y generar energía eléctrica; está compuesto por cuatro presas con sus respectivos embalses; de aguas arriba hacia aguas abajo son La Angostura, Chicoasén, Malpaso y Peñitas (Marengo, 2003).

De estas presas solo La Angostura y Malpaso fueron diseñadas para regular avenidas. En la figura 1.16 se esquematiza el sistema hidroeléctrico Grijalva, el más importante del país porque produce el 52 por ciento de la energía hidroeléctrica utilizada en el territorio nacional.

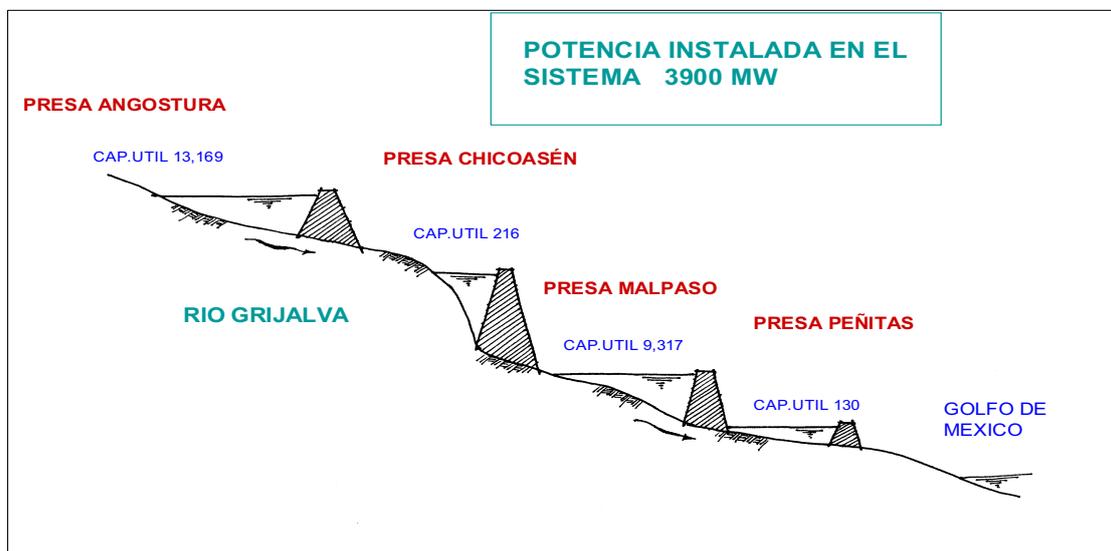


Figura 1.16. Complejo hidroeléctrico Grijalva (Marengo, 2003).

Los principales datos de las presas en cuanto a niveles máximos de operación (NAMO), niveles máximos extraordinarios (NAME) y capacidades (millones de m³), se muestran en la tabla 1.3.

Tabla 1.3. Datos de elevaciones y capacidades de las presas del complejo hidroeléctrico Grijalva (Marengo, 2003).

PRESA	NAMO (msnm)	CAPACIDAD (Mm ³)	NAME (msnm)	CAPACIDAD (Mm ³)	REGULACIÓN AVENIDAS (Mm ³)
ANGOSTURA	533.4	15,549	539.5	19,549	4,000
CHICOSEN	392.5	1,299.4	395	1,443.1	143.7
MALPASO	182.5	12,373	188	14,064	1,691
PEÑITAS	87.4	1,091	93.5	1,485	394

Debe señalarse que durante la época de construcción y diseño en La Angostura, se disponían de solamente 23 años de registros hidrométricos (1952-1975), para Chicoasén el

periodo de datos fue de 28 años, para Malpaso el periodo de datos fue menor ya que solo se contaba con información de 17 años (1952-1969) y para Peñitas el periodo fue de 35 años (1952-1987); las estimaciones hidrológicas de eventos máximos fueron hechas básicamente con métodos empíricos y estadísticos extrapolados a eventos con periodos de retorno de 10,000 años (Marengo, 2003).

Posteriormente, se efectuaron varias revisiones con métodos hidrometeorológicos incluyendo el método de la Precipitación Máxima Probable (PMP), pero no se consideraron confiables, ya que no se cuenta en la zona con información válida de temperaturas de bulbo seco y húmedo durante varios años y solo se efectuaron transposiciones de tormentas que ponen en duda los resultados obtenidos (Marengo, 2003).

Los datos originales de gastos picos de entrada y de salida de las avenidas de diseño de cada presa, se muestran en la tabla 1.4.

Tabla 1.4. Datos originales de las avenidas de diseño y de los vertedores de las presas del Complejo Grijalva (Marengo, 2003).

PRESA	GASTO PICO DE ENTRADA m³/s	GASTO PICO DE SALIDA m³/s
LA ANGOSTURA	23,000	8,980
CHICOSÉN	17,400	15,000
MALPASO	20,000	16,933
PEÑITAS	22,877	18,700

Durante el año de 1993, la CFE decidió incrementar el nivel máximo de operación de La Angostura con el objeto de tener un mayor almacenamiento e incrementar la reserva estratégica de energía en el país.

Debe mencionarse que los gastos de descarga se modifican de acuerdo a la política de operación de los vertedores, sin embargo las capacidades máximas de descarga señaladas en la tabla 1.3, no cambian, ya que están asociadas al nivel máximo extraordinario de las presas; es decir, todas las presas del Complejo Grijalva, tienen una gran capacidad de descarga en los vertedores (Marengo, 2003).

Los datos antes mencionados, se resumen en la tabla 1.5.

Tabla 1.5. Datos de avenidas de diseño y volúmenes para las presas del Complejo Grijalva, con base al estudio de 1993 (Marengo, 2003).

PRESA	GASTO PICO DE ENTRADA m³/s	VOLUMEN DE LAS AVENIDAS Mm³
ANGOSTURA	4,144	3,416
CHICOSÉN	5,459	2,190
MALPASO	15,866	5,112
PEÑITAS	10,828	1,443

1.4.1 Central Hidroeléctrica Belisario Domínguez (La Angostura)

La central hidroeléctrica se localiza sobre el río Grijalva en el estado de Chiapas, a la cual se puede arribar por carretera desde la ciudad de Tuxtla Gutiérrez; recorriendo 63 km tomando rumbo al sureste (CFE, 1994).

La construcción de este proyecto se inició en 1969, y la primera unidad empezó a generar electricidad en diciembre de 1975.

La obra de desvío consistió en dos túneles, uno en cada margen del río, de 13 m de diámetro y una longitud de 650 m y dos ataguías de 60 y 30 m de altura, que pasaron a formar parte de la cortina. Su volumen fue de 498,000 m³ la de aguas arriba y 63,000 m³ la de aguas abajo. El gasto de diseño de esa obra fue de 5,000 m³/s.

La cortina es de tipo enrocamiento y núcleo de arcilla, tiene una altura de 146.70 m, longitud de corona de 323.50 m y 10 m de ancho. Está formada por un corazón impermeable de arcilla compactada, transiciones y respaldos permeables cubiertos con enrocamiento; los taludes exteriores son 2:1 y 1.8:1. El volumen total de los materiales colocados fue de 4.03 x 10⁶ m³. (CFE, 1994)

La construcción de esta central hidroeléctrica se realizó en dos etapas. En la primera etapa se instalaron las unidades 1, 2 y 3, con capacidad de 184 MW cada una; ésta última fue puesta en servicio en el año de 1975; las unidades 1 y 2 lo fueron durante 1976. En la segunda etapa se instalaron las unidades 4 y 5, de la misma capacidad que entraron en servicio en 1978, lo cual hizo un total instalado de 920,000 KW.

Las instalaciones para la generación de energía eléctrica se encuentran alojadas en dos casas de maquinas, subterráneas, excavadas en la margen derecha del cañón. La casa de maquinas correspondiente a la primera etapa tiene una longitud de 114 m y la segunda 90 m. Ambas tienen 19 m de ancho y 46 m de altura.

Las obras de toma para ambas casas de máquinas fueron terminadas y sumergidas bajo el embalse, cuyo llenado se inició el 8 de mayo de 1974. Cada unidad dispone de una estructura de rejillas de 12 x 27 m, donde se capta el agua del embalse y se conduce a una turbina hidráulica por medio de un túnel de fuerza de 8.7 m de diámetro y 320 de longitud. El flujo en cada túnel se controla por dos compuertas rodantes de acero, que pueden cerrarse en 20 segundos en caso necesario. Aguas abajo de las compuertas se inicia la tubería de presión de 6.5 m de diámetro, cuyo revestimiento es de placa de acero de espesor variable, entre 29 y 44 mm. Cada tubería de presión alimenta una turbina hidráulica tipo Francis, con potencia de 250 mil CV, la cual esta acoplada al generador eléctrico de 191,000 KV. El gasto promedio por unidad es de 218 m³/s (CFE, 1980).

La obra de excedencias está formada por dos canales de llamada, la sección de control está formada por seis compuertas radiales de 8.33 m de largo x 18 m de alto y fue diseñada para una descarga de 6,000 m³/s, con dos crestas a la elevación 519.6 msnm, con canales a cielo abierto y salto de esquí.

La C.H. La Angostura genera anualmente 2,100 millones de KWH, que en una termoeléctrica convencional representa 3.5 millones de barriles de combustóleo al año.

El número de obreros que trabajó en la construcción de esta obra fue aproximadamente de 3,500. Y se consumió aproximadamente 300,000 toneladas de cemento y 70,000 toneladas de acero.

1.4.2 Central Hidroeléctrica Manuel Moreno Torres (Chicoasén)

La C.H. Chicoasén se sitúa sobre el río Grijalva en el estado de Chiapas, forma parte del sistema de aprovechamiento hidráulico de este río y está ubicada en el segundo lugar del sistema de aguas arriba hacia la desembocadura. Su construcción se inició en diciembre de 1974, teniendo como objetivo principal el cubrir la demanda de energía de picos en el Sistema Interconectado Nacional (CFE, 1994).

Esta central se encuentra a 42 km de Tuxtla Gutiérrez hacia el noroeste; en el poblado de Chicoasén.

Al cerrar el embalse de La Angostura, se redujeron substancialmente los escurrimientos no regulados que se aportaban a la parte baja de la cuenca, ya que el área tributaria que era de 26,030 km², se redujo a 7,940 km² únicamente. Lo anterior permitió que tan sólo con la excavación de un túnel auxiliar de pre-desvío de 343 m de longitud, sección en portal de 7 x 6 m de altura sin revestir, se encauzara el flujo del río en época de lluvias y se pudiese empezar a construir la ataguía superior y su pantalla, ganando así un año en la ejecución del proyecto; el pre-desvío se situó en la margen izquierda aprovechando un recodo del río (CFE, 1994).

Los túneles principales de desvío tienen una sección de 13 x 13 m en portal, su longitud promedio fue de 1,320 m, excavados en la margen derecha, ambos sin revestir. Su gasto de diseño fue de 4,000 m³/s. Estos túneles se aprovecharon en su tramo final como túneles de desfogue para las cinco unidades, en este tramo se revistieron y se conectaron a la tubería de oscilación.

Como parte de la obra de desvío se construyeron dos ataguías que quedaron integradas al cuerpo de la cortina, la de aguas arriba tenía una altura de 58 m, la de aguas abajo 29 m. En ambas ataguías se construyó una pantalla de mortero plástico y fue sellada por una pantalla de inyecciones.

La cortina es de enrocamiento, con corazón impermeable flexible, protegido con filtros, transiciones y respaldo de enrocamiento. Esta característica le permite absorber las sollicitaciones producidas por sismos o los posibles desplazamientos de las fallas secundarias. Su altura es de 262 m y la longitud de la corona es de 584 m. El paramento aguas arriba tiene taludes 2.1:1 y 1.94:1; aguas abajo los taludes son 1.9:1 y 1.94:1. El total de material colocado en la cortina fue de 15.37 x 10⁶ m³.

Sobre la margen derecha se construyó un túnel de desagüe intermedio de 6.50 m de diámetro y 1,109 m de longitud. El inicio de este túnel se localiza a la cota 315.00 y su salida a la 261.00, es operado por medio de una lumbrera con orificio para compuerta de

servicio y auxiliar. Su finalidad era la de poder controlar el llenado del embalse en caso de cualquier eventualidad (sismicidad inducida y/o grandes deformaciones en la cortina).

La casa de máquinas está localizada en la margen derecha, se alimenta por medio de un canal de llamada para ocho bocatomas en rampa. Las conducciones a presión tiene una inclinación de 52°, están revestidas de concreto y tienen un encamisado de acero de 6.20 m de diámetro, el cual al entrar al caracol de la turbina se reduce a 5.50 m y 4.78 m. La caverna que aloja la casa de maquinas tiene dimensiones de 199 m de longitud x 20.35 m de ancho x 44.45 m de altura. El acceso a la casa de máquinas es a través de un túnel de 800 m de longitud.

Los gastos turbinados por las unidades se restituyen al río por medio de dos túneles en sección portal de 19.77 x 17.50 m de altura x 13.00 m de ancho.

La obra de excedencias se localiza sobre la margen izquierda, está constituida por un canal de llamada que alimenta a tres túneles de 15 m de diámetro y longitud media de 1,300 m. Su capacidad de descarga es de 15,000 m³/s, que corresponde a una avenida de 17,400 m³/s, la elevación de la cresta es a la cota 373.00.

La energía eléctrica generada en esta central se transmite a través de diez líneas, seis de ellas a 400 KV, cuatro hacia Veracruz y al centro del país, con enlace a la C.H. La Angostura y a la C.H. Malpaso. A 115 KV se tienen cuatro líneas, dos hacia Tuxtla Gutiérrez, una a San Cristóbal de las Casas y otra como enlace a la C.H. Bombaná.

1.4.3 Central Hidroeléctrica Netzahualcóyotl (Malpaso)

Esta presa se encuentra en el municipio de Tectapán, estado de Chiapas.

En 1960 el Presidente Adolfo López Mateos dio la orden de iniciar la que entonces iba a ser la mayor obra hidráulica de Iberoamérica; una presa capaz de almacenar 13,000 millones de m³ de agua. La obra iba a producir energía para infinidad de poblaciones de los estados de Tabasco, Chiapas, Veracruz y Puebla (CFE, 1980).

La obra de desvío está formada por cinco túneles no revestidos de 14 m de diámetro interior; de los cuales tres se encuentran en la margen derecha y dos en la margen izquierda; sus longitudes totales son de 2,390 y 1,734 m respectivamente. Las ataguías tienen 30 m de altura la de aguas arriba y 20 m la de aguas abajo (CFE, 1994).

La cortina tiene una altura máxima de 138 m, 478 m de longitud de corona y su elevación es la cota 192 msnm. Está formada por un corazón impermeable de arcilla compactada, protegido por filtro, transiciones y respaldos permeables formados con el producto de las excavaciones, cubiertos con enrocamiento; sus taludes exteriores son 2:1.

La central eléctrica se construyó en dos etapas: en la primera, que entró en operación en 1969, se instalaron cuatro unidades, que en conjunto generaban 720,000 KW. En la segunda etapa se instalaron en 1976 dos unidades más, con las cuales se incrementó la capacidad instalada a 1,080,000 KW.

Fue necesario construir tres diques para cerrar el vaso, éstos están ubicados en la margen izquierda del río La Venta. El dique No. 1 es una estructura que tiene 57 m de altura y 887 m de longitud, su construcción es semejante a la de la cortina, con taludes que varían de 1.7:1 a 3:1, debido a las características de la cimentación. Su volumen es de $2.3 \times 10^6 \text{ m}^3$.

El dique No. 2 dista aproximadamente 27 km del sitio de la cortina, es una estructura homogénea de 30 m de altura, 204 m de largo y volumen de $575,250 \text{ m}^3$. El dique No. 3 que está situado a 2 km del anterior tiene una altura de 40 m, 500 m de longitud y un volumen de $484,100 \text{ m}^3$, sus características son similares a los anteriores.

La obra de toma se encuentra sobre la margen derecha y está formada por una estructura de seis compuertas de servicio y emergencia, una por unidad, que se unen a seis tuberías de presión.

Los conductos a presión están formados por seis túneles que tienen una inclinación de 36° con respecto a la horizontal, revestidos de concreto y con encamisado de acero. Tiene 7 m de diámetro y 79.16 m de longitud desde el final de la transición hasta el codo de reducción. Estas tuberías se conectan con la turbina a través de un tubo de 6 m de diámetro (CFE, 1994).

La casa de maquinas es subterránea, se encuentra sobre la margen derecha y está totalmente revestida de concreto. Sus dimensiones son 161 m de longitud x 20 m de ancho x 40 m de alto.

Se construyeron pozos de oscilación para cada unidad, las lumbreras además se utilizan para alojar las compuertas de cierre de las turbinas.

La central cuenta con una obra de control de excedencias, que se localiza sobre la margen izquierda. La de servicio tiene tres compuertas radiales de 15 x 15 m que obturan a un mismo número de vanos. El gasto máximo de descarga es de $11,000 \text{ m}^3/\text{s}$, a través de una cresta a la elevación 167.64 m, un canal de descarga de 185 m de longitud x 51 m de ancho y un tanque amortiguador de 103 m de longitud, cuya plantilla se encuentra a la elevación 70.00.

El vertedor auxiliar tiene un gasto de diseño de $10,650 \text{ m}^3/\text{s}$, cuatro compuertas radiales de 15 x 18.70 m en sus correspondientes vanos de 15 m de ancho; cresta vertedora a la elevación 163.69 msnm, un canal de sección variable y trazo curvo que remata en un salto de esquí, cuyo labio se encuentra a la elevación 129.85 msnm.

1.4.4 Central Hidroeléctrica Albino Corzo (Peñitas)

Está ubicada en la parte baja del río Grijalva, al norte de Chiapas, está próxima a los límites del estado de Tabasco, se construyó con el objetivo de generar energía eléctrica.

El sitio para la construcción del proyecto se encuentra sobre una isla en el río Grijalva, la cual forma dos brazos del río. El brazo izquierdo se aprovechó para la localización de la central hidroeléctrica y el derecho para ubicar la obra de excedencias (CFE, 1994).

Antecedentes

La obra de desvío consistió en un canal a cielo abierto de 35 m de ancho, excavado en el mismo sitio del vertedor auxiliar, sobre el brazo derecho del río, razón por la cual no se necesitó de ataguías.

La cortina es de materiales graduados, su altura máxima es de 53 m y la longitud de su corona es de 560 m. Cuenta con un núcleo de arcilla compactada, filtros de grava-arena procesada, transiciones y enrocamiento a volteo y compactados. Los taludes exteriores son 2:1. El volumen total de la cortina, incluyendo las ataguías, fue de $3.24 \times 10^6 \text{ m}^3$.

La obra de toma está formada por ocho bocatomas, las cuales cuentan con ocho rejillas semicirculares, ocho compuertas rodantes de servicio y dos auxiliares de 10.10 m de largo x 12.60 m de alto. El gasto máximo por toma es de $360 \text{ m}^3/\text{s}$.

Las tuberías a presión consisten de ocho conductos circulares de concreto de 12 m de diámetro inicial, diámetro final 9 m e inclinación de 45° ; su longitud es de 40 m. Cada una de las unidades está alimentada por dos tuberías.

La casa de máquinas es exterior, sus dimensiones son: 165.00 m de largo x 23.70 m de ancho x 60.00 m de altura y cuenta con dos grúas viajeras de 180 toneladas de capacidad.

La obra de excedencias está formada por un vertedor controlado por compuertas: la mitad de esta estructura, contigua a la margen del río, es el vertedor de servicio y la otra, el vertedor auxiliar. Cuenta con un canal a cielo abierto con cresta controlada (elev. 76.50 msnm), la longitud de esta cresta es de 116 m. Cuenta con ocho compuertas radiales (cuatro de servicio y cuatro auxiliares) de 14.5 m de largo x 15.00 m de alto, su gasto máximo de descarga es de $18,700 \text{ m}^3/\text{s}$ para una avenida de diseño con un gasto máximo de $22,877 \text{ m}^3/\text{s}$, volumen de $6,850 \times 10^6 \text{ m}^3$ y duración de 8 días (CFE, 1994).

Sistema Grijalva sin presas

Es importante destacar que ocurriría en el sistema Grijalva en caso de no tener las presas que regulan las avenidas; en el caso de 1999, el escurrimiento presentado durante el año, hubiera transitado libremente y sin control hacia la planicie del Estado de Tabasco, y se tendrían que comparar contra lo que realmente escurrió por tenerse la regulación que ofrece el sistema Grijalva (Marengo, 2003).

El escurrimiento promedio del Grijalva hasta el sitio de Peñitas en 47 años de registros (considerando solo los meses de septiembre y octubre) es de $8,653 \text{ Mm}^3$, durante 1999 escurrieron $14,053 \text{ Mm}^3$ y debido a la regulación de las presas, se dejó pasar a la planicie tabasqueña un volumen de $5,415 \text{ Mm}^3$, como se muestra en la tabla 1.6 en la que también se relacionan los gastos medios asociados a cada caso.

Tabla 1.6. Esguerrimiento histórico, regulado y controlado en el Complejo Grijalva durante 1999 (Marengo, 2003).

CONCEPTO	ESGURRIMIENTO HISTÓRICO	ESGURRIMIENTO DE 1999	ESGURRIMIENTO REGULADO (1999)	ESGURRIMIENTO EXTRAÍDO (1999)
VOLÚMENES (Mm³)	8,653.0	14,053.0	8,637.0	5,415.0
GASTOS MEDIOS (m³/s)	1,641.9	2,666.2	1,638.9	1,027.5

Cabe destacar en este caso, que el esguerrimiento de 1999 fue 62.4% superior al medio histórico del sistema (47 años) para los meses señalados (septiembre y octubre) y que el esguerrimiento controlado (5,415 Mm³) fue un 38.5% del que se presentó en total durante 1999. Este esguerrimiento, fue un 62.6% inferior al que corresponde el gasto medio histórico aportado por el río y que se hubiera presentado en la planicie de no existir el sistema Grijalva.

1.5 Situación meteorológica en el año 2007

Se preveía un año con un régimen de precipitación por arriba de lo normal por la aparición del fenómeno de “La Niña”, la cual se manifestó como un enfriamiento sostenido del océano Pacífico desde los primeros meses del 2007, y que se corroboró posteriormente en septiembre con la declaración del fenómeno de La Niña por parte del Centro de Predicción del Clima de la *National Oceanic Atmospheric Administration* (NOAA).

Las crecientes en la región son de tipo estacional, ocurriendo en el mes de mayo crecientes provocadas por precipitación proveniente por sistemas tropicales, estas crecientes persisten hasta el mes de noviembre, sin embargo, a mediados de septiembre el esguerrimiento en la cuenca también se genera por la incidencia de frentes fríos y esto se extiende hasta la última semana de febrero. Siendo los meses álgidos de precipitación y crecientes los meses de septiembre y octubre, cuando estos dos sistemas se combinan.

En los días 10 y 11 de octubre convergen en el estado de Tabasco dos fenómenos meteorológicos: el frente frío No. 2 y los remanentes de la circulación de una baja presión sobre Guatemala provocando fuertes precipitaciones en la región.

Del 22 al 24 de octubre, nuevamente esta región es afectada por el frente frío No. 4 en Tabasco y Chiapas, propiciando precipitaciones intensas en toda la región (CFE, 2008).

Así mismo los días 28 al 30 de octubre, una masa de aire frío intensa se desplazó hacia el sur afectando el suroeste del Golfo de México y el sureste del país en asociación con el frente estacionario No. 4 y la tormenta tropical “Noel” en el mar Caribe (figura 1.17). Éste sería el inicio de un nuevo temporal que caería sobre la cuenca de los ríos Usumacinta y el Grijalva (CFE, 2008).

Antecedentes

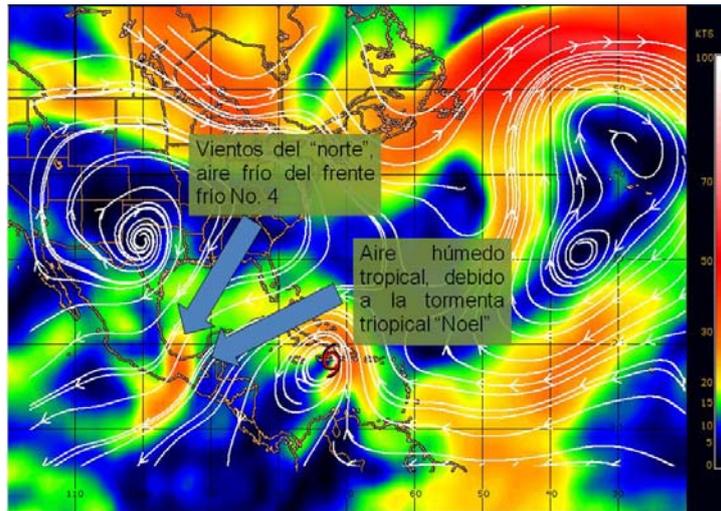


Figura 1.17. Convergencia del viento sobre Tabasco y Chiapas

Como lo demuestra el registro de precipitación, el día 28 de octubre de 2007, se presentaron lluvias torrenciales que en la estación climatológica Ocoatepec, en la cuenca propia de la presa Peñitas, se registraron 403 mm de lluvia en 24 horas, segundo lugar histórico para esta estación después del registro de 645 mm, el 4 de diciembre de 1990; dicha estación tuvo un acumulado mensual de 1,965 mm (figura 1.18).

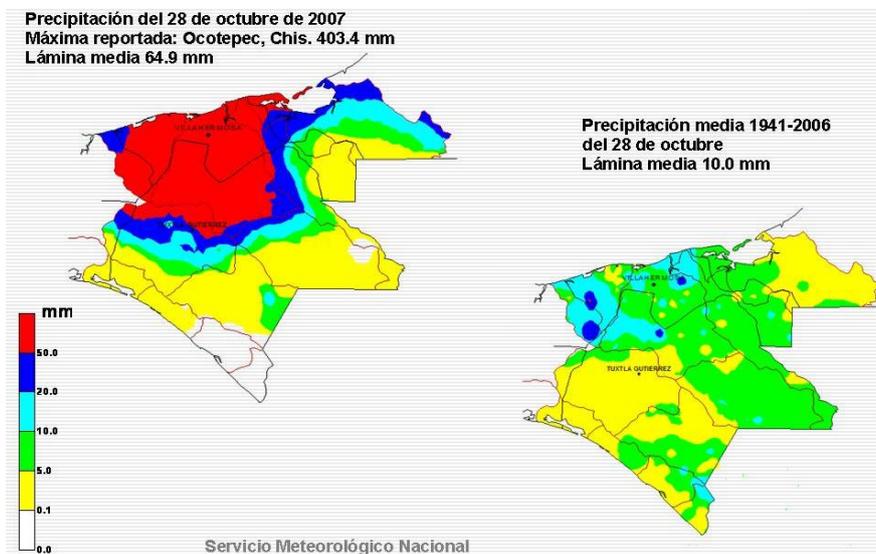


Figura 1.18. Precipitaciones del día 28 de octubre de 2007. Fuente: CONAGUA

El día 29 de octubre de 2007, la precipitación continuó generando escurrimientos extraordinarios debido a la intensidad de la lluvia (se registraron 308.9 mm de lluvia en 24 horas), concentrada principalmente sobre el norte de Chiapas en la cuenca propia de la presa Peñitas y en la mitad occidente de Tabasco incluyendo la zona montañosa de San Juan Grijalva, figura 1.19.

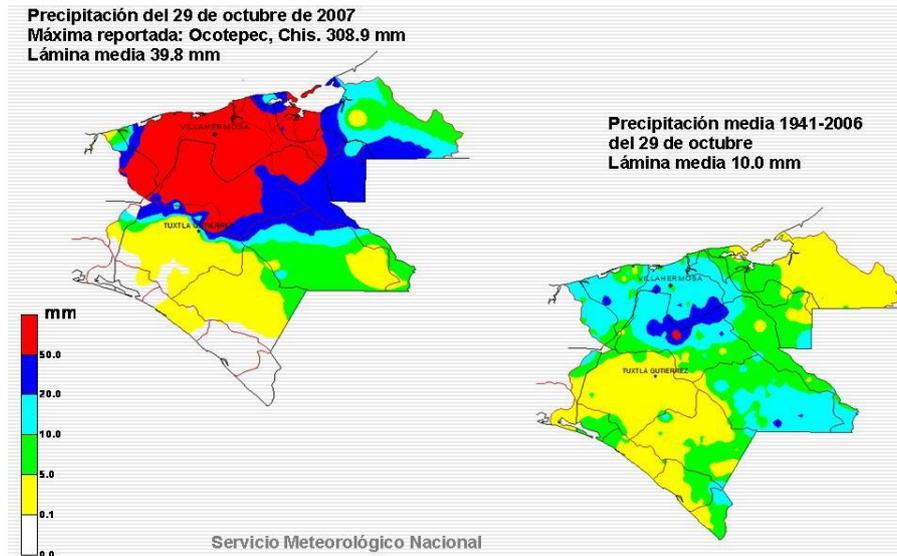


Figura 1.19. Precipitaciones del día 29 de octubre de 2007. Fuente: CONAGUA.

El evento duró tres días, y el 30 de octubre de 2007, las precipitaciones de carácter intenso, se desplazaron hacia la parte central de Tabasco y el noroeste de Chiapas, es decir, nuevamente sobre la cuenca propia de la presa Peñitas y de San Juan Grijalva. En la figura 1.20 se presenta la precipitación acumulada del 28 al 30 de octubre de 2007.

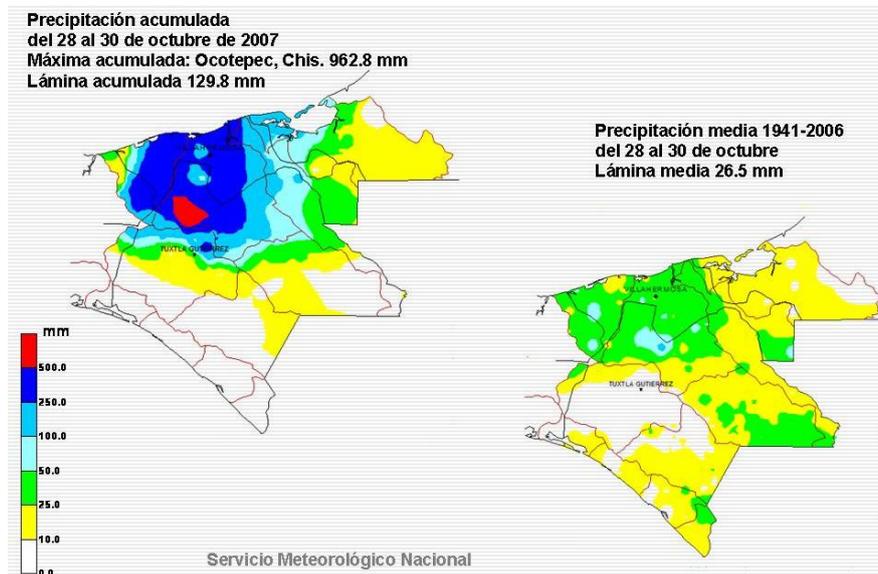


Figura 1.20. Precipitación acumulada del 28 al 30 de octubre de 2007. Fuente: CONAGUA

Las políticas de operación han manejado las crecientes en los embalses del Grijalva y han extraído los excedentes a través de las generación de energía eléctrica, en vista de que existe manera de estimar los volúmenes que probablemente ingresen y con ello se puede establecer un vaciado controlado, una amortiguación de la creciente y un vaciado de excedentes controlado para volver a niveles de operación una vez que la creciente natural ya drenó de la cuenca.

Antecedentes

Las condiciones hidrometeorológicas presentadas en esas fechas así como los factores que se enlistan a continuación se conjuntaron para que se presentara la inundación de la planicie en el estado de Tabasco en noviembre de 2007:

- Efectos de cambio climático
- Azolve de los cauces de los principales ríos
- Deforestación de la selva tropical
- Precipitaciones intensas en el alto Grijalva concentrándose principalmente en el río La Sierra
- Desfogue de la presa Peñitas, cuyas compuertas fueron abiertas a partir del 27 de octubre, alcanzando un flujo de hasta 2,000 m³/s, los cuales se fueron reduciendo progresivamente en la medida en que la presa misma podía ser operada con los márgenes necesarios de seguridad técnica
- Los bordos, que no resistieron el embate de los torrentes
- El tapón ocasionado por la madera alta en la desembocadura del Grijalva que no permitió una salida más rápida de las aguas hacia el Golfo de México por la barra de frontera
- Desecación de pantanos y urbanización de zonas que tenían función de vasos reguladores
- Asentamientos irregulares en tierras bajas, por lo general se inundan en temporada de lluvias
- Falta de un plan hidráulico
- Carencia de un programa social de prevención de inundaciones
- Falta de inversión de estudios hidrológicos y de obras hidráulicas

La confluencia de estos factores sociales, climatológicos, políticos, ambientales y técnicos, provocó que subieran aceleradamente los niveles críticos de los ríos, principalmente el Carrizal, Samaria, Mezcalapa, La Sierra y Grijalva, entre los principales que provocaron que se saliesen de sus cauces (CFE, 2008).