

# **INFLUENCIA DEL SISTEMA GEOMORFOLOGICO EN LAS CRECIENTES E INUNDACIONES DEL NORDESTE ARGENTINO**<sup>1 2</sup> 2° Parte

† Ing. Dr. Eliseo Popolizio

## **III- LOS TIPOS DE CRECIENTES E INUNDACIONES EN EL NORDESTE ARGENTINO Y SUS CONDICIONANTES GEOMORFOLOGICOS**

A continuación transcribiremos el texto de un trabajo anterior, donde hemos sintetizado los principales factores geomorfológicos que controlan el escurrimiento en el nordeste argentino.

En la **Figura 8** podemos observar los límites de las grandes unidades geomorfológicas del NEA y en la **Figura 9**, los sistemas hídricos, resultado de numerosos trabajos anteriores, que nos permite observar que si bien no hay concordancia total, la coincidencia es muy elevada, lo que explica el fuerte efecto de control que aquéllas tienen sobre el escurrimiento.

### **III.1 - LAS CRECIENTES EN LOS GRANDES VALLES FLUVIALES**

Como ya hemos dicho, el comportamiento de estos cursos depende fundamentalmente de lo que ocurre en áreas extra territoriales y uno de los principales problemas es que los caudales pueden ingresar en diferentes momentos y dar efectos de superposición de crecientes.

Para poder captar la magnitud de las mismas, se puede tomar como referencia los cálculos realizados para estimar la máxima creciente probable en Yacyretá y diseñar sus vertederos: 95.000m/seg., lo cual representa casi el doble de lo que escurrió frente a Corrientes este año.

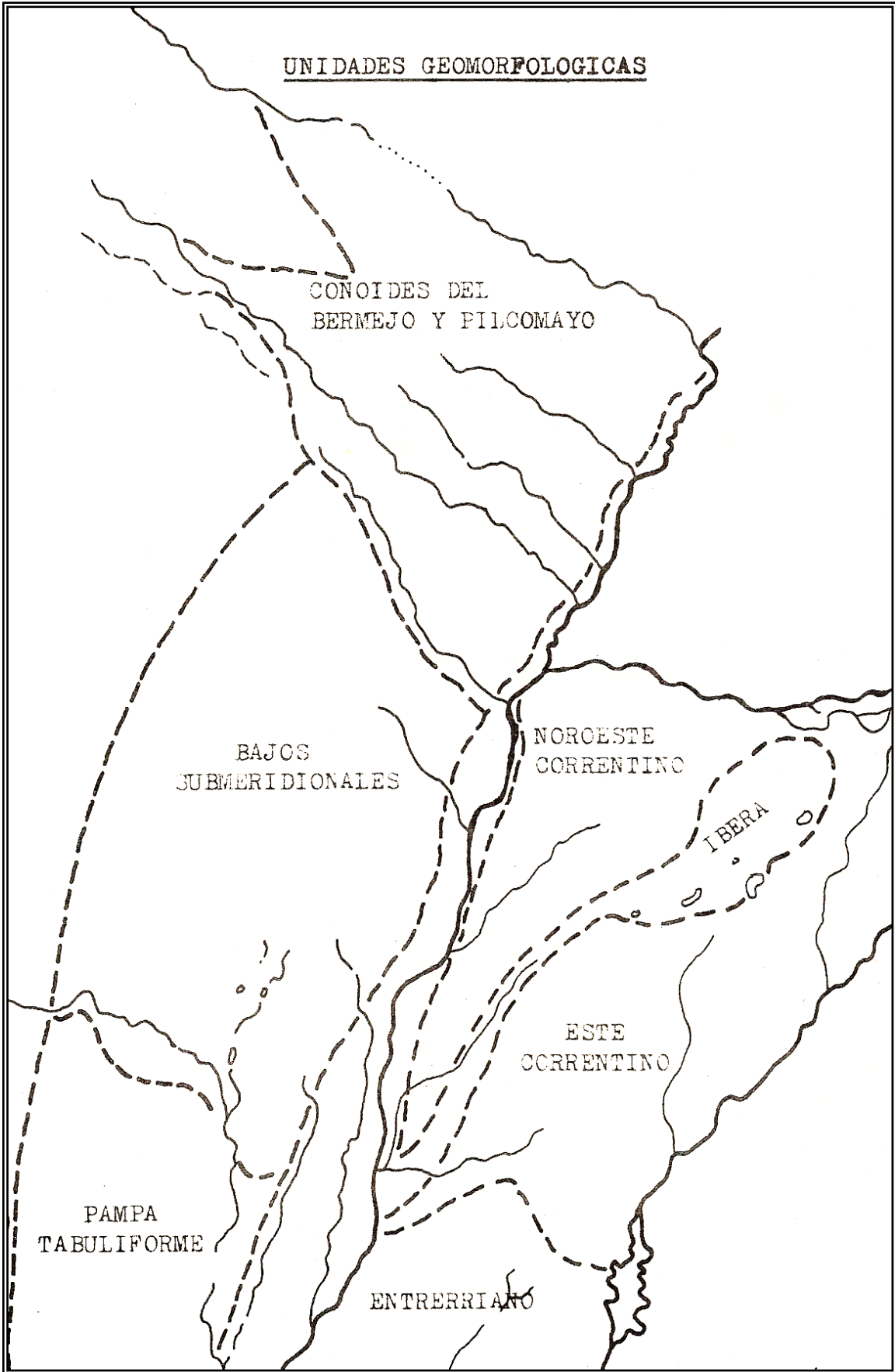
Con relación a los grandes cursos fluviales conviene destacar el verdadero problema, que reside en los enormes volúmenes que ingresan, ya que la velocidad del escurrimiento no es muy elevada, al igual que la correspondiente a la propagación de las ondas o "picos" de crecientes.

Por consiguiente, a diferencia de lo que ocurre con los torrentes, hay suficiente tiempo para tomar medidas de protección de las poblaciones, desde el momento en que se produce el ingreso al territorio nacional, especialmente si se tienen datos de las altas cuencas.

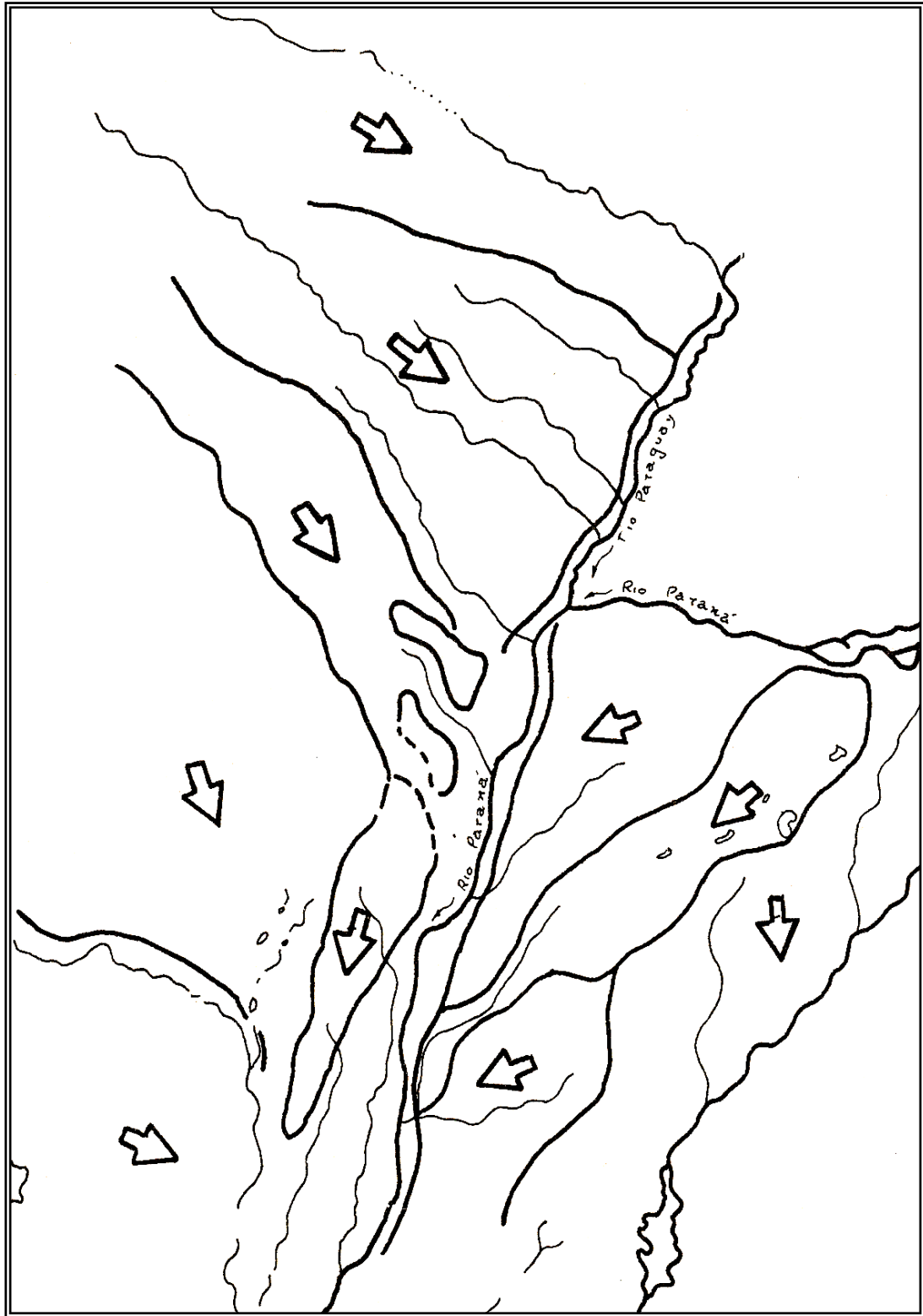
---

<sup>1</sup> Publicado en Anales del Seminario Latinoamericano de Recursos Hídricos. "Las inundaciones en el Cono Sur". I.W.R.A.; Tema 2 2a.. Buenos Aires. 1.986.

<sup>2</sup> Revista Geociencias XIV, Centro de Geociencias Aplicadas, U.N.N.E., pp. 3 - 33, Resistencia.



**Figura 8**



**Figura 9 - Sistemas Hídricos**

Desde el punto de vista morfológico, interesa destacar que esos valores tan altos que arrojan los estudios de crecientes maximizadas o de recurrencia muy alta, por ejemplo decamilenaria, no son exageraciones y

probablemente sean un poco menores que los máximos maximorum que labraron los límites de los valles.

En efecto, estos valles fluviales fueron originados por los cursos que corren dentro de ellos y por lo tanto, son áreas que les pertenecen y son imprescindibles para que cumplan eficientemente su función de transporte (tal como lo mencionamos antes) frente a cualquier modificación de los parámetros externos.

Pero los estados posibles parecen no constituir un conjunto homogéneo, lo cual debería ser tenido en cuenta en los cálculos estadísticos y por el contrario, se agrupan en subconjuntos o clases que dejan una cierta impronta en la morfología fluvial.

Un primer subconjunto se corresponde a los estiajes, razón por la cual el canal o canales en los cuales se confinan las aguas en estos estados, definidos como de estiaje y pueden reconocerse con mucha facilidad..

El modelo que presentan puede ser meándrico libre (Paraguay), meándrico semi controlado (Uruguay) y anastomosado (Paraná) o deltaico (Paraná inferior).

Cuando existe un sólo canal, éste se desplaza con radios de curvatura cerrados y deja a ambos lados un nivel de terraza que designamos como Too, formado por espiras meándricas, como puede apreciarse en el río Paraguay.

Se forma así una planicie de estiaje limitada por albardones cubiertos por vegetación adaptada a las condiciones de frecuente anegabilidad.

Cuando existen dos ó más canales, ellos se acercan y separan y con el tiempo, se alternan en lo referente a la condición de **principal** o más profundo, lo que a veces crea problemas con los límites interprovinciales.

En este caso la planicie de estiaje es mucho más amplia y compleja, presentando numerosas islas móviles. Frecuentemente el término río se asocia casi exclusivamente con esta morfología, ya que en efecto es la posición y estado más probable pero de ninguna manera el único.

Cuando los caudales y alturas superan el nivel de los albardones, las aguas se desbordan inundando un área mayor dentro de la cual el curso puede cambiar de posición a lo largo de su evolución y por consiguiente ese sector aparece cubierto por formas de planicies de estiaje abandonadas, tales como meandros, espiras, islas, etc.

Pero la dinámica fluvial determina un máximo de oscilación de los canales con relación al eje medio y por consiguiente a parece una faja frecuentemente llamada meándrica, pero que puede tener modelo trenzado o laberíntico y constituye la planicie de divagación ordinaria.

El límite de este nivel está formado por sectores de albardones formados en distintas etapas, que dan lugar a los diques marginales y casi todos los años el agua se explaya entre ellos.

Para niveles más altos, las aguas sobrepasan los diques marginales y cubren un área que puede ser muy extensa y compleja, periódicamente

inundable conocida como back swamp .

Se caracteriza por gran impedimento de drenaje y presenta ambientes de pantanos, esteros, cañadas y lagunas conectadas entre sí, en un modelo laberíntico y también cursos que corren paralelos al principal por largos trechos, es decir del tipo Yazoo, que en el valle del Paraná se denominan Miní y se corresponden a los sectores terminales de muchos afluentes del curso principal.

Este sector, que puede llegar a tener varios Kilómetros de ancho, constituye la planicie ordinaria y cumple una importante función no sólo en la dinámica fluvial sino también en el equilibrio biológico del ecosistema, lo denominamos To.

La alteración u obstrucción de este sector por obras humanas, especialmente por terraplenes viales, constituye una verdadera agresión a la naturaleza y deben estudiarse de manera muy detallada para no crear serios problemas en el escurrimiento.

El límite de la planicie ordinaria se detecta con suficiente facilidad en las fotografías aéreas y en campaña, por un escarpe de erosión que la separa de las verdaderas terrazas y el consiguiente cambio en la vegetación que las cubre.

En el área que estamos considerando, las terrazas fluviales son dos y pueden reconocerse por su aspecto casi plano y vegetación que indica una tendencia a la colonización por las especies del área externa a los valles.

La primera y más baja se corresponde a crecientes extraordinarias y por consiguiente forman la planicie del mismo nombre. (Barranqueras y Goya están en ese nivel).

La segunda tampoco está libre de las crecientes excepcionales, pero como ellas se producen con recurrencia de muchos años, con frecuencia son ocupadas por el hombre y en algunos casos con grandes áreas urbanas como ocurre con la ciudad de Resistencia y tantas otras.

Resumiendo, las inundaciones de extensas zonas urbanas a lo largo de los grandes cursos tienen una sola causa y es el emplazamiento de las mismas en la planicie fluvial y su progresiva expansión hacia niveles cada vez más bajos.

Queremos recordar que en 1812 (VASALLO, M.) se registró una crecienete excepcional mucho mayor que la actual, que superó ampliamente el nivel alcanzado por las aguas en Resistencia en esta inundación, de manera que si se produjera de nuevo, prácticamente el 100% del área urbana quedaría bajo el nivel de las aguas, lo que ocurriría con mayor razón si se produce la maximizada con valores de 95.000 m/seg. en Yacyretá.

Finalmente debemos mencionar que en condiciones de crecientes extraordinarios y excepcionales, los cursos afluentes sufren un efecto de remanso que eleva su nivel e impide el libre escurrimiento de las aguas, lo cual puede ocurrir en coincidencia con sus propias crecientes, lo que convierte la situación en un verdadero desastre.

### **III.2 - CONOIDES ALUVIALES DEL BERMEJO-PILCOMAYO**

El área se caracteriza por la presencia de valles fluviales abandonados y originados bajo condiciones morfoclimáticas diferentes de las actuales, más secas y frías.

Los paleo valles se disponen en forma de abanicos, es decir con modelo divergente, que entran en contacto entre sí llegando a formar una verdadera maraña..

Desde el punto de vista de las inundaciones, merece destacarse que esos paleo valles se caracterizan por la presencia de derrames laterales (a veces mal denominados albardones) muy amplios, que sobresalen de las planicies.

Por lo expuesto las divisorias de aguas están sobre dichos derrames y corren más o menos paralelas, terminando por encerrar sectores de planicies que se convierten de esta manera en cuencas cerradas, que muy difícilmente llegan a conectarse con el escurrimiento fluvial.

En realidad, en las depresiones embutidas entre los derrames, se desarrolla una red incipiente que por sectores se integra a la fluvial, siendo este proceso más manifiesto cuanto más al este, a causa de la generación de neo redes que están progresando hacia el oeste.

Los paleo valles normalmente no funcionan con escurrimiento fluvial permanente, salvo en el sector este y por lo común solamente lo hacen esporádica o excepcionalmente, razón por la cual se los conoce en la zona como "ríos muertos".

La cobertura vegetal está muy condicionada por la morfología; los bosques altos están sobre los derrames y las sabanas, pastizales y pajonales en las planicies embutidas. De la misma forma la agricultura se corresponde con los primeros y la ganadería con las segundas,

Hacia el oeste la actividad agrícola progresó a partir de los paleo valles, lo que facilita su reconocimiento y además el paleo modelo se integra progresivamente a una morfología eólica antigua y el bosque termina por extenderse masivamente.

Hacia el este, las planicies embutidas se vuelven cada vez más dominantes en el paisaje y sustentan ambientes de cañadas y esteros de gran extensión.

Durante los años de grandes precipitaciones, como consecuencia de las bajísimas pendientes, de las dificultades de integración e ineficiencia de las redes, las depresiones se inundan totalmente, emergiendo únicamente los paleo derrames.

Las aguas se desplazan lentamente y por consiguiente, se expanden y ocupan áreas muy extensas, en tanto que los paleo valles se reactivan y escurren como verdaderos ríos, llegando a desbordar e ingresar a las planicies.

Como puede observarse, el escurrimiento no tiene nada de conven-

cional, ni en sus características hidrodinámicas ni en el modelo de cuenca o de red.

Existen otros factores que influyen para dificultar el escurrimiento y agravar los efectos de la inundación. Entre ellos podemos mencionar en primer lugar, a la vegetación de gramíneas que actúan como un verdadero "peine" que produce una gran disipación de energía y actúa como un equivalente biológico de la rugosidad del suelo.

En segundo lugar, los suelos de las planicies tiene una bajísima capacidad de infiltración, de manera que prácticamente toda la precipitación se convierte en escurrimiento superficial, dando lugar a enormes volúmenes de agua que en gran parte sólo serán retirados por evaporación.

En tercer lugar, a causa de la complejidad de los procesos morfogenéticas y a la morfología pseudokárstica, existen umbrales entre las depresiones, de manera que únicamente a partir de ciertos niveles se produce la evacuación de las aguas al establecerse la integración de la red.

Por ello, cuando descienden las aguas, a partir de un cierto punto se corta el escurrimiento permaneciendo inundadas las depresiones hasta que la evaporación consiga secarlas.

En cuarto lugar, las vías de comunicación cuando atraviesan transversalmente el relieve mencionado, actúan como verdaderos diques, especialmente porque las obras de arte (alcantarillas y puentes) son escasas, con luces insuficientes y con frecuencia mal emplazadas.

En quinto lugar, la población rural, una vez que pasan las inundaciones, no cuida los canales ni los cursos naturales, siendo frecuente que ellos se obturen o sean bloqueados por embalses construidos de manera muy precaria.

Para concluir, el análisis de este sector, debemos mencionar que los dos cursos principales, Bermejo y Pilcomayo, cuyo régimen es alóctono, cuando aumentan sus caudales de manera muy significativa, pueden superar sus propios derrames ingresando en los paleo valles que labraron en otros períodos.

Cuando esto ocurre, superpuesto a inundaciones pluviales, la situación adquiere características de verdadero desastre, produciéndose transfluencias de las aguas de una cuenca a otra, en función de los niveles alcanzados en cada una y de la/ mayor o menor facilidad de evacuación.

### **III.3 - BAJOS SUBMERIDIONALES DE CHACO Y SANTA FE**

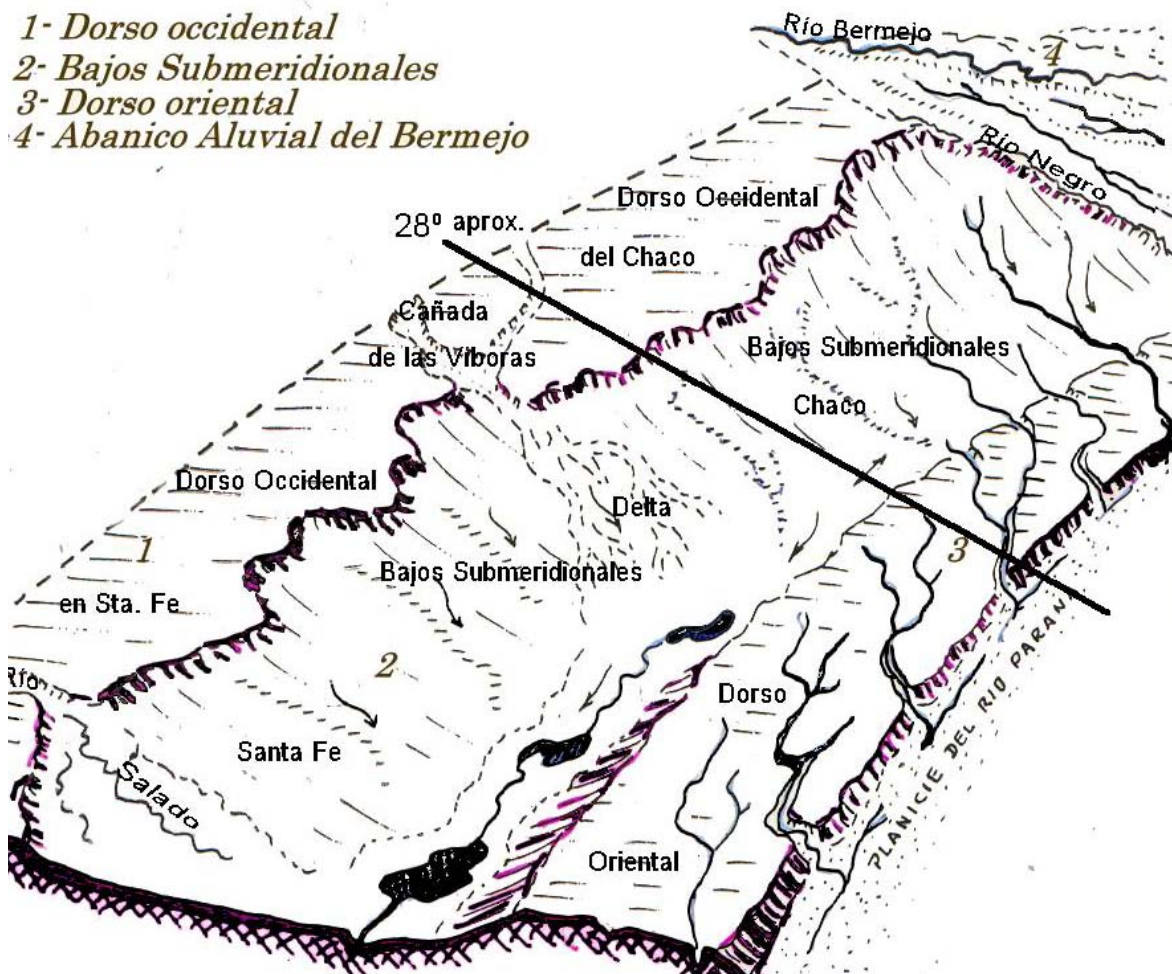
En realidad los "Bajos" en sentido estricto constituyen una planicie inclinada embutida entre los dorsos casi paralelos, lo cual conforma el principal factor condicionante de las inundaciones que allí se producen y llegan a cubrir centenares de miles de Has.

En la **Figura 10** se puede observar que el Dorso Occidental de Santa Fe y su prolongación con el Dorso Central del Chaco constituyen un relieve positivo casi plano y sin ninguna red fluvial activa.

Su rasgo dominante es la presencia de un paleo modelo eólico con variedad de formas micro dunas hasta enormes cordones alineados de SW a NE y cubiertos de bosques, entre los cuales se extienden planicies sub estructurales que en principio sustentan sabanas, algunas pirógenas y donde hoy asienta casi la totalidad de la actividad agrícola.

En el extremo norte de Santa Fe, el dorso está cortado por un enorme paleo valle que parece estar asociado a una antigua posición del Río Salado y que se conoce como Cañada de las Víboras. Observando de sur a norte se notan cada vez con mayor frecuencia pequeños paleo valles fluviales que lo cruzan y se dirigen hacia los Bajos.

**ESQUEMA SIMPLIFICADO- BAJOS SUBMERIDIONALES.**



Fuente: Popolizio, et. al Bajos Submeridionales. Unidades taxonómicas del Chaco y Santa Fe 1978

**Figura 10**

Esos paleo valles están prácticamente colmatados y el paleo modelo eólico ingresa en ellos, lo que indica su mayor antigüedad relativa y dificulta mucho su observación en campaña. La transición entre el mencionado Dorso y Los Bajos es imperceptible en Santa Fe, pero se va acen-



tuando hacia el norte, siendo muy visible en el Chaco y alcanzando el máximo de pendiente hacia el norte en las proximidades de Tres Isletas

El Dorso Oriental, por el contrario, presenta un mínimo desnivel en el norte (Chaco) y varios metros en el sur (Santa fe), de manera que progresivamente termina por bloquear el escurrimiento hacia el Paraná al sur de Los Amores.

Presenta una densa red fluvial de afluentes del Paraná, dendrítica en Chaco y bayoneta dendrítica en Santa Fe y en gran parte bloqueada por la vegetación. Su cobertura original fue el bosque (Cuña Boscosa), pero en gran parte ha sido reemplazada por una intensa explotación agrícola.

Los Bajos en sentido estricto presentan aspectos de grandes sabanas inundables, pastizales y pajonales que dominan el paisaje interrumpido en algunos sectores por bosques, parques y arbustales.

Sin embargo su aparente homogeneidad no es tal y varía de sur a norte. En efecto, hacia el sur predominan las planicies sub estructurales que sustentan pastizales y pajonales, con relictos de modelado eólico, sobre el cuales se desarrolla el arbustal.

En dicho sector se extiende al este y de norte a sur el sistema del A° Las Golondrinas, con una serie de lagunas encadenadas o en collar de cuentas. Es muy fuerte el condicionamiento de la vegetación, que se presenta con rasgos de alofitismo y además permite el desarrollo de bosques galerías y palmares.

Un segundo sector se extiende al norte de Santa Fe y está controlado por la paleo morfología de un gran valle, fluvial (probablemente el Salado) que ingresaba por la actual Cañada de Las Víboras y se abría en un gran delta hacia un lago, que debió existir en tiempos del Lujanense.

Esa morfología está parcialmente cubierta por un paleo modelo eólico y cribada de depresiones pseudo kársticas, lo que le da un aspecto de moteado cruzado por el paleo modelo deltaico divergente.

En el sector chaqueño, se definen con nitidez cada vez mayor hacia el norte, verdaderas cuencas más o menos convergentes, en cuyo eje se desarrollan largas cañadas y esteros que progresivamente van tomando aspectos de arroyos o rasgos fluviales incipientes.

Las divisorias son relictos eólicos o paleo derrames fluviales, discontinuas y cubiertas por bosques, dejando entre sí enormes planicies embudadas con sabanas, extensos palmares, pajonales y pastizales. Los procesos pseudo kársticos son aquí tan significativos, que han dado lugar a una terminología que en principio se asoció a procesos eólicos y que se denomina "viruelas".

Estas características geomorfológicas, descriptas en forma resumida son las condicionantes fundamentales de las grandes inundaciones que afectan periódicamente el área.

Al producirse las precipitaciones, las aguas del dorso occidental de Santa Fe y su prolongación en el Chaco no encuentran canales naturales

de escurrimiento y comienzan a inundar las planicies sub estructurales, hasta que logran traspasar las bajísimas divisorias. Se interconectan en forma laminar y dirigiéndose hacia el este y el sudeste, ingresan a los Bajos propiamente dichos, donde suman sus aportes a los caídos en éstos.

El escurrimiento se vuelve muy dificultoso a causa de la ineficiencia de las redes y las bajísimas pendientes, razón por la cual las aguas cubren enormes extensiones y se producen trasvasamientos de una cuenca hacia otra, en dirección al sur.

En el sector chaqueño, los pocos colectores que cruzan el Dorso Oriental, no tienen capacidad para evacuar semejantes volúmenes y el escurrimiento se dirige en gran parte hacia el sur e ingresa a Santa Fe, que recibe, además, aportes propios y los provenientes de la Cañada Las Víboras.

Como el desnivel entre los Bajos y el Dorso Oriental aumenta hacia el sur e impide el escurrimiento hacia el Paraná, todo ese aporte se dirige hacia el sur como afluente del sistema del Arroyo Las Golondrinas.

Las aguas desbordan las lagunas, las interconectan y terminan por formar un gigantesco manto que con extrema dificultad fluye hacia la cuenca del río Salado, cuya capacidad de evacuación no tiene ninguna proporción con los volúmenes recibidos, prolongándose la inundación por meses.

#### **III.4 - NOROESTE DE CORRIENTES**

El sector que se extiende al oeste de la Depresión del Iberá y su prolongación en la del A° Sarandí, constituye un relieve de acumulación ligeramente sobre elevado, en el cual contrastan extensas lomadas arenosas dispuestas en abanico con vértice en Ituzaingó y grandes planicies estructurales extendidas entre ellas (**Figura 11**)<sup>33</sup>.

La red de drenaje está controlada por esta morfología y es muy deficiente, ya que únicamente los sectores terminales presentan escurrimiento fluvial definido.

Las divisorias corren por lo general sobre las lomas que están cribadas de lagunas de todos los tamaños, las cuales forman por su parte sistemas hidrológicos más o menos independientes y sobreelevados con relación a las planicies.

Ellas sustentan el área agrícola predominante, con exclusión del arroz y es el donde tienen su sitio muchos pueblos y pequeñas ciudades construidas a lo largo de los primitivos caminos reales.

Con frecuencia las lomas no son continuas o han quedado reducidas a elevaciones aisladas, razón por la cual las divisorias de agua pierden significación y permiten las transfluencias de las aguas de una cuenca hacia otra.

---

<sup>33</sup> En el original no está la **Figura 11**

Durante las grandes precipitaciones todas las lagunas aumentan su nivel, se interconectan y terminan por fluir las aguas hacia las planicies, en tanto que se produce la inundación de campos de cultivos y la progresiva incomunicación de los núcleos urbanos.

En las planicies la situación es aún más grave debido a que por lo general son áreas periódica o permanentemente inundables, con extensas cañadas y esteros que, por otra parte, dificultan las comunicaciones transversales.

Las aguas en situaciones extremas cubren las planicies de borde a borde y lentamente escurren hacia los colectores fluviales que se desbordan en sus propias planicies, las cuales en los sectores terminales pueden tener varios centenares de metros de extensión.

Las rutas transversales son superadas así por las aguas, agravando la incomunicación de las poblaciones y con frecuencia, destruyendo las obras de arte menores.

Sin embargo, a pesar de los problemas citados, el sistema natural está adaptado y refleja su equilibrio frente a la periodicidad de las inundaciones, de allí que su aptitud para las actividades ganaderas y los cultivos de arroz dependa de aquéllos, sin olvidar que también se alternan situaciones de grandes sequías, mucho más graves que las inundaciones.

La construcción de canales ha respondido exclusivamente a los requerimientos para disminuir los efectos de las inundaciones, pero sin tener en cuenta que pueden provocar serios problemas durante los períodos secos.

El manejo hidrológico del área es factible mediante obras relativamente sencillas, pero deberá tener en cuenta lo dicho respecto del pulso natural y el equilibrio de los ecosistemas, es decir, que deben disminuir la oscilación natural (sequías e inundaciones) sin anularla, lo cual significa la concepción de sistemas mixtos de canales y reservorios integrados en un sólo sistema de manejo.

### **III.5 - SECTOR ORIENTAL DE CORRIENTES**

Al otro lado de la Depresión del Ibera y su prolongación en la del A° Barrancas, se extiende un área cuyas condiciones hidrológicas son diferentes en muchos aspectos al norte de la provincia.

No es un sector homogéneo, sino que presenta tres compartimentos separados entre sí por los valles de los ríos Aguapey y Miriñay. Entre ellos se extiende en forma de círculo una zona muy plana a cota 75m casi constante rodeada por elevaciones, algunas muy significativas como Los Tres Cerros. El drenaje es muy dificultoso y se realiza por cañadas dispuestas en forma radial.

Este compartimiento central presenta características similares a algunas áreas de sector occidental, con suelos pesados, pastizales y pajonales en ambientes de cañadas y esteros que dan lugar a los típicos maleza-

les, siendo periódicas las inundaciones a causa de las precipitaciones, la ineficacia de la red de escurrimiento y las bajísimas pendientes.

Los compartimentos situados al norte y sur del descripto, presentan ciertas diferencias, siendo el primero semejante al área sur de Misiones y el segundo con rasgos que se asemejan al norte de Entre Ríos. Desde el punto de vista hidrológico, presentan algunos aspectos comunes que determinan las características de las inundaciones.

Las redes son "normales", convergentes, con una importante densidad de drenaje, sobre un relieve de suaves colinas tabuliformes, siendo significativa la pendiente longitudinal de la misma, lo cual reduce los tiempos de concentración.

Dichas características dan lugar a un escurrimiento muy empuntado con caudales instantáneos de "pico" muy elevados y comportándose en muchos casos como verdaderos torrentes de llanura.

Las planicies de los colectores principales suelen ser muy anchas, tienen pendientes mucho menores que las de los afluentes y canales de estiaje insuficientes para evacuar las crecientes con rapidez.

Por lo expuesto, dichas planicies se ven sometidas a periódicas inundaciones que las cubren de margen a margen, siendo frecuente que las aguas sobrepasen los puentes y alcantarillas o los arrastren en situaciones de crecientes empuntadas y originen serios problemas en las comunicaciones.

La morfología tabuliforme suavemente ondulada, da lugar a que los interfluvios sean muy planos y con frecuencia mal drenados, con suelos arcillosos expansivos y periódicas inundaciones.

Las posibilidades del control de las crecientes y las inundaciones son aquí mucho mayores a causa de las condiciones morfométricas de las cuencas y la construcción de pequeños embalses de regulación escalonados permitiría lograrlo, además de mejorar notoriamente la capacidad agropecuaria.

### **III. 6 - DEPRESION DEL IBERA - A° SARANDI**

Se pueden distinguir tres sectores bien diferenciados en esta amplia faja diagonal; primero, situado al norte de Paso Lucero; el segundo, entre éste y la desembocadura del A° María Grande y el último, hacia el sur hasta el valle del río Paraná.

El sector norte corresponde a lo que se conoce vulgarmente como zona de los Esteros y Lagunas del Iberá y constituye un ecosistema ultra equilibrado por mecanismos hidrobiológicos muy delicados.

Se caracteriza por estar fundamentalmente controlado por las precipitaciones, ya que constituye un sistema cerrado, sin aportes externos, salvo en el sector sudeste, donde recibe algunos arroyos provenientes de las áreas más elevadas del departamento Mercedes.

En realidad, en su mayor parte es un área inundada o periódica-

mente inundable y en condiciones de máximas precipitaciones, prácticamente su totalidad queda bajo agua,

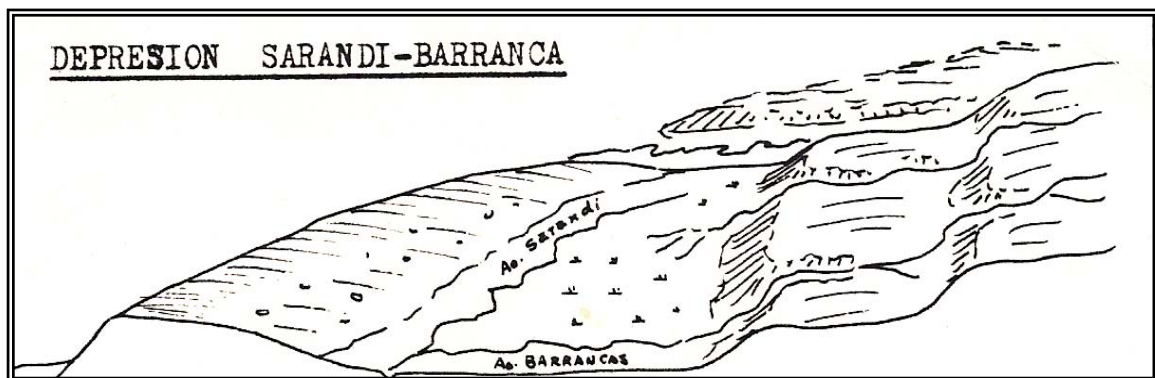
Es un sistema de muy largo tiempo de respuesta a causa de su bajísima pendiente general hacia el SW y al efecto de frenado que produce su abundante biomasa arraigada y flotante, razón por la cual la inundación es un hecho permanente y cuya área de extensión es fluctuante.

No podemos dejar de mencionar que su límite sur, donde las aguas vierten al río Corriente, está constituido por una especie de embalse natural que se controla automáticamente y actúa como regulador del caudal de salida.

El sector central de la Depresión corresponde al amplio valle del río Corriente, que en su parte final abandona esta depresión para dirigirse hacia el SW y las inundaciones son aquí fundamentalmente consecuencia de los desbordes de dicho curso.

Cuando ellas tienen lugar, las aguas cubren un ancho de varios kilómetros, especialmente cuando se le suman, por superposición de efectos, los caudales de los afluentes del este, que se comportan como verdaderos torrentes de llanura.

El tercer sector corresponde a una amplia depresión por, la cual corre el A° Barrancas y en la cual descargan importantes arroyos, como el Ávalos y el Barrancas. **Figura 11.**



**Figura 11**

Originalmente debió tener todas las características del sector norte, pero debió haberse colmatado casi en su totalidad, originando una planicie embutida de bajísima pendiente. La dinámica torrencial y empuntada de los arroyos al llegar a la planicie provoca la inundación generalizada de la misma.

Ese comportamiento se reconoce muy bien por la presencia de amplios conos de deyección en la desembocadura de los arroyos en la depresión, donde se ramifican en brazos que no tienen capacidad de evacuación suficiente

Desde el A° Sarandí, que corre apoyado en la margen derecha de la depresión, se va extendiendo una nueva red que trata de tomar contacto

con los conos, pero de ninguna manera es suficiente para lograr una evacuación efectiva.

Durante las grandes precipitaciones, la superposición de efectos entre las lluvias y el ingreso de las crecientes de los arroyos, provoca la inundación generalizada que se desplaza lentamente hacia el SW, generando gravísimos problemas a las actividades agrícola -ganaderas e interrumpiendo la comunicación.

#### **IV - RELACIONES ENTRE LA GEOMORFOLOGIA Y EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS PROCESOS HIDROLÓGICOS.**

Este es un tema que nos preocupa desde hace mucho tiempo a causa de las características morfométricas de los valles fluviales de la llanura y de áreas más movidas.

Al observar los perfiles transversales de los valles fluviales se pueden distinguir una variedad de formas extremadamente grande, que hemos esquematizado en las **Figuras 2 y 4**, mediante dos situaciones extremas: un perfil simple encañonado y otro muy amplio y complejo.

Curiosamente, cuando mayor es la amplitud de oscilación del sistema hidrológico, menor es la variedad de formas y viceversa, pero lo que más llama la atención, son los quiebres de pendiente del perfil transversal lo que hidrológicamente está indicando que la curva altura-caudal debe presentar inflexiones, que se corresponderán al sucesivo ingreso de las aguas en los diferentes niveles de terrazas.

El primer problema que se presenta, de ser cierta esta correspondencia, todas las crecientes no constituyen un conjunto homogéneo, sino que forman subconjuntos entre esas inflexiones.

El segundo problema deriva del anterior y se refiere a la causa de la existencia de los subconjuntos, es decir si esa des homogeneidad en el pulso de las crecientes, es originada por la dinámica climática o por el condicionamiento fisiográfico de la cuenca.

Evidentemente podría ocurrir que las precipitaciones a lo largo del tiempo respondieran a subconjuntos o bien que las características de las cuencas determinaran la existencia de un modulador que seleccionara y subdividiera el conjunto, climático en subconjuntos hidrológicos.

Pero también sería posible que ocurran las dos cosas simultáneamente, lo cual complicaría aún más el estudio de la causalidad de crecientes e inundaciones. Desde el punto de vista sistémico, lo que estamos mencionando se corresponde al concepto de función escalonada, es decir que el paso de un subconjunto de estados posibles a otro, se produce por un salto brusco y no de manera progresiva-

Este tipo de comportamiento es muy común en los sistemas naturales, lo que nos lleva a suponerlo para el fenómeno hidrológico. Cuando un sistema es más rico (mayor número de relaciones y elementos), sus

estados posibles son más numerosos, pero también tienden a formar subconjuntos y por consiguiente, a presentar una función escalonada.

De ser este concepto aplicable a las cuencas fluviales, cuanto más complejas y extensas sean éstas, mayor será la posibilidad de presentar una función de salida escalonada y esto parece responder a los datos geomorfológicos.

La importancia de lo expuesto radica en que cuanto más compleja y amplia sea una cuenca, mayores serían los errores introducidos entre los análisis estadísticos convencionales y la realidad.

Creemos que lo expuesto abre un campo nuevo de investigación con los métodos de la Teoría General de Sistemas, que no ha sido encarado aun. Podría tener gran significación en los cálculos de recurrencias y sus aplicaciones al diseño de obras de infraestructura en los valles fluviales.

Hemos iniciado trabajos sobre este tema, analizando detalladamente la curva altura caudal, para relacionarla con la morfología y ver cómo se la puede referir a la recurrencia

Si las formas fluviales representan la expresión de una función escalonada de salida en un punto, las inflexiones se corresponden a los quiebres morfológicos.

El brusco ensanchamiento de la sección cuando se pasa de un nivel a otro representa un salto en la capacidad de conducción del valle y por consiguiente debe traducirse en la curva altura caudal, pero en realidad lo que suponemos es que causalísticamente la relación es inversa.



**Figura 12**

En efecto, si el aumento de los caudales sufre un brusco cambio a causa de la existencia de subconjuntos de crecientes, el río labrará un lecho mayor en un nivel superior, para poder cumplir con su función de transporte.

Analizar el fenómeno de esta manera, nos parece mucho más sensato que el convencional, cuando se quiere establecer criterios para dimensionar obras de infraestructura.

En efecto, ¿Qué significado y sentido tiene fijar arbitrariamente una recurrencia de 50, 100 ó más años para el dimensionar obras de arte? En la realidad eso no se corresponde con nada y es sólo un valor teórico estadístico. Establecer niveles morfológicos de referencia, que por otra parte pueden reconocerse en el terreno, facilitará los trabajos.

Lo mismo ocurre con la determinación de la línea de ribera, que fija el límite entre el dominio público y privado, así como las líneas de riesgo, indispensables pero que aún no se han establecido en el país, las cuales deberían referirse a las formas fluviales que pueden localizarse y reconocerse con mucha facilidad con las tecnologías disponibles. **Figura 12.**

## **V - CRITERIOS PARA EL MANEJO Y CONTROL DE LAS INUNDACIONES**

Este aspecto constituye un campo muy amplio especialmente si se tiene en cuenta lo que hemos dicho sobre la variedad tipológica de situaciones generales por las crecientes e inundaciones y por lo tanto, intentaremos plantear criterios generales que resuman trabajos anteriores.

### **V.1 - CRECIENTES E INUNDACIONES EN LAS PLANICIES FLUVIALES DE LOS GRANDES CURSOS**

El primer aporte que puede ofrecer la Geomorfología está dado por la posibilidad de delimitar y cartografiar las diferentes formas del valle fluvial que como dijimos reflejan tipos diferentes de crecientes (**Figura 4**), y por consiguiente se corresponden con riesgos de inundación y recurrencias también diferentes.

Comenzaremos analizando las correlaciones con las áreas urbanas y luego nos referiremos a las obras de infraestructura que atraviesan el valle.

Con relación a las primeras, en los grandes valles fluviales casi siempre se expanden sobre las terrazas T1 y T2 como ocurre con Resistencia y Barranqueras respectivamente; especialmente cuando el canal de estiaje se apoya sobre esta última permitiendo la localización portuaria.

Sin embargo, en ciertos casos, el puerto localizado sobre el mencionado canal o algún brazo de la zona meándrica, origina una cierta expansión lineal muy dispersa a lo largo de la ruta que lo liga con la ciudad.

Como resultado de ello la totalidad del área urbana puede ser cubierta con inundaciones excepcionales, ya que están emplazadas dentro del valle mayor del curso como ocurre en Resistencia, Goya, etc.

Es evidente que el riesgo de inundación y también el nivel máximo que pueden alcanzar las aguas en un punto determinado, varía con su



posición dentro de la morfología fluvial.

De allí que la primera medida a tomar es el trazado de las curvas de isoriesgo que no coinciden exactamente con las topográficas, sino que acompañan la inclinación aguas abajo de las terrazas o del nivel hídrico en cada situación.

Al establecer zonas de igual riesgo puede elaborarse, una adecuada legislación sobre el uso del suelo y normas edilicias, pudiendo llegar a la restricción total (**Figura 12**).

Se hace necesario además categorizar las obras y funciones urbanas en función del riesgo tolerable, de manera tal que si se construye una usina, una toma o planta de agua potable, etc. deberán estar protegidas frente a todo riesgo por cumplir funciones esenciales, al igual que los accesos a las mismas.

No ocurre lo mismo con las viviendas, donde con normas edilicias se puede lograr que durante la inundación la vivienda quede total ó parcialmente protegida, por ejemplo por medio de estructuras palafíticas.

Lo más significativo de esto estriba en que únicamente de esta forma se puede establecer con claridad las responsabilidades públicas y privadas con relación a la destrucción de bienes generada por las inundaciones.

En efecto, una zona que tenga por ejemplo 75% de riesgo de inundación, tendrá grandes restricciones al uso y su costo e impuestos serán mucho menores que otra con 25% de riesgo, pero también la responsabilidad del estado será totalmente diferente en cada caso y ello deberá estar reglado por leyes y ordenanzas.

Lamentablemente nada de esto se ha hecho y a causa de ello, servicios esenciales y grandes complejos edilicios se han inundado, en tanto que los particulares ni el Estado terminan de saber cuál es su responsabilidad.

Con frecuencia se utilizan para obras públicas los terrenos libres y baratos, que como es lógico son siempre los peores y los de más riesgos, ya que los comerciantes urbanos tienen bastante criterio al desechar algunas áreas.

También es común que las industrias adquieran esos terrenos, que a veces están en plena planicie ordinaria con altísimo riesgo de inundación y ello genera la ocupación de la zona por pobladores de bajos recursos.

Ese descontrol en la expansión urbana, es gravísimo en las ciudades emplazadas en las planicies, en primer lugar porque más tarde ó más temprano la población exige la polderización, cuyo costo es enorme y en segundo, porque todo polder reduce la sección de escurrimiento, alterando el comportamiento fluvial, incluso creando remansos hídricos.

Si bien es cierto que habrá que polderizar varias ciudades, debería pensarse seriamente en evitar que ello se vuelva común, especialmente para pequeños núcleos urbanos donde existen otras soluciones mucho

menos costosas y más seguras.

Finalmente, debe analizarse seriamente la eventual evacuación urbana en casos de núcleos no polderizados o por roturas de las obras civiles y la información geomorfológicas puede ser extremadamente valiosa en la concepción urbana, de manera de disponer las rutas o vías de evacuación en los lugares menos riesgosos.

El segundo aspecto de la cuestión se refiere a las obras de infraestructura que atraviesan los valles fluviales.

Es frecuente que el ingeniero focalice el mayor problema en el canal de estiaje, ya que allí se emplazará la obra de arte de mayor envergadura y costo, pero curiosamente estas obras resisten bien debido a que se estudian muy detalladamente. Sin embargo los accesos, que pueden tener varios kilómetros de largo, se ven casi como un proyecto de rutina, olvidándose que en la mayoría de los casos actúan como verdaderos diques durante las crecientes.

Dentro del cinturón meándrico, toda obstrucción origina el riesgo siempre latente de que el curso cambie de posición, lo que obligaría a la construcción de un viaducto, pero por lo menos debería construirse el acceso con suficientes obras de arte que impidan la concentración del escurrimiento.

En las terrazas, con frecuencia se diseñan alcantarillas ubicadas de manera muy elemental, allí donde se nota alguna depresión o pequeño curso y su sección es mínima, en relación a la disminución que genera el terraplén, lo cual produce una concentración del escurrimiento muy significativa.

Como resultado de lo expuesto, los puntos críticos durante las grandes inundaciones son las obras menores, cuyo colapso puede interrumpir la comunicación y puede ser evitado si se le diera mayor importancia al estudio y diseño de las mismas.

Parece importante destacar que el criterio con que se diseñan estas obras que atraviesan las planicies fluviales no tiene mucho sustento, ya que en general se hace adaptando a cierta recurrencia, lo que no se refleja en el terreno.

Insistimos en que la morfología fluvial es mucho más representativa que la estadística y deberían adoptarse criterios basados en ellas.

Igualmente se hace necesario categorizar las obras en función del riesgo real que se está dispuesto a tolerar, ya que si bien no todas deben ni pueden estar calculadas para situaciones maximizadas, las rutas estratégicas o troncales deben ser diseñadas para soportar el más alto riesgo compatible con los costos.

## **V.2 - INUNDACIONES EN LAS PLANICIES INTERIORES**

En el nordeste argentino, las condiciones morfológicas que hemos descrito con anterioridad hacen que las precipitaciones provoquen la

inundación de áreas inmensas, como consecuencia de las trasfluencias entre cuencas, las bajísimas pendientes y la casi inexistencia de redes fluviales típicas.

El primer aspecto es que las inundaciones y las sequías forman parte esencial del sistema geomórfico de estas áreas subtropicales y todo el ecosistema se ha adaptado a ese pulso, de manera que corregir una sola de las variables desequilibra todo el conjunto y el efecto puede ser más negativo que si se mantienen las condiciones actuales.

En segundo lugar y ligado a lo anterior, es necesario recalcar que las inundaciones son negativas solamente en la medida que no se han dispuesto mecanismos de control, ya que la productividad biológica de estos espacios está ligada a ellas.

Teniendo en cuenta la descripción hecha en puntos anteriores, nos parece conveniente mencionar simplemente una serie de criterios básicos de manejo basados en el condicionamiento geomorfológico.

a) las obras viales e hidráulicas deben ser analizadas con juntamente mediante planes hidroviales, que por un lado permitan manejar el escurrimiento y por otro, dar mayor seguridad a las primeras y en especial a las obras de arte.

b) Las rutas deben diseñarse para delimitar y aislar las cuencas, evitando las trasfluencias o controlándolas mediante obras e instrumental adecuado.

c) El sistema hidrovial deberá permitir el control simultáneo de inundaciones y sequías, es decir que deberá poseer capacidad de evacuación y retención como parte esencial del proyecto.

d) Deberá estudiarse seriamente la conducción de efluentes por medio de canales sobreelevados, construidos por terraplenes laterales, ya que los canales convencionales requieren secciones enormes y aumentan el costo de las obras de arte.

e) El sistema anterior deberá contemplar la creación de recintos que actúen como polders durante las inundaciones, tales como los circuitos hidrológicos ensayados en Santa Fe,

f) las rutas transversales al escurrimiento deberán contemplar la posibilidad de actuar como pequeños embalses de llanura, con sistemas de control de efluentes.

g) El estudio vial hidráulico deberá hacerse sobre la base de la unidad morfológica e hidrológica de las cuencas, a fin de controlar progresivamente el escurrimiento, evitando que las aguas sobrepasen los terraplenes aislando las comunicaciones.

h) El diseño de las obras de arte en rutas que atraviesan planicies inundables, deberá hacerse con mucho detenimiento a fin de evitar concentración de filetes y riesgos de colapso por erosión.

## VI- CONCLUSIONES

El estudio de las condiciones morfológicas de la llanura y del comportamiento del sistema geomórfico constituye la base para el control de las crecientes e inundaciones, de manera racional y eficiente, a cuyo efecto parece conveniente recomendar.

1) Intensificar en la formación y actualización de los ingenieros el conocimiento de la Geomorfología de las llanuras y su relación con las obras de infraestructura,

2) Brindar a los planificadores urbanos todos los conocimientos necesarios para comprender la íntima relación entre las formas del relieve y su fisiología, con la zonificación y uso del suelo urbano y rural.

3) Iniciar lo más rápidamente posible trabajos de geomorfología de detalle en áreas urbanas, que permitan establecer líneas de isoriesgo y zonificación del sitio. Sobre la base de lo anterior, establecer la legislación y reglamentación inherente al uso del suelo y normas edilicias.

4) Clasificar las funciones y las obras de infraestructura y edilicias, en función del riesgo aceptable y definir las normas técnicas, jurídicas y operativas necesarias.

5) Estudiar, en cada caso particular, las alternativas de solución, debidamente evaluadas desde el punto de vista económico y social, a fin de optar sobre bases debidamente analizadas.

6) Propiciar el estudio sistemático de las características geomorfológicas de las cuencas fluviales y realizar su cartografía de detalle, a fin de disponer de los elementos básicos para el desarrollo de planes hidroviales que cumplan con los criterios mencionados anteriormente.

7) Distinguir claramente que tanto la concepción, proyecto, obra y operación de las obras vinculadas a crecientes e inundaciones, es diferente según se analicen tres situaciones: a) Obras de emergencia o coyuntura; b) Obras definitivas; y c) Obras de seguridad frente a situaciones de colapso o desastre.

8) Tener presente que la concepción, proyecto, ejecución y mantenimiento de este tipo de obras es sólo parte de un programa mucho más amplio, que incluye en primer lugar el derecho de la población a decidir sobre el tipo de ciudad en que quiere vivir y los riesgos que está dispuesta a soportar.

En segundo lugar, que la eficiencia de dichas obras dependerá de que tengan el soporte jurídico e institucional y las consiguientes normas constructivas, operativas y funcionales para las tres situaciones previstas.