

Principios de Inundaciones

¿Qué causa inundaciones?

- tormentas eléctricas locales pueden causar *flash floods* (inundaciones repentinas)
- lluvias extensas pueden causar inundaciones regionales por semanas
- ciclones tropicales pueden causar marejadas ciclónicas
- derretimiento de nieve
- ruptura de bloqueos de hielo en invierno que bloquea el flujo de agua, al fallar causa inundaciones
- ruptura de embalses o diques naturales de corta vida
- ruptura de embalses humanos y diques
- sedimentación (excesiva) en lagos y reservorios
- tsunami

¿Por qué necesitamos estudiar las inundaciones?

- la gente quiere vivir cerca de los ríos aumentando el riesgo de ser víctimas de inundaciones
- los ríos representan un medio de transporte muy efectivo y agua para la industria, atrayendo a la población
- planicie de inundación provee un terreno fértil para la agricultura, atrayendo a la población
- riesgos de inundación parecen ir en aumento a pesar de nuestros esfuerzos por proporcionar protección
- costos por inundación han ido aumentando
- nosotros intentamos controlar el flujo de los ríos
- embalses y diques tienen un tiempo de vida limitado, representando un riesgo

Inundaciones relacionadas con el tiempo

- Flash Floods
 - tormentas eléctricas locales en áreas con topografía empinada; la mayoría de muertes relacionadas con inundaciones son de flash-floods; 50% relacionadas con automoviles
 - los flash floods ocurren en desiertos a millas de distancia de las tormentas; cañones angostos obstruyen la vista
Nota: más gente muere ahogada en los desiertos que de sed
 - tormentas inusualmente fuertes pueden generar chubascos
 - vivir en planicies de inundación aumenta el riesgo de muerte y pérdidas materiales
- Inundaciones Regionales
 - aguas altas inundan regiones extensas por semanas
 - grandes valles de los ríos con baja topografía
 - lluvias prolongadas (fuertes) de sistemas ciclónicos extensos
 - pocas muertes pero daños masivos
 - 2.5% de la tierra y 6.5% de la población en planicies de inundación
 - también puede ser causado por derretimiento de hielo o bloqueos de hielo

Así funcionan los ríos

- Escorrenta (Run-off) y el ciclo hidrológico
 - agua almacenada en la atmósfera (vapor de agua): $13,000 \text{ km}^3$.
 - agua almacenada como agua subterránea: water stored as groundwater: $8,000,000 \text{ km}^3$.
 - agua almacena en tierra: lagos y ríos ($200,000 \text{ km}^3$); hielo y nieve ($29,000,000 \text{ km}^3$)
 - equilibrio entre precipitación y evaporación
 - evaporación: océano ($430,000 \text{ km}^3$); en tierra ($70,000 \text{ km}^3$)
 - precipitación: océano ($390,000 \text{ km}^3$); en tierra ($110,000 \text{ km}^3$)
 - escorrenta en tierra que potencialmente podría causar inundaciones ($40,000 \text{ km}^3$)
- Perfil de las Corrientes
 - sección longitudinal de los ríos y las corrientes son concavas con pendientes más fuertes (mayor gradiente) cerca del tope;

- gradiente: altura vs. distancia horizontal recorrida; determina que tan rápido fluye el río y erosiona su lecho
 - nivel base: nivel por debajo del cual una corriente no puede erodar (p.e., océano, lago o río hacia el cual la corriente desemboca)
 - tras una corrección de escala, todos los ríos poseen el mismo perfil, independiente del medio ambiente o el tamaño.
- Gradiente y longitud de la corriente
 - las corrientes que fluyen rápido bajan por pendientes más fuertes y que son rectas y simétricas (lecho del río simétrico en forma de V)
 - corrientes que fluyen despacio bajan por una pendiente más suave y empiezan a formar meandros (lecho del río asimétrico con un banco presentando erosión y el otro depositación)
- Descarga
 - es la cantidad de agua descargada por segundo a través de la sección transversal de la corriente
 - descarga = velocidad de flujo promedio * altura de la columna de agua * ancho del canal
 - los dos últimos multiplicados dan el área de la sección transversal
 - Amazon: $200,000\text{m}^3/\text{s}$ (15% de la escorrentía mundial!)
 - Congo: $40,000\text{m}^3/\text{s}$
 - Mississippi: $17,000\text{m}^3/\text{s}$
 - Magdalena: $7,000\text{ m}^3/\text{s}$
- Velocidad del Flujo
 - la velocidad del flujo no es constante a lo largo de la corriente
 - alta fricción (causando erosión!) en la base o los lados haciendo que el flujo desacelere
 - las mayores velocidades se encuentran hacia el centro de la corriente
- Cuencas de drenaje grandes y pequeñas
 - en cuencas de drenaje pequeñas, aguaceros fuertes y cortos pueden causar flash floods
 - en cuencas de drenaje grandes, lluvias extensas que duran semanas pueden causar inundaciones de larga vida (p.e., Río Mississippi, Missouri; 1993 Jefferson Missouri)

Corriente en equilibrio

- equilibrio: estado de balance donde algún cambio causa mecanismos de reacción para compensar (mecanismos e reacción negativos); una corriente siempre busca mantener su estado de equilibrio
- factores de control: 1) descarga de agua; 2) carga de la corriente, cantidad de sedimentos que son llevados por la corriente; 3) gradiente de la pendiente; 4) patrón del canal
- Mecanismos de Reacción
 - mecanismo de reacción positivo: realza los cambios; puede terminar en proceso desbocado (runaway); p.e., caída de nieve en clima frío, la nieve refleja más luz solar enfriando el clima más
 - mecanismo de reacción negativo: el sistema busca obtener el estado de equilibrio; contrarresta los cambios
- Graded Stream Theory
 - toda corriente ajuste el suelo de la corriente a cambios en las condiciones, sosteniendo así el estado de equilibrio (graded stream); una corriente de este tipo tiene un perfil longitudinal concavo e intenta mantener este perfil. la corriente busca utilizar toda la energía que posee en el momento en el cual llega al final de su perfil longitudinal (incluyendo la sedimentación al final), Solo puede usar la energía que poseía al comienzo y no más; cualquier perturbación en el balance resulta en reacciones de compensación
- Caso 1: Demasiada descarga
 - más agua hace que la velocidad del flujo sea más rápida (más energía)
 - erosión del lecho de la corriente (cerca al tope, consume su energía)
 - carga con mayor cantidad de sedimentos (carga de la corriente aumenta, consumo de energía)
 - los sedimentos son depositados cerca de la base
 - proceso eventualmente hace decrecer la pendiente en general
 - eventualmente puede causar meandros
- Caso 2: Demasiada carga
 - más sedimentos obstruyen la corriente
 - los sedimentos son rápidamente depositados (cerca del tope) aumentando el gradiente de la pendiente
 - agua empieza a fluir más rápida
 - al ir más rápido puede llevar mayor cantidad de carga

- puede llevar eventualmente a la formación de corrientes trenzadas cuando la cantidad de carga varía significativamente
- Caso 3: Corriente fluye hacia lago
 - corriente lleva carga de sedimentos y los deposita en el lago hasta que el agua desborda sobre la presa
 - la corriente entonces fluirá sobre un gradiente mucho más fuerte, siendo muy erosiva

Planicies de Inundación

- suelo de la corriente durante inundaciones
- sujeto a cambios estacionales
- usualmente plano pero puede tener suave pendiente en la dirección de flujo del río
- puede llevar a la formación de terrazas cuando el río corta su lecho en la planicie. Puede a su vez escavar su habilidad de inundación de la planicie.

Meandros

- en pendientes suaves, planicies con gradientes bajos
- el río puede cambiar su dirección de forma aparentemente al azar, dependiendo de pequeñas perturbaciones en el lecho del río, la descarga, la carga de sedimentos u otras condiciones.
- a diferencia de los ríos en fuertes pendientes, la sección transversal de un río meándrico no es simétrica, tiene un banco externo y uno interno
- banco externo: altas velocidades de flujo, alta energía cinética → erosión; socavación puede llevar a colapso de acantilados (montañas)
- banco interno: bajas velocidades de flujo, baja energía cinética, el río no puede con toda su carga → depositación de sedimentos
- con el tiempo, la curvatura de los meandros aumenta
- eventualmente, los ríos pueden cortar los curvos meandros para formar meandros abandonados (oxbox lake)
- al cortar, el nuevo trayecto es más corto y posee un mayor gradiente, aumentando la velocidad del flujo y la descarga corriente abajo del meandro, aumentando la probabilidad de inundación

The Johnstown Flood (PA Mayo 31, 1889); Desarrollo agresivo

- peor ruptura de dique en la historia de EEUU
- 2200 personas mueren
- la ciudad estaba en crecimiento gracias a la extracción de carbón y acero, a unos 100 km de Pittsburgh en las montañas.
- una antigua represa natural fue reconstruida para formar un lago y un resort exclusivo para el verano
- alerta repetidas sobre inminente desastre fueron ignoradas
- represa se rompe en Mayo 31
 - una tormenta había comenzado fuera de los estados de Kansas y Nebraska en Mayo 28
 - Lluvias muy fuertes en varios estados en Mayo 29
 - trenes atrasados, vías lavadas por las lluvias e inundaciones
 - tornados afectan fincas y granjas en Cottonwood River/Kansas
 - caída de nieve súbita en Michigan e Indiana
 - noche de Mayo 29, el servicio de señales de USA publica alertas sobre tormentas severas en la zona
 - Mayo 30, la tormenta golpea el oeste de Pennsylvania; peores lluvias registradas localmente (15-20 cm en solo 24 horas)
 - mediodía de Mayo 31: la represa empieza a fallar, los mensajes de alerta nuevamente ignorados
 - 3:15pm, el lago *corre hacia el pueblo*.

The Galveston Flood (TX Sep 8, 1900); Un huracán

- desastre natural más mortal en la historia de EEUU
- más de 6000 (puede ser de hasta 7200) de sus 38,000 habitantes mueren
- más de 3600 viviendas destruidas
- causado por marejada ciclónica asociada con un huracán categoría 4
 - fuertes vientos apilan el agua lo largo de 60-80km y la empujan hacia la costa
 - bajas presiones levantan el nivel del agua

- particularmente peligroso en tiempos de altas mareas

Nota: los huracanes pueden golpear una población costera por una fracción significativa del ciclo de mareas: 12 horas

- solía ser una de las ciudades más ricas en Texas, gracias a la importancia comercial de su puerto (más de 1000 barcos al año).
- los factores que ayudaron a que Galveston fuese víctima del desastre:
 - Galveston está localizada cerca del borde de una isla barrera
 - la marea subió el nivel 30 cm por encima del punto más alto de Galveston
 - vientos de hasta 120 km/h
 - olas de hasta 10 m de altura
- en ese tiempo, los meteorólogos no podían pronosticar huracanes
 - mañana del 6 de Septiembre, el servicio climático de EEUU nota presencia de perturbación tropical cerca de Cuba
 - marea de grandes proporciones en Sept 7; marea más alta de lo usual
 - mañana de Sept 8, presión del aire disminuye dramáticamente y los vientos comienzan a acelerar
 - jefe de la oficina meteorológica de Galveston recomienda la evacuación
 - pocos se fueron; la mayoría buscó refugio en zonas con viviendas de ladrillo altas
 - 4pm: mareas ascienden en el océano y la bahía
 - 6:15pm: anemómetro se rompió registrando velocidades de viento de hasta 135 km/h
 - 7pm: olas de hasta 1.5 m golpean la ciudad, después una ola de 6 metros
 - olas de la tormenta hay que sumarlas a un tope en alta marea y los fuertes vientos → por el resto de la noche velocidades de 190 km/h
 - 8:30pm: la vivienda del jefe de la oficina meteorológica es destruida, 32 de 50 personas mueren, incluyendo su esposa
 - las personas (tres hijos, su hermano y su esposa) estuvieron a la deriva por horas
 - 9pm: ojo de la tormenta cruza la población, presión barométrica marca 27.91 pulgadas.
 - 25 cm de lluvia
 - marea obtuvo alturas récord de 4.5m por encima de lo normal

- los residentes construyeron un muro de contención de 5 km de largo, 5 metros de alto y 5 metros de ancho
- un huracán categoría 4 en 1915 solo causó daños menores
- desde esa época, la ciudad ha crecido hacia zonas desprotegidas
- los residentes confían en tecnología satelital para pronosticar huracanes (tomado de :”The Weather Book”, por Jack Williams; Vintage Books)

Gilgamesh y el gran diluvio

- casi todas las culturas antiguas del mundo tienen historias sobre antiguos diluvios mucho mayores que los que se conocen en tiempos modernos
- un caso interesante de diluvio es compartido en historias épicas en el Mar Mediterraneo/Cercano Este
- p.e., se cree que cuentos como el de la Barca de Noe, o la Odisea de Homero están basados en épicas de Gilgamesh en las cuales o Utnapishtim contruye un arca.
- Gilgamesh fue un rey sumerio (A.C. 2,500) en el área de Mesopotamia que hoy en día es Irak (primer lenguaje escrito)
- el diluvio pudo haber ocurrido antes del lenguaje escrito y las historias fueron pasadas por medios orales o canciones
- para que el diluvio fuera épico, la inundación tuvo que haber ocurrido cuando la gente ya no vivía una vida nomada sino en comunidad; solamente un éxodo masivo podría convertirse en historia, así que el diluvio probablemente no ocurrió antes de A.C. 8000
- las planicies de inundación del río Tigris (bajo) y el Eufrates son un posible lugar para la inundación de los 1000 años (A.C. 6000 - A.C. 1000). En esa época se piensa que dichos ríos tenían fuerza similar a la del Mississippi.
- algunos piensan que las inundaciones en la planicie hubiesen ocurrido constantemente, por lo tanto no sería algo épico y la gente no se trasladaría a nuevas tierras
- otros escenarios incluyen la apertura del Mar Negro o el Mar Rojo
- el Mar Negro anteriormente fue de agua dulce durante la última era de hielo (atractivo para que la población se reubicara en dicha zona); durante ese tiempo el nivel del mar era 150 m por debajo del nivel actual
- al terminar la era de hielo el agua rellenaría el Mediterraneo y se vertería sobre el Estrecho de Bosphoros, creando una gran cascada (200 veces las del Niagara).

- las zonas en la cota se inundarían en muy corto tiempo, forzando a la gente a reubicarse
- la evidencia para comprobar esta idea sería encontrar restos de dichas poblaciones en los sedimentos que actualmente se acumulan en la plataforma del Mar Negro (recientemente los geofísicos han encontrado evidencia)

Lecturas recomendadas

- Natural Disasters in General: Earthshock by Andrew Robinson, Thames and Hudson Publ., 1993, ISBN: 0-500-27738-9
- Johnstown Flood: "The Johnstown Flood" by David McCullough; Touchstone Book by Simon & Schuster Publ., 2. ed, 1987, ISBN: 0-671-20714-8
- A possible location of the biblical/Gilgamesh flood "Noah's Flood" by W. Ryan and W. Pitman, Touchstone Book by Simon & Schuster Publ., 2000, ISBN: 0-684-85920-3