

SISTEMAS HIDROLÓGICOS MIXTOS EN PAISAJE DE MESETA: MARCO CONCEPTUAL

Juan J. Serra

Departamento de Ingeniería Civil Hidráulica-Facultad de Ingeniería
Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, Trelew, Chubut
Av. 9 de Julio 25, Trelew, Chubut, Argentina – Tel/Fax +54 (0) 2965-428403
e-mail: jserra@satlink.com - dich@tw.unp.edu.ar – www.dich.edu.ar

RESUMEN

El problema torrencial en mesetas y su zona de contacto con terrazas, valles de ríos y cañadones, adquiere particularidades que lo distinguen de la problemática hidrológica en cuenca de montaña y en área de llanura. Este artículo enfoca el análisis en aspectos conceptuales que enmarcan este problema en un paisaje de meseta. El trabajo se basa en una tesis del autor, “Metodología integrada de estimación de crecidas en ambientes torrenciales típicos de áreas de meseta en la región semiárida Patagónica”, y tiene por escena de estudios una región de ambiente árido-semiárido tal es el Valle Inferior del Río Chubut.

En su desarrollo avanza en la caracterización hidrológica de este paisaje para identificar los componentes principales y proponer sub-clasificaciones hidrológicas de sistemas mixtos. Los procesos hidrológicos que intervienen en un sistema mixto y las relaciones funcionales que transforman en espacio y tiempo el ciclo del agua fortalecen el marco conceptual de análisis. Asimismo, lleva a un mejor planteo del problema para la determinación de la superficie tributaria a una sección o área de control dada, con relevancia en la estimación de caudales máximos probables en unidades hidrológicas con escasez de datos hidrométricos.

Palabras Clave : Hidrología superficial, torrentes, meseta, crecidas máximas, sistemas hidrológicos.

ABSTRACT

The torrential problem in the plateaus and the boundary zone with terraces, rivers and stream valleys acquires particularities that distinguish it from the hydrologic problem of mountain basin and plain areas.

This article exposes the hydrologic analysis of this problem in the plateaus landscape and in the environment of a typical semi-arid climate. It is based on the author's thesis “integrated methodology of estimation of swellings in plateau landscape, in semiarid climate with typical torrential rainfall”, and research in the Lower Valley of the Chubut River, in the Patagonian region, Argentine.

Both basic hydrologic systems are present in terraces: typical or mountain-type, and non-typical or plain-land-type. From then analysis of differences and similarities with respect to the problematic in plain and mountain systems, different technical aspects in context of some conceptual frame hydrologic classification are exposed for mixed systems.

The proposed classifications for mixed hydrologic systems are others perspectives for studying the hydrology of plateau landscape, different to the classic Hydrology of river basins or plains, in particular for the study of maximum floods in hydrologic units without hydrometric data.

Key Words : Superficial hydrology, torrents, plateau landscape, maximum floods, hydrologic systems

INTRODUCCIÓN

La geografía patagónica combina entre sus paisajes extremos de montaña y litoral marítimo, a mesetas y valles de ríos, que incluyen a su vez áreas menores de planicies con características físicas similares a las llanuras (Fig. 1).

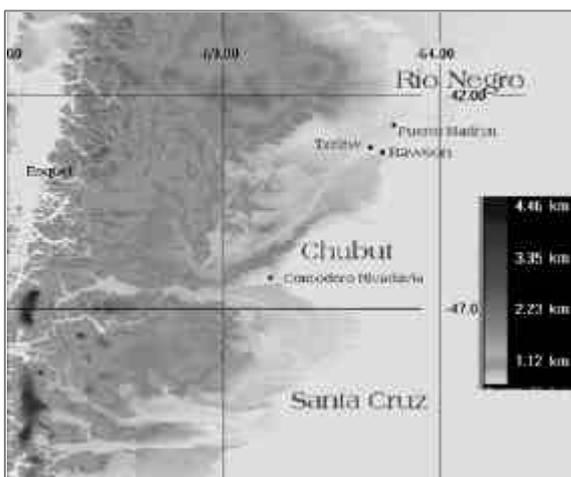


Fig. 1: Región Central de Patagonia, Argentina: Al Oeste: Chile y el Océano Pacífico. Al Este, el Océano Atlántico (los tonos claros e intermedios corresponden a áreas de meseta)

Muchos problemas de urbanizaciones en Patagonia, o de su ordenamiento territorial, están condicionados por el marco de extensos relieves mesetiformes, en un ambiente climático árido a semiárido. En la zona de estudios el paisaje de terrazas combina con el valle del Río Chubut, de génesis fluvio-marítima. Cañadones, bardas, cordones litorales, depresiones y humedales, suman complejidades adicionales para el conocimiento de la amenaza hídrica y el riesgo de inundaciones.

El fenómeno torrencial de esta tipología de paisajes encuentra diferencias y semejanzas que lo distinguen de la problemática de montaña y de llanura.

Si bien la aridez del ambiente indica un reducido módulo pluviométrico, ocurren eventos extraordinarios que -aunque con escasa frecuencia- activan sistemas hídricos de gran torrencialidad.

En unidades hidrológicas con escasez de datos hidrométricos, en PM, la determinación del área tributaria suele ser compleja, siendo determinante en la estimación de caudales máximos. En muchos casos de Patagonia la previsión y planificación

territorial por la amenaza torrencial suele ser deficitaria, siendo que el riesgo hidrológico de crecidas e inundaciones por el fenómeno torrencial es elevado.

La progresiva antropización del paisaje por las urbanizaciones, ocupación de bajos inundables, y la impermeabilización de suelos, aparecen como causales principales del mayor riesgo hidrológico (Bertoni et al, 2004; Bertoni, 2006).

El riesgo por la amenaza torrencial es un grave problema para muchas poblaciones patagónicas. Ciudades como Trelew son el paradigma de esta afirmación. Pueden citarse por caso las graves consecuencias ocurridas durante las tormentas extraordinarias de Mayo de 1992 y Marzo de 2000. Más grave aún, la inundación generalizada de la mayor parte de la ciudad, con evacuación masiva de barrios densamente poblados, ocurrida durante la tormenta del 23 al 25 de Abril de 1998. La lluvia acumulada alcanzó 230,1 mm en 63 horas, observados en la Estación Pluviométrica del Servicio Meteorológico Nacional (Chachero, 1.998). Este valor duplica el máximo registro histórico diario, siendo el módulo pluviométrico de 180,3 mm/año.

En PM, la determinación correcta del área tributaria es determinante para la predicción de crecidas y su probabilidad de ocurrencia asociada.

Sistemas hidrológicos básicos: sistemas típicos y no típicos

Con indudable influencia del pensamiento mecanicista, hasta pocas décadas atrás, la Hidrología sólo podía concebirse a partir del concepto clásico de cuenca. El desarrollo y la industrialización del mundo introdujeron el análisis de los crecientes problemas ambientales, y con ellos, el del manejo del agua. Nuevos problemas hídricos encontraron limitaciones para ser resueltos con teorías existentes. En este contexto de nuevos paradigmas y escuelas de pensamiento, el dilema de inundación-sequía en áreas deprimidas dio origen a la Hidrología de Llanuras.

Fertonani (1978), introduce dos nuevos conceptos teóricos de sesgo geomorfológico para definir los sistemas hidrológicos. Por un lado, identifica "...sistemas en los cuales la estructura de disipación o de escurrimiento está conformada por elementos

lineales, organizados y jerarquizados...”. Fertonani refiere al concepto de linealidad para explicar la forma geométrica de concentración de los flujos superficiales, donde una dimensión prevalece sobre las otras dos (Fig. 2). A estos sistemas, se los puede “...identificar dentro de una porción de espacio o una unidad de comportamiento definida...” y se “...puede encontrar un punto de relación que exprese la resultante de una conducta intrínseca de los diferentes niveles o estados energéticos que lo conforman”. Son los “Sistemas Hidrológicos Típicos” (SHT), o comúnmente denominadas cuencas, “una superficie tributaria con relación puntual (punto de síntesis), en donde los escurrimientos se resuelven en forma más o menos ordenada, según una conducta definida por la jerarquización de sus componentes”.

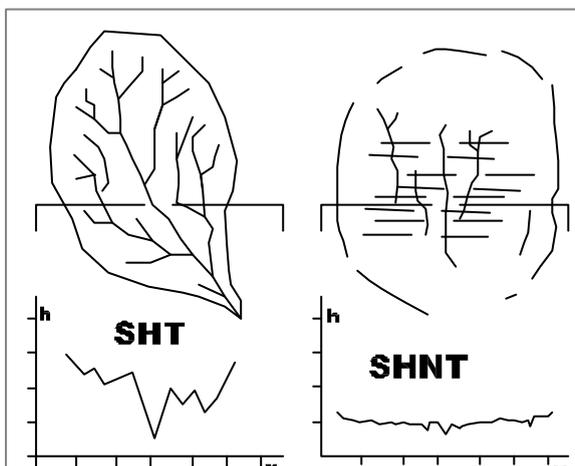


Fig.2: Esquema para Sistemas hidrológicos Típicos (SHT) y No Típicos (SHNT)

Esta definición, incluye a conceptos y definiciones de la Hidrología clásica para las denominadas “cuencas”, que interpretan la existencia de una sección de control con una única divisoria de aguas, una superficie tributaria y una red de drenaje superficial. Así por ejemplo, para Chow (1989), “un sistema hidrológico es una estructura o volumen en el espacio, rodeado por una frontera que acepta agua y otras entradas, opera en ellas internamente y las produce como salidas”, y “una cuenca es una superficie de tierra que drena hacia una corriente en un lugar dado”.

Seguidamente, Fertonani sostiene la existencia de otros sistemas, “en los cuales no se tiene ni la superficie tributaria definida, ni la relación puntual. Sistemas que no cuentan con componentes lineales,

organizados y jerarquizados conformando su estructura de disipación (escurrimientos areales, mantiformes)”, a los que denomina Sistemas Hidrológicos No Típicos (SHNT). En otro trabajo de investigación del que participa Fertonani (Caamaño Nelly et al, 1979), se expresa que “la resolución de los excedentes hídricos en SHNT no es a través de los escurrimientos, sino que encuentra la deformación de sus componentes como respuestas a un estímulo importante, provocando inundaciones, cuyos resultados no pueden ya evaluarse sólo a través de metodologías tradicionales”.

Ambos conceptos, “típico” y “no típico”, son una interpretación académica de los dos sistemas hidrológicos básicos en formas extremas del paisaje. En la naturaleza, no se encontrarán uno u otro en la pureza de su definición sino en formas combinadas, y su clasificación se interpreta conforme la predominancia de las características del sistema principal.

En los años siguientes, investigaciones e innumerables publicaciones en revistas científicas internacionales en temáticas de “hidrología de llanuras” amplían la frontera de conocimientos de los SHNT (plain landscapes, flatland landscapes, shallow Water System). Así, Pouey y Portapila (1999) por ejemplo, analizan el impacto ambiental de terraplenes y obras de protección muy comunes en zona de llanuras en Argentina. Calver y Anderson (2004), investigan inundaciones en Exmoor, en el sudoeste Inglaterra, y el grado en el cual las características geomorfológicas del paisaje determinaron una crecida excepcional; analizan el intervalo de repetición del fenómeno y sugieren un marco conceptual para los aspectos estáticos y dinámicos del paisaje.

En este trabajo, se enfoca el problema de ambientes torrenciales pequeños y medianos del PM, particularmente con escasez de datos hidrométricos, proponiendo una clasificación de los principales componentes que facilitan la identificación del área tributaria a un área o sección de control, y la estimación de los caudales máximos.

La clasificación propuesta, advierte sobre la complejidad en ciertos sistemas en PM para la determinación del área tributaria. Asimismo, sobre las consecuencias de una errónea determinación al aplicar métodos topográficos tradicionales (generalmente por defecto), especialmente en la estimación de escorrentías y caudal máximo.

METODOS

Este trabajo resume parte del análisis, resultados y conclusiones de la tesis “Metodología integrada de estimación de crecidas en ambientes torrenciales típicos de áreas de meseta en la región semiárida Patagónica” (Serra, 2003). Los estudios, se basan en experiencias reunidas en diversas investigaciones y estudios aplicados a casos en PM, dirigidos por el autor (Serra et al, 2002).

El área de estudios para este análisis comprende a la región del Valle Inferior del Río Chubut (VIRCh), al Norte y Este del Dique Florentino Ameghino (43,7° Latitud Sur, 66,48° Longitud Oeste), y Puerto Madryn, al Sur de Latitud Sur 42,7°, teniendo por límite al Este, el Mar Argentino en el Océano Atlántico.

Los estudios, se apoyan en interpretación de imágenes satelitales LANDSAT TM, (Convenio CONAE-UNPSJB), imágenes satelitales LANDSAT TM y fotografías aéreas E 1:5000 y 1:20.000 facilitadas por la Dirección General de Catastro e Información Territorial de la Provincia del Chubut), Modelo Digital de Terreno obtenidos del sitio de NASA en Internet, mapas y relevamientos topográficos y morfológicos efectuados o compilados por la Facultad de Ingeniería (UNPSJB) en proyectos de investigación y estudios de casos, y reconocimientos expeditivos.

La investigación incluyó la revisión histórica de eventos meteorológicos excepcionales en el área de estudios, siendo de particular interés la narración de las inundaciones catastróficas ocurridas en el Valle Inferior de fines del Siglo XIX y principios de Siglo XX (Hughes, 1926), y un reporte de investigación que resume los hechos y circunstancias durante la emergencia hídrica de Abril de 1998 (Serra et. al, 1998).

Sistemas hidrológicos en Paisaje de Meseta. Aspectos conceptuales

En la problemática aluvional de terrazas, los dos sistemas hidrológicos básicos pueden estar presentes.

Los SHT en PM se presentan en planos de pendientes marcadas, generalmente son abiertos y convergen hacia sistemas de un orden mayor. Se identifican con frecuencia en zonas de contacto meseta-valle, hasta el ápice del cono de deyección

(Fig. 3). Corresponde a la zona de bardas (laderas acantiladas o barrancosas que se presentan entre estos dos relieves, o entre dos planos de terrazas con distintos niveles).

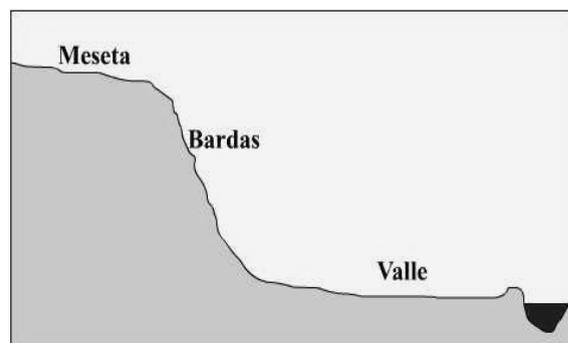


Fig. 3: Esquema de bardas, entre meseta y valle

En la región del VIRCh, estos sistemas conforman pequeñas cuencas torrenciales, (ej. cuenca del “Cañadón Baraibar”, Gaiman, Chubut, 170 has). Pero también cuencas mayores, como el “Cuenco Aluvional del Área Dique-Boca Toma” (1.000 km²), donde se identifican 32 unidades hidrológicas independientes que descienden transversalmente al cauce del Río Chubut (Serra et al, 1999), desde la meseta al valle, aguas abajo del Dique Florentino Ameghino (Fig. 4).

En los valles y en las zonas más planas de las terrazas coexisten sistemas o subsistemas hidrológicos con algunas características propias de área de llanura (SHNT). Por caso, el sistema de Lagunas I a V, al Este del VIRCh, entre los ejidos de Trelew y Rawson, cuya imagen satelital compuesta (LANDSAT TM) se muestra en la Fig. 5.

Sistemas Hidrológicos Mixtos

En general, es común identificar Sistemas Hidrológicos Mixtos (SHM) en PM, donde coexisten ambas tipologías extremas del paisaje en proporciones impactantes como para ser consideradas como tales. Profundizando los conceptos básicos propuestos por Fertoni (1978, op. cit.), se trata a continuación una clasificación para las principales conformaciones de los componentes hidrológicos en PM, los que tienen particularmente relevancia en la determinación del área tributaria a un área o sección de control dada.

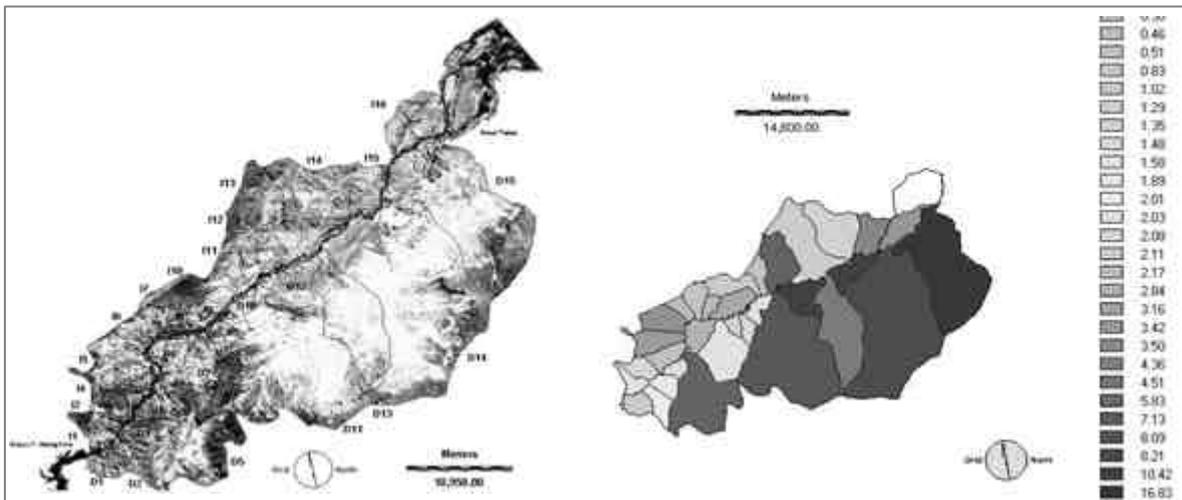


Fig. 4: Paisaje característico de un SHT: Cuenco Aluvional del Área Dique Ameghino a Boca Toma, VIRCh, mapa de riesgo aluvional. (Composición Imagen Landsat TM)

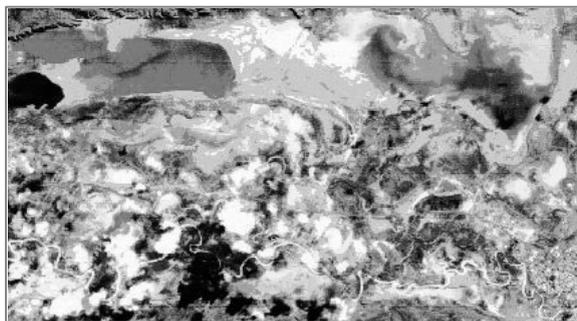


Fig. 5: Paisaje característico de un Sistema Hidrológico No Típico (SHNT), en la región del VIRCh: área lagunar entre Trelew y Rawson durante una crecida extraordinaria en 1998. (Composición Imagen Landsat TM)

Un sistema hidrológico es mixto (SHM), cuando ambas configuraciones coexisten en proporciones e impacto sensibles a la conformación de la estructura de disipación de los excedentes hídricos.

En sus formas simples, es mixto cuando uno está incluido en el otro paisaje, de mayor orden. En su forma más compleja, ambos sistemas presentan manifestaciones compuestas o manteniendo partes de las propiedades combinadas de una u otra caracterización básica.

Se exponen a continuación distintas formas básicas de sistemas mixtos y complejos y sus subsistemas.

Sistema Hidrológico Mixto-Típico

Un SHM es Típico (SHM-t), cuando la conformación sistémica mayor corresponde a la de un sistema hidrológico Típico pero incluye en su área tributaria un área No Típica (Fig. 6).

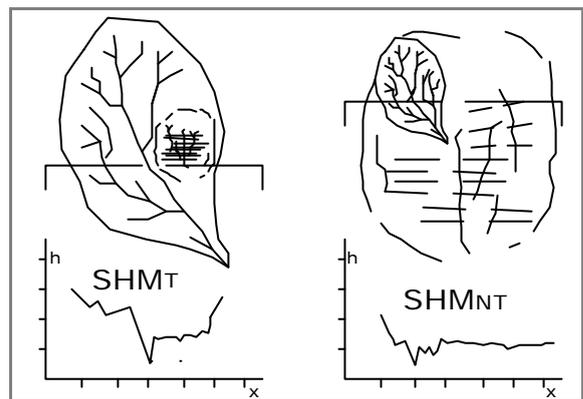


Fig. 6: Esquema de SHMT-t y SHM-nt

Sistema Hidrológico Mixto-No Típico

Un SHM es No Típico (SHM-nt), cuando la conformación sistémica mayor corresponde a la de un Sistema Hidrológico No Típico, pero incluye un área típica menor (cuenca) con propiedades de SHT

Sistema Hidrológico Mixto: Subsistema Cuasi-Endorreico

Un subsistema de un SHM es cuasi-endorreico (SHM-ce), cuando puede identificarse una unidad de comportamiento espacial dentro de una frontera que define una superficie tributaria de lluvias y crecientes “ordinarias a extraordinarias”, con una red de drenaje débilmente lineal, escasamente

organizada y generalmente no jerárquica. La disipación de excedentes hídricos se resuelve por almacenamiento en su región central, pero puede resultar desbordada en crecientes “extraordinarias a excepcionales”, para integrarse a un sistema lagunar o encauzado de orden mayor.

Este concepto, atribuye carácter “temporal” a un contorno o frontera tributaria, definido en una porción de espacio, físicamente determinable, pero acotado en un período de tiempo identificable. A diferencia del concepto primario de “divisoria” en un SHT, o del concepto de “envolvente” en un SHNT, en esta definición deja de ser una línea de continuidad física estática para ser temporalmente dinámica.

Los SHM-ce destacan dos cualidades que son sinérgicas para la generación de máximas escorrentías en condiciones de pluviosidad extrema. La primera es propia de la geomorfología del paisaje de meseta (concepto físico); la segunda resulta del intervalo de repetición de lluvias excepcionales (concepto temporal), particularmente importante por la baja frecuencia de grandes temporales de lluvia en el clima árido. En la Fig. 7 se representa un esquema que interpreta esta particularidad morfológica.

A diferencias de conformaciones similares en llanuras, se trata de distinguir además a componentes parecidos a un SHT, donde por su morfología puedan sugerir una divisoria de aguas bien definida, de marcados taludes, en casos hasta con una red de drenaje temporaria bien conformada, que pueden confundir y llevar a considerarlo una “cuenca endorreica”, cuando no lo es. El SHM-ce es una conformación muy común en paisaje de meseta; en eventos extraordinarios desbordan la “falsa divisoria” produciendo crecidas de magnitud inesperada.

En urbanizaciones con alteraciones antrópicas severas, el impacto de las avenidas resulta muy elevado, con crecidas inesperadas y de gran magnitud hacia aguas abajo.

Un caso, es la cuenca de la Laguna Chiquichano (Fig. 8), en la ciudad de Trelew, Patagonia, Argentina. Esta pequeña cuenca urbana en períodos de lluvia recibe las aguas del denominado Cañadón del Parque Industrial (al Oeste de la ciudad) y de pequeñas subunidades hidrológicas vecinas en zona de bardas, que delimitan un espacio geográfico de contorno o frontera claramente definido. La zona sur

de este contorno urbano divisorio, ha sido considerada en planificaciones urbanas de la ciudad como “divisoria de aguas” (Plan rector pluvial de la ciudad, Municipalidad de Trelew). Sin embargo, en una crecida extraordinaria (Abril de 1998) esta “divisoria” fue superada (quizás por única vez en la historia desde la fundación misma de la ciudad a fines del siglo XIX), para integrar su masa hídrica a una gran depresión vecina. Los derrames inundaron decenas de manzanas de urbanizaciones de alta densidad poblacional (B° Padre Juan y aledaños), con alturas de agua que en algunos sitios superaron los 2,5 metros sobre la calzada (Fig. 8).

Sistema Hidrológico Mixto: Subsistema Lagunar Encadenado

Un Subsistema Lagunar Encadenado (SHM-le), de un SHM, se compone de dos o más subsistemas cuasi-endorreicos y adyacentes. En algunos casos y condiciones, la intensidad y ubicación de una tormenta intensa y de reducido tamaño en este tipo de paisajes puede ser determinante de la conformación lagunar que se activa (Fig. 9).

En los SHM-le los excedentes hídricos suelen encadenarse siguiendo las grandes pendientes de alineamiento geológico-estructural, y converger a sistemas de orden mayor, exorreicos o endorreicos.

La Fig. 10, muestra una ventana de imagen satelital Landsat TM, compuesta, (zona de meseta al Este de Trelew), correspondiente a la tormenta de Abril de 1998. Se observa el “encadenamiento” de lagunas, en bajos y depresiones normalmente sin aguas superficiales.

Sistema Hidrológico Mixto: Subsistema Atípico

Se definen como atípicas (SHM-at), aquellas unidades hidrológicas que por sus características geomorfológicas particulares y en sinergia con la ocurrencia de eventos de pluviosidad extrema y recurrencia excepcional, producen en sus componentes lineales y por erosión severa, alteraciones físicas localizadas que modifican sustancialmente la estructura de disipación de la superficie tributaria.

En terrazas con suelos granulares friables, donde predominan formas planas y drenajes superficiales lineales de suaves ondulaciones, un evento torrencial extremo puede alterar el modelado y geometría hidráulica de su drenaje superficial.

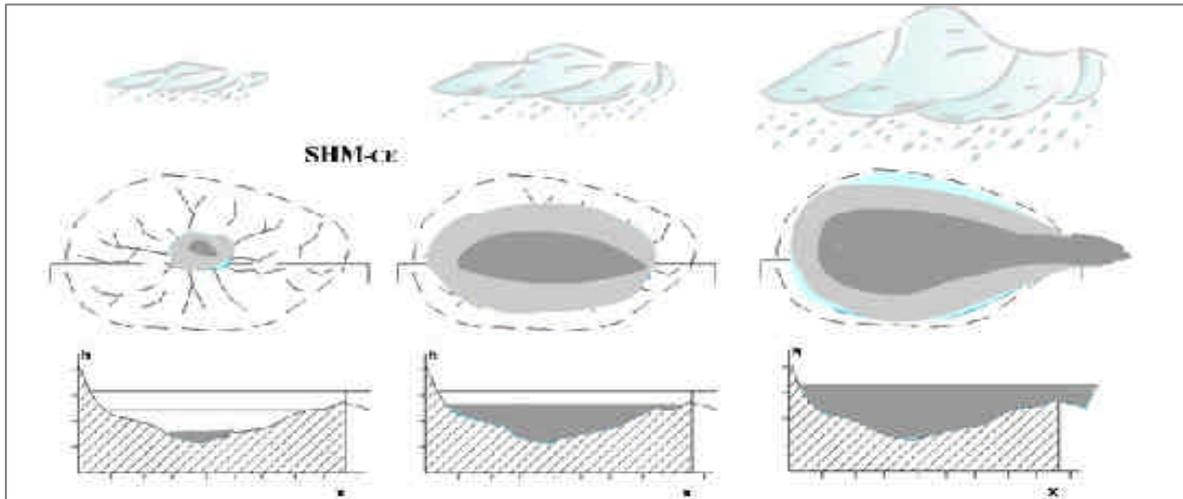


Fig. 7: Esquema de SHM-ce: períodos secos (izquierda), años húmedos (medio) e hiperhúmedos (derecha)

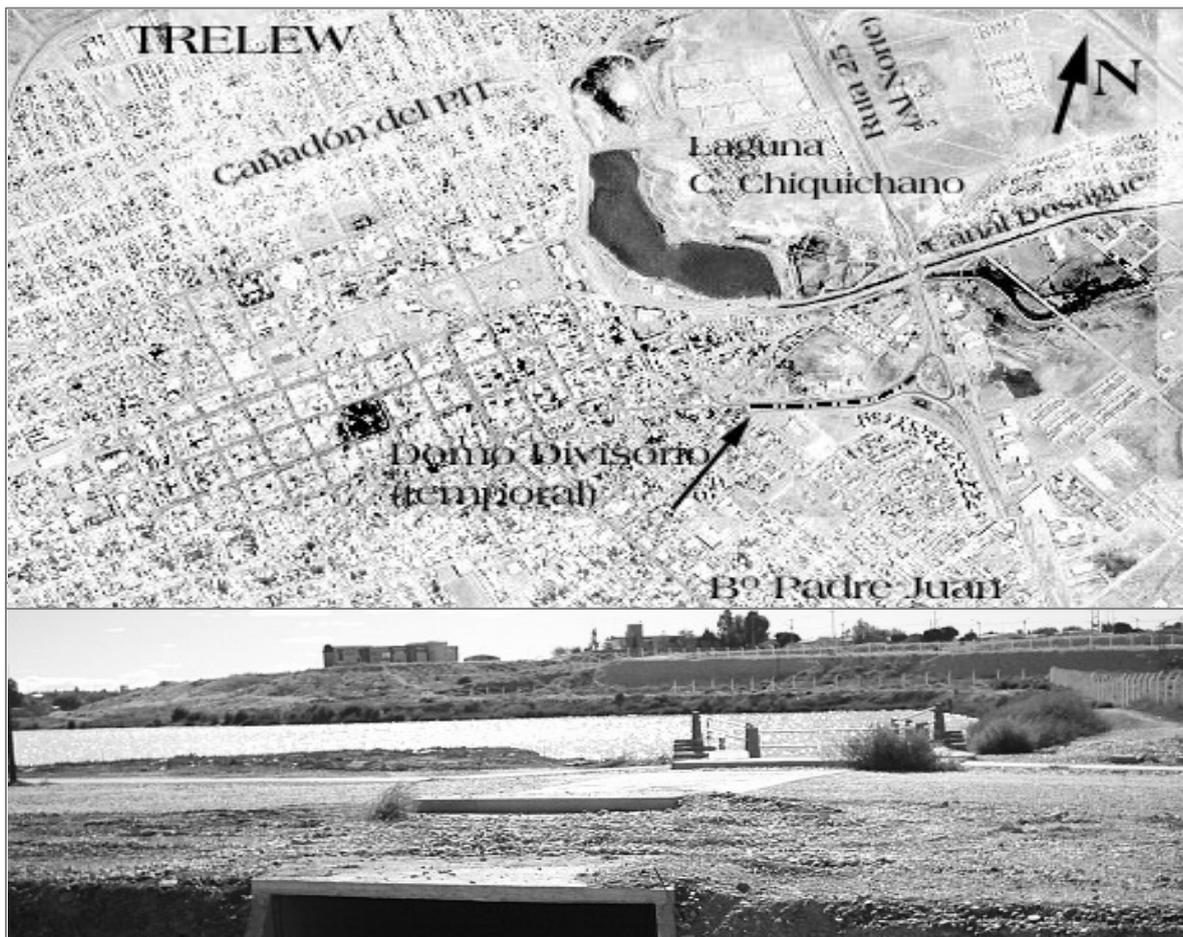


Fig. 8: Caso de SHM-ce: Trelew, Argentina, Laguna Chiquichano; vista aérea y Detalle de área urbana al Sur. Abajo, la foto desde margen Sur, muestra marcados contrastes topográficos, una marcada diferencia con relieves de llanura.

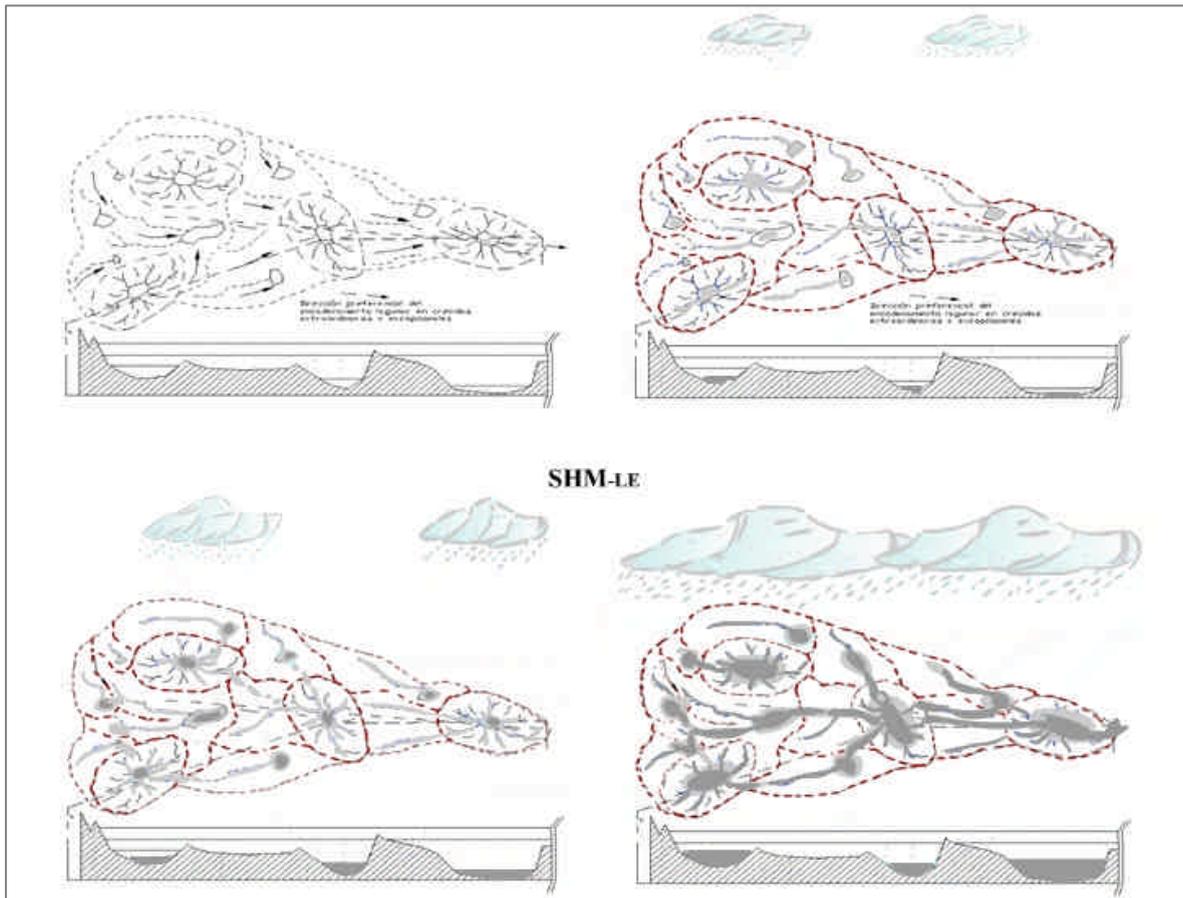


Fig. 9: Esquema de Sistema Hidrológico Mixto, Subsistema Lagunar Encadenado. (SHM-LE). Fases hidrológicas para períodos secos a húmedos e hiperhúmedos

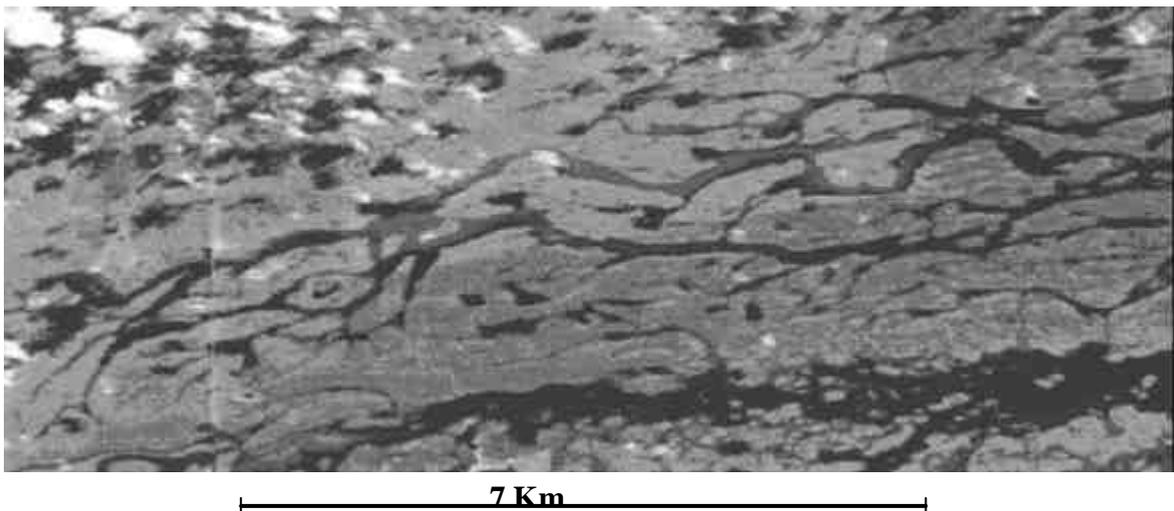


Fig. 10: Caso de Subsistema Cuasi Endorreico y Lagunar Encadenado (SHM-le), terrazas al NE de Trelew. A la izquierda, -en una débil línea vertical- muestra la Ruta Nacional Nro. 3, cortada por la corriente.

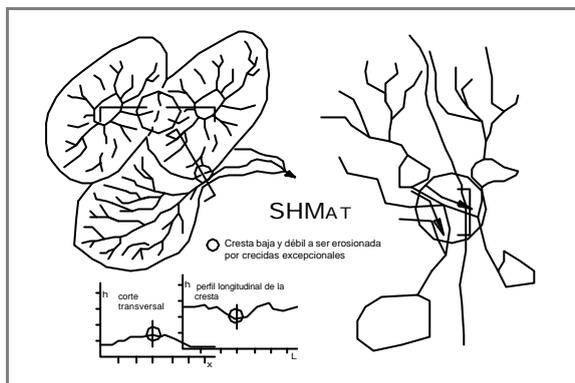


Fig. 11: Esquema de Sistema Hidrológico Mixto, Subs. Atípico (SHM-at)

Este efecto es causado por la concentración errática de un chubasco de pequeña extensión pero muy intenso y duradero (tormentas extraordinarias a excepcionales), con concentraciones torrenciales localizadas, de flujos intensos y gran potencia erosiva. Una nueva conformación hidrológica puede quedar activa a posteriori para lluvias de menor intensidad y duración, o bien desactiva y sujeta al atrofiamiento por efecto de la erosión y sedimentación eólica.

En algunos casos extremos las aguas torrenciales alcanzan una montura de la suave y débil frontera de la superficie tributaria. Si los suelos son susceptibles de ser erosionados, el torrente puede "cortar" tal divisoria, modificar su rumbo y alterar sensiblemente la estructura de la red de drenaje.

En casos, se ha comprobado el cambio del destino final de las aguas del torrente. La Fig. 11 muestra un posible esquema en planta y corte de dos SHM-ce adyacentes, con una montura en la frontera que los separa. De ser alcanzada por las aguas, la erosión puede producir cambios morfológicos como el citado en el párrafo anterior.

Un ejemplo de los diversos que se encuentran en zona de bardas de meseta, afirma este concepto. En la Figura 12 se muestra el caso de un sistema lagunar en zona de terraza, al Norte y hacia el Este de la misma ciudad de Trelew, en cercanías de la costa, con línea preferencial de flujo en dirección Oeste-Este, hacia el mar. En este sistema un conjunto de depresiones se alinea según la pendiente estructural de su relieve, con dirección principal ONO a ESE (hacia el mar), y en una longitud estimada de 30 km. En cercanías del mar y en las bardas de contacto con la terraza aluvial del Río

Chubut, el drenaje superficial durante lluvias es interrumpido por cordones litorales, que obstaculizan el desagüe final. Estos depósitos marinos se los haya dispuestos paralelos a la línea de costera en dirección Norte-Sur, a distancias de 2 Km. a 5 Km. de la costa. En el paraje "El Sombrerito" (círculo) ubicado 10 a.m. al Norte de Rawson, un cordón litoral fuerza el cambio de rumbo de las aguas que muy ocasionalmente drenan desde la meseta, torciendo su rumbo hacia el Sur, hacia la ciudad Capital, alcanzando el Río Chubut en cercanías de su desembocadura.

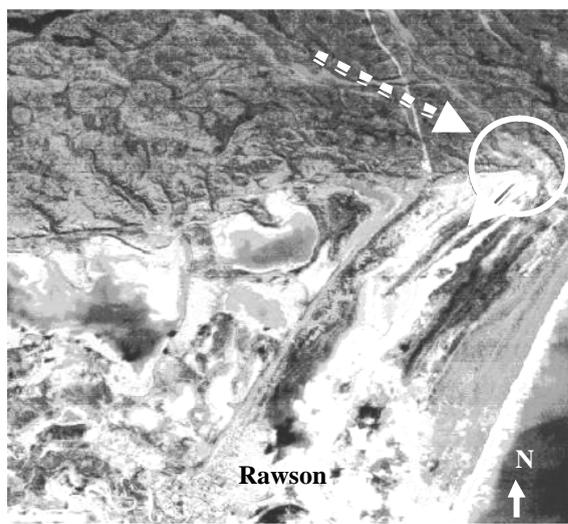


Fig. 12: Ej. Subsistema Atípico, SHM-at, composición de imagen Landsat TM, crecida extraordinaria 24/4/98: Al Norte: drenajes de depresiones lagunares en meseta y Cañadón El Sombrerito. Al Este, la costa y el Mar; Al Oeste, Laguna "El Salitral" en el final del sistema lagunar del VIRCh. Al Sur, la ciudad de Rawson y desembocadura del Río Chubut.

Sistemas Hidrológicos Mixtos-Complejos

Se entiende por sistemas hidrológicos mixtos-complejos (SHM-c) aquellas unidades hidrológicas mayores, compuestas, conformadas por combinaciones de distintos sub-sistemas o componentes hidro-geomorfológicos.

Los SHM-c identifican generalmente una envolvente tributaria mayor, donde se manifiesta la coexistencia de distintos sistemas y subsistemas, en combinación con el sesgo temporal que suma la alternancia climática por la aparición de fenómenos meteorológicos extremos localizados o generalizados. La frontera o envolvente tributaria solo se activa en eventos extremos, asociados a un período de retorno muy elevado, donde la duración

de la tormenta permite la conformación y desarrollo de los excesos superficiales en simultaneidad en toda su superficie. La Fig. 13 muestra un esquema que interpreta este concepto.

Los SHM-c son una conformación muy común en PM, generalmente tienen un alto grado de arreicismo, o en casos son arreicas. Explican la fenomenología torrencial de alternancia entre largos períodos, a veces muchos años hidrológicos sin escorrentías, y los cortos lapsos o pulsos en que se producen aluviones que drenan desde la meseta.

La Fig. 14 muestra un SHM-c al Sur de Río Chubut, en Rawson. Cuando esta unidad es activada en su integralidad por una tormenta extrema, los excesos superficiales escurren con rumbo Oeste-Este, en una sucesión divergente de trenzados lagunares que descargan finalmente por profundos cañadones y acantilados, hacia el mar.

Se asemejan a los SHT por cuanto en general tienen una envolvente tributaria definible para un punto de síntesis dado. Se diferencian en que su estructura de disipación no guarda similitud estricta de linealidad, organización y jerarquía, y en consecuencia, su punto de síntesis no guarda el principio de continuidad de las clásicas cuencas. Comúnmente, su estructura de drenaje superficial dispone de componentes “lineales, algo organizados y poco o nada jerarquizados”.

Se admite el uso del vocablo “cuenca” para referirse a los sistemas de orden mayor que conservan la propiedad fundamental de los SHT de identificar una “envolvente” de la superficie tributaria. No así para los sub-sistemas que lo componen, a los que se ha dicho se prefiere referir como Unidades Hidrológicas de Estudio (UEHs).

Los SHC se asemejan a los SHNT porque la estructura de disipación “no encauzada” es significativa, y los componentes de almacenamiento y disipación por infiltración y evaporación son importantes.

Los SHM-c se diferencian de ambos sistemas básicos, en la variabilidad temporal que pueden tener sus componentes. También por la variabilidad espacial de algunos de ellos, aunque esta última propiedad no sea común a todos los sistemas complejos.

Procesos Hidrológicos y Clasificación de Sistemas

El análisis de los procesos hidrológicos explica la clasificación dada para los SHM. Sea con el concepto clásico de sistema donde la cantidad de materia es constante, o bien de volumen de control para un volumen fijo y determinado, interesa encontrar las relaciones funcionales que transforman en espacio y tiempo al ciclo del agua en el mismo. El análisis siguiente, caracteriza los procesos hidrológicos que se dan en los componentes principales de una UEH a partir de los principios de continuidad y conservación de cantidad de movimiento.

Volumen de control en una U.E.H.

Sea una UEH dada. El volumen de control puede interpretarse encerrado por una superficie que se proyecta verticalmente a la línea imaginaria de frontera de la UEH, delimitado por dos planos horizontales, uno superior por sobre la superficie de contacto del medio físico y la atmósfera y otro plano inferior por debajo del sustrato impermeable.

De acuerdo a la ecuación de continuidad, derivada de la aplicación de la conservación de masa, para un fluido de densidad constante se tiene (Chow, 1994).

$$\frac{d}{dt} \iiint_{v.c.} dv = - \iint_{s.c.} \vec{V} \cdot d\vec{A} \quad (1)$$

(v, volumen; V, velocidad del fluido; A, Área). La tasa o velocidad de cambio de la cantidad de masa (agua) por unidad de tiempo, dentro de la UEH, es igual a la pérdida por flujo de masa (caudal de agua) que traspasa la superficie de control. De (1) se deduce la ecuación para fluidos de densidad constante y flujo impermanente, de uso común en el análisis de escurrimientos en canales y cauces naturales.

$$\frac{dS}{dt} = I_t - Q_t \quad (2)$$

El primer término expresa la variación de volumen de agua por unidad de tiempo, resultando “S” la cantidad total de agua dentro de la UEH (Volumen de control). Los dos términos a la derecha de la igualdad expresan los flujos totales de “entradas” y de “salidas” y ambos el flujo total de agua a través de la superficie de control de la UEH.

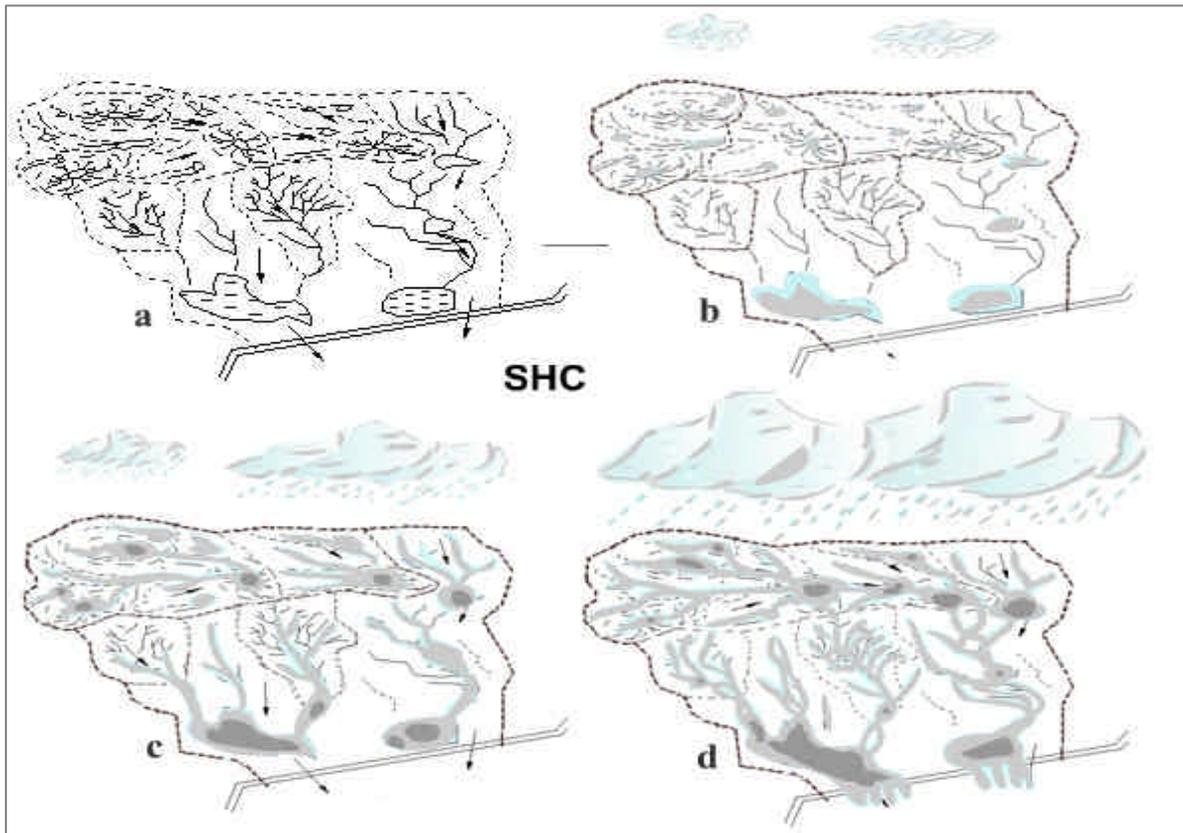


Fig. 13: Esquema de Sistema Hidrológico Complejo (SHC): a) períodos secos, b) lluvias reducidas, c) lluvias extraordinarias, d) lluvias excepcionales.

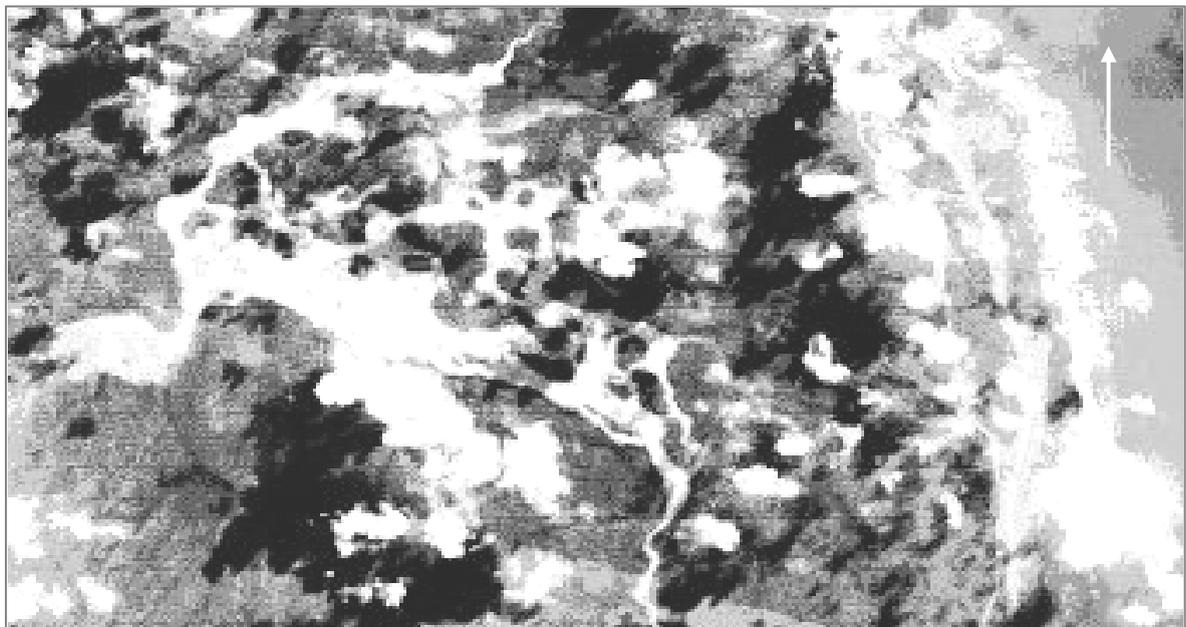


Fig. 14: Caso de Sistema Hidrológico Complejo: Cañadones en Playa Magaña, al Sur de la desembocadura del Río Chubut. Descarga al mar en crecida extraordinaria del 24/4/98.

En un SH, la ecuación (2) puede re-expresarse -en la forma de un balance hidrológico-, con las siguientes variables que representan el estado de los principales componentes de almacenamiento y flujo, y en un intervalo finito:

Formas de almacenamientos en la UEH:

$$S = S_{It} + S_a + S_{Ss} + S_{St} \quad (3)$$

- Sit, almacenamiento transitorio por Intercepción de lluvias o en la masa vegetal;
- Sa, almacenamiento superficial (cuerpos de agua -lagos y lagunas; mallines, bañados y esteros; charcos-; y en flujos encauzados y mantiformes, permanentes o temporarios);
- Sss, almacenamiento sub-superficial;
- Sst, almacenamiento subterráneo.

Flujos entrantes a la UEH:

El flujo (It) que ingresa al sistema a través de la superficie de control es principalmente por las lluvias (dP/dt, para "P" expresada en unidades de volumen). Se entiende por tal a toda forma atmosférica del agua que ingresa al sistema. Puede admitir otras formas de ingresos que deben adicionarse para componer la totalidad de los flujos entrantes:

$$I = I_{Sf} + I_{Ss} + I_{St} \quad (4)$$

- Isf, Flujo de ingresos superficiales (encauzados y mantiformes);
- Iss, Flujo de ingresos sub-superficiales;
- Ist, Flujo de ingresos subterráneos;

Flujos salientes de la UEH

$$Q = Q_E + Q_{Evt} + Q_{Fp} \quad (5)$$

El flujo saliente a través de la superficie de control (Qt), está determinado por la suma de todas las formas de flujo saliente y es una característica del proceso de transformación dentro del sistema. Generalmente, este flujo está principalmente determinado por escorrentías por caudales superficiales de agua que "salen" del sistema 'QE'. Pero también, componen el flujo saliente:

- QEvt, Flujo de Evapotranspiración,
- QFp, Flujo de Infiltración profunda (percolación), hacia capas inferiores al plano o base del V.C.

De (3), (4) y (5) la ecuación (2) se re-expresa según (6):

$$S_{It} + S_a + S_{Ss} + S_{St} = (I_{Sf} + I_{Ss} + I_{St} - Q_E - Q_{Evt} - Q_{Fp}) * \Delta t \quad (6)$$

En sentido estricto, deberían incluirse en el análisis otras formas de flujo entrante y saliente, que en sentido práctico se desprecian. También componen el almacenamiento, o flujos menores a través de la frontera, otras formas que en términos prácticos y a los fines de este análisis no se consideran.

La ecuación de momentum, que aplica el principio de conservación de la cantidad de movimiento, establece que la resultante o sumatoria de todas las fuerzas actuantes, es decir la variación de la cantidad de movimiento total respecto al tiempo, es iguala a la suma de la variación de la cantidad de movimiento respecto del tiempo en el interior del volumen de control, más el flujo o tasa de cantidad de movimiento a través de la superficie de control.

Para flujo impermanente la ecuación de momentum puede expresarse según (7) (Chow, 1994, op.cit.).

$$\sum F = \frac{d}{dt} \iiint_{V.C.} \vec{V} \cdot \vec{r} \, dv + \iint_{S.C.} \vec{V} \left(\vec{r} \cdot \vec{V} \right) dA \quad (7)$$

Si bien esta ecuación puede simplificarse para flujos más simples de flujo permanente, para este análisis el flujo es impermanente, y en su generalidad puede asumirse de densidad constante.

El flujo neto de cantidad de movimiento a través de la superficie de control de la UEH, en general, puede admitirse nulo en los planos superior e inferior (de haber percolación, este flujo de cantidad de movimiento hacia capas profundas es despreciable, o nulo si el sustrato se supone impermeable).

La superficie vertical, puede a su vez ser dividida en superficial y subterránea. En este supuesto, el flujo de cantidad de movimiento a través de la superficie de control subterránea, también es despreciable (velocidades muy bajas).

Se deduce aquí que el principio de cantidad de movimiento en el estudio de UEHs puede resultar importante de considerar solo en cauces torrenciales donde las velocidades y los cambios de velocidades

son significativos, y en los desplazamientos de grandes masas de agua con variaciones importantes de secciones y consecuentemente de velocidad. Para el análisis que sigue, carece de relevancia.

Procesos Hidrológicos en un SHT

En un SHT o cuenca, el volumen de control surge de proyectar en vertical la divisoria de aguas. Este volumen de control, puede ser subdividido en dos partes claramente identificadas: una porción de espacio superficial-atmosférica y una porción de espacio subterránea. Las variables de almacenamiento, entradas y salidas para la ecuación de continuidad tienen las siguientes características:

- S_t : Puede ser de magnitud importante en cuencas de vegetación densa, pero en PMP su valor es muy reducido.
- S_a : almacenamiento superficial (cuerpos de agua -lagos y lagunas; mallines, bañados y esteros; charcos-; y en flujos encauzados y mantiformes, permanentes o temporarios). Este valor decrece con la mayor pendiente de cauces y faldeos. En PMP suele alcanzar valores importantes, por sus depresiones y sus extensos planos.
- S_{ss} : Su importancia depende de las características particulares de los suelos superficiales. En general, para PMP asume valores muy reducidos. Se lo analiza integrado al flujo subterráneo.
- S_{st} : es muy variable de una UEH a otra. Es uno de los parámetros de mayor sensibilidad para el ajuste de un modelo de simulación.

En general para PMP, los suelos de la capa superior son mantos potentes de suelos granulares, con gran capacidad de retención de agua de infiltración. Estos mantos pueden tener matriz arcillosa o lentes de arcillas superficiales o intermedios que reducen sensiblemente la infiltración de las aguas superficiales.

El flujo que ingresa (I_t), es principalmente por precipitación (dP/dt , para "P" expresada en unidades de volumen), siendo reducidos a despreciables las otras formas de ingresos a la cuenca. En sentido estricto cabría adicionar flujos del subálveo si la divisoria de aguas superficiales no coincide con la divisoria de aguas subterráneas.

El flujo saliente a través de la superficie de control (Q_t), está determinado principalmente por flujos superficiales y subterráneos (Q_e , escorrentías).

El flujo de salidas por evapotranspiración puede ser importante en períodos de análisis prolongados, pero no es significativo en períodos cortos o para una tormenta.

El flujo de salidas por infiltración profunda debe ser analizado para cada caso en particular. En PMP este valor puede ser significativo, dependiendo de las características geológicas del substrato.

Procesos Hidrológicos en un SHNT

En un SHNT (en llanuras), la aplicación del concepto de divisoria de aguas es inapropiado por cuanto esta envolvente es difusa, errática, y generalmente indeterminada. Puede suponerse un volumen de control proyectando en vertical una región o frontera de análisis, acotada entre dos planos paralelos superior (atmosférico) e inferior (substrato impermeable bajo napas). Se interpreta aquí que la línea de frontera que proyecta al volumen de control asume para el trazado preferentemente los siguientes criterios y características:

- Diferenciar unidades hidrológicas de distintas características morfo-hidrológicas;
- La transferencia de flujos superficiales en manto -no encauzados- a través de esta frontera es reducida a nula en períodos de lluvias ordinarias a extraordinarias; se acepta la posibilidad de transferencia mantiforme de flujo en crecidas extraordinarias a excepcionales;
- Generalmente, es trazada con auxilio de planos geomorfológicos y topográficos, y el auxilio de fotointerpretación e interpretación satelital;

La transformación en tiempo y espacio del agua en el ciclo hidrológico tiene marcadas diferencias con el caso anterior, ya que la producción de excedentes de escorrentía es significativamente menor, y en ciertos casos puede resultar muy reducida o nula. Las pérdidas del sistema se dan principalmente por flujos de evapotranspiración y se destaca la gran amplitud y variabilidad de sus componentes de almacenamiento. Las variables de entradas, almacenamiento y salidas para la ecuación de continuidad, por definición, asumen las siguientes características:

- El almacenamiento por Intercepción de lluvias o de retención transitoria en la masa vegetal es de magnitud importante en UEHs de vegetación densa, pero no en el caso más general de PMP, de valor muy reducido.

- El almacenamiento superficial y el almacenamiento subterráneo son una característica de estos ambientes, con gran capacidad y variabilidad temporal estacional e interanual.

El flujo que ingresa (It) es principalmente por precipitación. Pero debe también considerarse las otras formas importantes de ingresos a la UEH, por flujo superficial, subsuperficial o subterráneo, dependiendo de cada situación en particular y del trazado de la frontera del volumen de control.

El flujo saliente a través de la superficie de control (Qt), es reducido y pueden existir flujos subterráneos de importancia si las características de su perfil geológico permiten fugas por percolación.

El flujo por evado-transpiración constituye la salida principal del sistema. Si este es cerrado y no admite salidas por percolación, se asume que las pérdidas son únicamente atmosféricas.

Por ello, estos sistemas se caracterizan por su fuerte variabilidad temporal y espacial, según el régimen, estacionalidad e inter-anualidad de las lluvias. En términos del balance de energía producida por las lluvias, en períodos cortos y húmedos donde las salidas atmosféricas son reducidas la “inundación” (almacenamiento superficial) resulta una respuesta natural del paisaje. La única forma posible, puesto que otras formas de transferencia o disipación energética no son posibles (escorrentías, erosión).

Procesos Hidrológicos en PM

Los diferentes tipos de flujos de entradas y salidas y las variaciones temporales de almacenamiento, en los sistemas hidrológicos mixtos y sus variantes, tienen características variables e intermedias en función de las propiedades que los definen.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Teniendo presente el marco conceptual expuesto y el análisis efectuado para SHT, SHNT y SHM, en la Tabla 1 del Apéndice se muestra una clasificación de los Sistemas y Subsistemas Hidrológicos Mixtos, y las características que los definen. Se incluyen aquí la verificación de las propiedades dadas por Fertnani (1978, op. cit.) y Caamaño et al (1979, op.cit.).

La Tabla 2 del Apéndice, muestra los sistemas en relación a los procesos hidrológicos, en ambientes

torrenciales de PM, para la región patagónica (PMP), que fortalecen la interpretación conceptual de semejanzas y diferencias de las clasificaciones dadas.

La fenomenología torrencial y el estudio de máximas crecidas en un SH adquieren complejidad por la cantidad de variables que intervienen en su análisis. En PM, la cualidad temporal del contorno o frontera tributaria introduce una complejidad mayor, necesarios para una mejor resolución de problemas usuales de gestión de uso y control del agua.

Este concepto temporal, es importante en mesetas, particularmente en un ambiente de aridez, donde el módulo pluviométrico es reducido y las lloviznas y lluvias son generalmente de baja intensidad, con chubascos intensos pero cortos y aislados o de escaso desarrollo. Estas características de años hidrológicos “normales a extraordinarios”, contrastan fuertemente con la ocurrencia “extraordinaria a excepcional” de eventos meteorológicos localizados o generalizados con lluvias de “mediana o alta intensidad” y “larga duración”, causantes de crecidas torrenciales “cortas pero intensas”.

Por caso, en un estudio de caudal máximo, es muy diferente el área de aportes hídrico a considerar según sea el objeto. En efecto, si se trata de un problema como por ejemplo el diseño de la mayoría de alcantarillas, vados y pequeños puentes en caminos secundarios, u otros donde se requieran recurrencias de diseño reducidas, el área tributaria a considerar será en concordancia con la intensidad y duración de la tormenta que lo genera. Lo contrario, sería sostener el sobre-dimensionamiento de las obras.

Otro criterio muy distinto resultará si trata de planificar el desarrollo urbano; u obras hídricas de envergadura. Requieren caudales de diseño de retornos mayores y asociados a eventos extraordinarios o excepcionales, para cuya estimación se requerirá conocer el área tributaria mayor y la tormenta que lo genera.

Se plantea aquí el dilema de ocupar con infraestructura urbana áreas de reducido o nulo riesgo hidrológico para tormentas “ordinarias” (supuestamente no inundables), pero que son altamente vulnerables a inundaciones de enorme magnitud catastróficas en tormentas “extraordinarias a excepcionales”. El riesgo de inundación es

entonces muy alto, pero habría sido incorrectamente valorado. Un paradigma de este dilema es el caso que mostró la ciudad de Trelew durante la tormenta y emergencia hídrica de Abril de 1998.

CONCLUSIONES

El estudio hidrológico en un paisaje de meseta adquiere particularidades que lo distinguen entre los dos sistemas extremos, típicos en montañas y no típicos en llanuras. Las clasificaciones y subclasificaciones propuestas para los subsistemas hidrológicos mixtos permiten abordar el trazado hidrológico de fronteras y área tributaria en PM desde una perspectiva distinta a los métodos convencionales de la Hidrología de Cuencas (usualmente topográficos). La diferencia sustancial con llanuras es el marcado relieve, que puede confundir el trazado topográfico de falsas “divisorias de aguas” en líneas de cresta.

El análisis efectuado, muestra que para el estudio de crecidas máximas en PM (particularmente en unidades hidrológicas con escasez de datos hidrométricos), deberá realizarse un detallado análisis geomorfológico e hidrológico previo al cálculo, que permita clasificar y caracterizar las unidades hidrológicas que intervienen. De tratarse de SHM, la divisoria de aguas puede no resultar propia de un SHT. El trazado de la frontera tributaria admite en tal caso particularidades propias de la conformación geomorfo-hidrológica, con movilidad espacial y temporal conforme sea el régimen de precipitaciones de la región.

El área tributaria en PM sugiere una alta relación con la ubicación, duración e intensidad de la tormenta, y en consecuencia de su recurrencia o retorno. Trabajos futuros con modelos hidrológicos distribuidos, físicamente basados en modelo digital del terreno (MDT), pueden confirmar esta hipótesis surgida de la interpretación de fotografías aéreas e imágenes satelitales.

LISTA DE SIMBOLOS

CONAE, Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales, Argentina.
ESE, Este Sur Este
ONO, Oeste Nor Oeste
PIT, Parque Industrial de Trelew, Pcia. del Chubut.

PM, Paisaje de Meseta.
PMP, Paisaje de Meseta Patagónica.
SH, Sistema Hidrológico
SHC, Sistema Hidrológico Complejo.
SHM, Sistema Hidrológico Mixto.
SHM-at, Sistema Hidrológico Mixto, atípico.
SHM-ce, Sistema Hidrológico Mixto, cuasi endorreico.
SHM-le, Sistema Hidrológico Mixto, lagunar encadenado.
SHM-nt, Sistema Hidrológico Mixto-No Típico.
SHM-t, Sistema Hidrológico Mixto-Típico.
SHT, Sistema Hidrológico Típico.
UEH, Unidad de Estudio Hidrológico.
UNPSJB, Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, Chubut, Argentina.
VIRCh, Valle Inferior del Río Chubut (Patagonia, Argentina).

REFERENCIAS

- Bertoni, J. C., Ambrosino, S., Daniele, A., Maza, J.A., Paoli, C. U. y Serra, J. 2004. Inundaciones urbanas en la Argentina. 1ra. edn. Universitas, U.N. Córdoba, Córdoba, Argentina.
- Bertoni, J.C. 2006. Inondations Urbaines En Amérique Latine: Réflexions Sur Le Rôle Des Facteurs De Risque. *Frontiers In Flood Research. Le Point De La Recherche Sur Le Crues*, (305)-123-141.
- Caamaño Nelli, G., Fertonani, M., Prendes, H. y Quinodoz, H. 1979. Análisis de sistemas hidrológicos no típicos – Bases teóricas y criterios metodológicos, U.N. Litoral, Santa Fé, Argentina.
- Calver A. and Anderson M. G. 2004, Conceptual framework for the persistence of flood-initiated geomorphological features, *Transactions of the Institute of British Geographers*, Volume 29 Issue 1 Page 129, doi:10.1111/j.0020 -2754.2004.00118x.
- Chachero M. J. 1998. Actualización de las ecuaciones de tormentas en el Valle Inferior del Río Chubut. SCyT, UNPSJB cd-dich, PI 194-IA/1998b.
- Chow, V.T., Maidment D.R. y Mays, L.W. 1994. Hidrología Aplicada, Bogotá, Colombia: Ed.: Mc Graw-Hill Interamericana S.A., ISBN: 958-600-171-7.
- Chow, Ven T. 1989, Manual de Hidrología Aplicada, Ed. Mc Graw-Hill.
- Fertonani, M. E. 1978. Lineamientos básicos para el desarrollo de la investigación hidrológica en áreas

de llanura: aspectos conceptuales y problemática. En: Informe Centro Regional Litoral, Instituto Nacional de Ciencia y Técnica Hídrica (INCYTH), Santa Fé, Argentina.

Hughes W. M.. 1926. A Orillas del Río Chubut. Ed. El Regional. Chubut, Argentina:.

Pouey, N. y Portapila M. 1999. An environmental impact assessment matrix model for embankments in flatland landscapes, Journal of Environmental Hydrology, Hydrology. Volume 7 Paper 11.

Serra, J., Sainz Trápaga J., Greco W. y Malnero H. 1998. La seguridad en las obras hidráulicas de control de crecidas en cuencos aluvionales urbanos del Valle Inferior del Río Chubut y Puerto Madryn. Chubut, Argentina. Cd-dich, PI 194-IA/1998c.

Serra, J. 1999. Riesgo de Erosión Hídrica en el Cuenco Aluvional del Area Dique Ameghino y Boca Toma, Valle Inferior del Río Chubut. Cuadernos del CURIHAM, UNESCO, PHI, ISSN No. 1514-2906, Rosario, Argentina, 5, (2), 67-88.

Serra, J., Malnero, H., Kaless, G., Chachero, M.J., 2002, Catálogo de Informes, Documentos y Publicaciones de Ciencia y Técnica 1994-2002. UNPSJB, Ed: cd-dich, ISBN 950-763-052-X.

Serra J. 2003; Metodología integrada de estimación de crecidas en ambientes torrenciales típicos de áreas de meseta en la región semiárida Patagónica. En: tesis de Magíster en Recursos Hídricos en Zona de Llanura; Fac. de Ciencias Exactas, Ing. y Agr., U. N. de Rosario, Argentina.

APÉNDICE

Sistema	UEH o Subsistema	Punto de Síntesis	Envolvente	Movilidad de la envolvente		Red Drenaje		
				Espacial	Temporal	Linealidad	Organización	Jerarquía
Sistemas Hidrológicos Básicos (Fertonani, (1978); Caamaño et al, 1979) :								
Típico (SHT)		Puntual de Continuidad	Sí	No	No	Si	Si	Si
No Típico (SHNT)		No Puntual o Areal discontinuo	No	Si	Si	No	No	No
Sistemas Mixtos y Complejos en Terrazas (Serra, 2003):								
Mixto (SHM)	Típico-No Típico (t)	Puntual de Cuasi-Continuidad	Si	No	No	Si/No	Si/No	Si/No
	No Típico-Típico (nt)	No Puntual o Areal discontinuo	No	Si	Si	No/Si	No/Si	No/Si
	Cuasi-Endorreico (ce)	Areal Unico	Si	No	Si ó No	Si	Si ó No	No
	Lagunar Encadenado (le)	Areal Múltiple	Si ó No		Si	Si ó No	No	No
	Atípico (at)	Temporal Indeterminado	Si ó No	Si	Si	Si ó No	Si ó No	No
Complejos (SHC)		Singular	Si	No ó Si	Si	Si ó No	No	No

Tabla 1: Clasificación de los Sistemas Hidrológicos Mixtos. Subsistemas. Características que los definen

Sistema	UEH o Subsistema	Flujos de Ingresos				Variaciones temporales de Almacenamiento (dS/dt)				Flujos de Egresos		
		$I_p = \frac{dP}{dt}$	I_{sf}	I_{ss}	I_{st}	S_{It}	S_A	S_{Ss}	S_{St}	Q_{Es}	Q_{Ev}	Q_{Fp}
Típico (SHT)	---	Si		x	X	X	X XX	x	X	XXX	X	x X
No Típico (SHNT)	---	Si	X XX	x X	x X	X	XXX	X	X XX	x X	XXX	x X
Mixto (SHM)	Típico- (SHM-t)	Si		x	X	X	X XXX	x	X XX	XX	XX	x X
	No Típico (SHM-nt)	Si	X XX	x X	x X	X	XX XXX	X	X XX	X	XXX	x X
	Cuasi-Endorreico (SHM-ce)	Si	x	x	x	X	XXX	X	XX	x	XX	x X
	Lagunar Encadenado (SHM-le)	Si	x	x	x	X	XXX	X	XX	X XX	XX	x X
	Atípico (SHM-at)	Si	X XX	x X	x X	X	X XX	x	X	X XXX	X	x X
Complejos (SHC)	(SHC)	Si	XX	x X	x X	X	X XXX	x X	X XX	x XXX	X XXX	x X
Referencias:												
P_p	Flujo de Precipitaciones (en todas su formas)											
I_{sf}	Flujo de ingresos superficiales (encausados y mantiformes)											
I_{ss}	Flujo de ingresos sub-superficiales											
I_{st}	Flujo de ingresos subterráneos											
S_{It}	Almacenamiento por Intercepción de lluvias o en la masa vegetal (transitorio)											
S_A	Almacenamiento superficial (cuerpos de agua -lagos y lagunas; mallines, bañados y esteros; charcos-; y en flujos encausados y mantiformes, permanentes o temporarios)											
S_{Ss}	Almacenamiento sub-superficial											
S_{St}	Almacenamiento subterráneo, en acuíferos libres y confinados											
Q_{Es}	Flujo por escorrentías superficial, subsuperficial, subterránea; encauzado o mantiforme											
Q_{Ev}	Flujo de Evapotranspiración											
Q_{Fp}	Flujo de Infiltración profunda (percolación), hacia capas inferiores al plano o base del volumen de control (V.C.)											
Otras referencias:												
	Nulo / no corresponde											
x	Nulo o Mínimo											
X	Reducido											
XX	Importante											
XXX	Principal / Muy Importante											

Tabla 2: Sistemas y procesos hidrológicos en ambientes torrenciales y paisaje de meseta, región patagónica (PMP): cuadro comparativo de semejanzas y diferencias