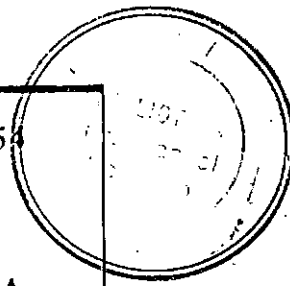


35746

CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES



Exp. 1554

"ORIGEN Y DESARROLLO DEL SISTEMA URBANO DE LA PROVINCIA DE TUCUMAN".

**Subproyecto 3 : Sistematizacion ribereña de los rios y espacios verdes**

DEPARTAMENTO FAMAILLA.

Dinamica del espacio : proyecto de ordenamiento del territorio

*Zuc*

*O/x12  
232  
XI*

Tomo I

RAMON BENITO ZUCCARDI  
Ingeniero Agronomo

EXPERTO : Ing Agr. Ramón Benito Zuccardi

PROYECTO :  
" Origen y Desarrollo del Sistema Urbano  
en la Provincia de Tucumán "

SUBPROYECTO 3 :  
"Sistematización ribereña de los rios  
y espacios verdes "

TOMO I

Colaborador : Ing Hid. Anibal COMBA



2.2.2.	Cálculo de la esorrentia .....	20
2.2.2.1.	Cálculo del número curva.....	21
2.2.3.	Hidrograma de crecientes .....	27
3.	<u>EL RIO FAMAILLA</u>	
3.1.	Concepto general .....	30
3.2.	Estructura del Río Famaillá .....	31
3.2.1.	El cauce principal-Formás móviles.....	33
3.2.2.	Morfometría fluvial .....	36
3.2.2.1.	Superficie total de la cuenca.	37
3.2.2.2.	Longitud total .....	37
3.2.2.3.	Curvas hipsométricas .....	37
3.2.2.4.	Red de drenaje.Orden de cauces .....	38
3.2.2.5.	Relación de bifurcación.....	40
3.2.2.6.	Densidad de drenaje.....	40
4.	<u>DIAGNOSTICO</u> .....	42
5.	<u>RUPTURA DEL EQUILIBRIO. REXISTASIA</u> .....	45
5.1.	Efectos en el Río Famaillá .....	46
6.	<u>EL ORDENAMIENTO ECOLOGICO DEL TERRITORIO</u> .....	51
6.1.	Zonificación de la cuenca .....	52
6.1.1.	Regiones polarizadas o funcionales....	52
6.1.2.	Factores ambientales .....	53
6.1.3.	Principios generales de un ordenamiento territorial .....	54
6.1.4.	Zonificación de la cuenca .....	56
6.1.5.	Estrategias a adoptar .....	59
	*BIBLIOGRAFIA.....	70

### \*CUENCA RIO FAMAILLA

El presente trabajo se orienta a esbozar un plan de ordenamiento ecológico del territorio y determinar las principales medidas necesarias para estabilizar la cuenca.

El Departamento de Famaillá ha sido caracterizado ya anteriormente como parte de la cuenca Aconquija-Río Salí, (20).

La organización del paisaje en el Departamento, tanto en su aspecto estructural como funcional responde al modelo de una cuenca de drenaje. Por lo tanto, al mismo tiempo que demos las bases conceptuales necesarias para una comprensión real de la misma, iremos aplicando a la cuenca del Río Famaillá las observaciones correspondientes.

#### 1. CUENCA DE DRENAJE. CONCEPTO.

La cuenca de drenaje es una forma del paisaje caracterizada por tener un sistema vectorial organizado para drenar a través de un río y sus tributarios, Horton (8). Constituye una unidad morfodinámica del paisaje y sus límites están dados por la división de aguas con otras cuencas.

Como sistema abierto, en la cuenca hay entrada y salida continua de materia y energía, que a través del flujo hídrico, efectúa un trabajo mecánico que produce la movilización y transporte de partículas cuyo resultado final es el modelado de la

superficie terrestre, Todos los elementos que integran una cuenca, interactúan, manifestando un funcionamiento de conjunto, lo que según Tricart (17) constituye un sistema morfogenético.

La cuenca del Río Famaillá, constituye una unidad morfoestructural coherente, cuya organización y funcionamiento responde a los principios esenciales enunciados por Richter (Famaillá I).

Según la tipología establecida por Chorley y Kennedy, el estudio de la cuenca puede encararse desde los siguientes aspectos:

- \* Como Sistema morfológico: Constituye su apariencia física y que según Horton integra un ordenamiento y distribución estable en el largo plazo. Forma el marco que condiciona el funcionamiento global.

Los rasgos morfológicos, son de gran importancia interpretativa, ya que siendo la memoria del sistema, en aquellas cuencas donde no hay registros permanentes, pueden ser los indicadores de procesos ocurridos.

- \* Sistema en cascada: Expresa la dinámica de la cuenca. La red hidrológica y el patrón de corredores que la interconectan, constituyen para Forman (4) una manifestación del funcionamiento y la conectividad de las unidades espaciales.

- \* Sistema proceso-respuesta: Las formas y procesos en un sistema dinámico establecen para Tricart (16), relaciones dialécticas mediante las cuales hay continuas readaptaciones o cambios de acuerdo

do a las diferentes condiciones de entrada de energía al sistema. Los cambios de algún elemento estructural (vegetación o precipitaciones) originará respuestas a través de un nuevo equilibrio (Famaillá I).

\* Sistema control: En condiciones de Biostasia, la cuenca de drenaje es un sistema autoregulado ya que hay elementos estructurales que producen retroacciones negativas y mantienen al sistema en un estado estable.

Las condiciones de Rexhistasia antrópica, se produce, cuando el Hombre a través de sus alteraciones, elimina los factores de estabilidad y se origina una retroacción positiva que lleva a establecer un cambio del sistema.

A través del enfoque sistémico, se puede predecir su comportamiento lo cual es necesario en una fijación de políticas ambientales tendientes al ordenamiento ecológico del territorio.

#### 1.1. Procesos morfogenéticos.

La cuenca del Río Famaillá se encuentra limitada funcionalmente por tres barreras: Hacia el Oeste, las Sierras de Mala Mala (3300 msnm) constituyen una barrera mecánica neta, que la separa del Valle de Tafí. Al Norte y al Sud, existen límites funcionales formados por las líneas de drenaje de los Ríos Colorado y Caspinchango. (Mapa Nº: 1)

Los factores que condicionan al proceso morfogenético son:

1.1.1. Morfometría.

El valor de las pendientes, expresa la energía del relieve y para Tricart (18) es la característica fundamental que expresa el potencial morfogenético de una cuenca ya que condiciona a los procesos de drenaje y escurrimiento. La erosión aumenta con el aumento de la pendiente y la longitud de la misma.

La cuenca es una unidad poliestructural y en un perfil transversal (Gráfico Nº: 1 ) se puede identificar a las siguientes clases de relieve: (Mapa Nº: 2 )

- \* Clase 1.- Relieve normal o subnormal. Es una zona de bajo potencial energético y desde el punto de vista funcional constituye un sumidero donde se disipa la energía. Abarca al 38% de la cuenca.

Las pendientes van, desde el 0,5% al 1% y corresponde a la región de la Llanura deprimida.

- \* Clase 2.- Relieve normal con pendientes suaves donde el escurrimiento es lento a medio. Representa el 13% de la cuenca.

La erodabilidad es variable y depende



del tipo de suelo. La pendiente es de 1 a 5%.

Corresponde a región fisiográfica del Pe demonte.

Su estabilidad puede lograrse con prácti cas conservacionistas simples.

- \* Clase 3.- Relieve excesivo, con escurrimiento rápido y muy rápido. El grado de erodabilidad es al to.

El potencial energético es elevado y cons tituye un polo energético.

Corresponde al sistema montañoso y abarca al 48% de la cuenca.

### 1.1.2. Suelos

Aunque la erosión depende en gran medida de factores como la topografía, pendiente y cobertura vegetal, las propiedades del suelo según Morgan (14) son un importan te factor determinante.

La erodabilidad depende: de la profundidad efectiva del suelo, de la estabilidad de los agregados, de la re sistencia al arrastre, de la capacidad de infiltración y del contenido de materia orgánica.

Todas estas propiedades influyen en la capacidad de infiltración de cada suelo y origina una acción regula-  
dora neutralizante de la velocidad y volúmen del agua de  
escorrentia.

### 1.1.3. Litoestructurales.

La altura y orientación de las Sierras de Mala Mala, que constituyen la cuenca de recepción principal y su influencia en la dinámica del paisaje, ha sido tratada anteriormente.

Un factor importante en los procesos morfodinámicos, está determinado por la composición litológica. Según Mon (13), en las Sierras Calchaquies, aflora el Basamento metamórfico, que por las condiciones bioclimáticas, se encuentra fuertemente meteorizado. La alteración de estas rocas, dá origen a un proceso de arenización o sea, a la formación de fracciones granulométricas de arena media y gruesa con diámetros de 0,25 a 2 mms.

El elevado contenido de arena, influirá en la friabilidad de los suelos, en su textura, en su capacidad de infiltración y en la composición mineralógica de los sedimentos que transporten los ríos en la Llanura.

### 1.1.4. Vegetación.

La cobertura vegetal, es el factor más importante en la estabilidad del paisaje.

Su acción más importante, es la intercepción de las lluvias por la canopia vegetal, lo que produce la dis*u*



pación de la energía cinética de las gotas de lluvia. El aumento de la rugosidad del terreno, influye sobre la velocidad y volúmen del agua de escurrimiento y favorece la infiltración. Gráfico Nº: 2.

La acción de la vegetación es complementada por la capa de hojarasca que cubre el suelo y por el sistema radicular que cohesiona a las capas superficiales del suelo. Gráfico Nº: 3.

Para un suelo franco limoso en el Piedmont de Estados Unidos con una pendiente de 10%, Bennet encontró los siguientes valores.

Gráfico Nº: 4.

	Cantidad de suelo perdido Tdas./acre	Tiempo necesario para remover 15 cms.de suelo su perficial años
Bosque .....	0.002-0.09	575.000
Pastos .....	0.01 -0.29	82.150
Cultivos en rotación	8.8 -10.8	110
Cultivos de algodón.	10.5 -25.1	46
Suelo desnudo.....	29.1 -64.7	8

#### 1.1.5. Clima

El clima ejerce una acción fundamental en los procesos morfogenéticos. Con la temperatura y las Precipita-

ciones, se produce una entrada masiva, permanente, de energía calórica y cinética que son determinantes del funcionamiento global del paisaje.

#### 1.1.5.1. Temperatura

La acción térmica tiene dos formas importantes de acción:

- \* directa: influye en la evapotranspiración, que es una forma importante de disminuir el volumen total del agua caída;
- \* indirectas: influye en el desarrollo vegetal y las variaciones térmicas se manifiestan en las diferentes Formaciones vegetales (Ver Fa-  
maillá I).
- \* acelera la acción del agua en los procesos de meteorización de las rocas.

#### 1.1.5.2. El ciclo hidrológico

El agua se mueve constantemente, ya sea que cambia de un sitio a otro, o que cambie de un estado (líquido a otro (vapor)). Funciona así, casi como un sistema cerrado, ya que tiene un comportamiento cíclico.

Gregory (6 ), expresó al ciclo hidrológico como una ecuación, donde:

$$P = I + S + Q + E + GW + GWO$$

siendo

P - Precipitaciones

I - Intercepción por la canopia vegetal

Q - agua que se pierde por escorrentia

S - almacenaje en el suelo

E - Evapotranspiración

GW - almacenaje en las capas freáticas

GWO - agua que se pierde por drenaje profundo.

Pero, esta ecuación, no expresa realmente, las funciones, formas e interrelaciones del agua en un ciclo. Por ello, Horton(8) construyó un modelo hidrológico que representa en forma global a las interrelaciones conocidas o deducidas que se establecen entre los componentes del ciclo hidrológico y los factores topográficos y edáficos. Gráfico Nº: 5.

La construcción de este modelo de flujos, permite:

- \* adquirir mayor información en el proceso hidrológico de una cuenca, ya sea por su magnitud, forma, distribución e intensidad de agua disponible.
- \* estudiar la globalidad del sistema.

- \* comprender mejor las relaciones entre formas y procesos.
- \* prever los posibles efectos hidrológicos, directos e indirectos, que se pueden producir por cambios inducidos (antrópicos).
- \* facilitar la toma de decisiones en un plan de ordenamiento territorial.

En la construcción de un modelo hidrológico, es necesario tener en cuenta, que los valores reales de una cuenca, nunca son absolutos y que frecuentemente se carece de la información necesaria para cuantificar adecuadamente sus términos.

#### 1.1.5.3. Estructura del modelo de ciclo hidrológico (Fleming)(3)

Los elementos que integran esta estructura son:

##### a) Entrada de energía. Precipitaciones.

Las lluvias originan una entrada de masa (agua) y energía cinética en la superficie del suelo.

Una parte de la lluvia es interceptada por la canopia vegetal, por lo cual disminuye la masa total que llega al suelo y al mismo tiempo neutraliza la energía cinética, de tal manera que el agua que llega al suelo, llega suavemente. El agua retenida en la canopia se pierde totalmente por evaporación.

El agua que efectivamente llega a la superficie del suelo, puede seguir dos caminos:

- \* permanecer en superficie;
- \* infiltrarse en el suelo.

b) Almacenaje del agua en la superficie del suelo

El agua que llega a la superficie del suelo, se almacena en las depresiones y cavidades formadas por la microtopografía del suelo.

Este almacenaje no representa un gran volumen, pero, ejerce un importante rol morfogenético, ya que favorece la infiltración, influye en la circulación de agua en superficie y actúa como disipador de la energía de las gotas de lluvia.

El agua que permanece en superficie, se pierde en gran parte por evaporación.

c) El agua en el suelo. Flujos.

Cada suelo tiene una capacidad de infiltración y una capacidad de almacenaje específica, ya que a través de sus poros, el agua penetra, es retenida y se mueve.

Horton, estableció una importante diferenciación

conceptual, al considerar que las corrientes de agua en una cuenca, eran enriquecidas por tipos principales de flujos de agua. (Gráfico Nº:6-A)

- \* flujos superficiales;
- \* flujos profundos.

Los flujos superficiales, son enriquecidos por el agua excedente, después de que el suelo haya completado su capacidad de almacenaje. Este tipo de flujo, origina la escorrentia superficial que actúa en los fenómenos de erosión acelerada de los suelos.

Los flujos profundos, son movimientos más lentos que enriquecen a las capas freáticas y a los cursos de agua permanente.

Este modelo de flujos, establecido por Horton, es aplicable a la Llanura Deprimida, donde la presencia de una capa freática fluctuante condiciona la dinámica interna del agua en el suelo.

El modelo de Horton fué completado por varios autores, entre ellos Kirby(10) que establecieron las siguientes diferenciaciones:

- \* flujos subsuperficiales, que Tricart (17) llama hipodérmicos, que se refiere al movimiento de agua a nivel del horizonte A ó en la unión del Horizonte B.



- \* flujos internos: que se localizan debajo del anterior pero, encima de la capa freática.
- \* agua freática - representa al agua permanente.

El modelo de Kirby (Gráfico Nº:6-B), se aplica para zonas en pendiente y en climas templados y húmedos. En nuestra zona de estudio este tipo de modelo es aplicable al Pedemonte y a la región montañosa.

#### 1.1.5.4. Carácter dinámico de los flujos de agua.

Considerando a los diferentes tipos de flujos señalados anteriormente, Jamieson y Amerman ( 9 ), han establecido las siguientes diferencias:

- \* flujos subsuperficiales o hipodérmicos. Son flujos rápidos, que enriquecen generalmente a las corrientes de agua efímeras.
- \* flujos internos: Son flujos lentos que forman parte de acumulaciones estacionales de agua y que enriquecen a las corrientes de agua intermitentes.
- \* la capa freática, con movimientos muy lentos y solo aporta agua a los cursos de agua permanente.

En el Gráfico Nº: 7 , están representados estos flujos y su posible influencia en la cuenca del Río Famailá.



Estas interpretaciones, enfatiza, según Gregory, el carácter dinámico de la cuenca de drenaje, ya que sus características topográficas (sistema morfológico) influirán en el tipo de movimiento del agua (sistema en cascada).

#### 1.1.5.5. La producción de sedimentos.

El modelo dinámico que explica los diferentes tipos de movimiento del agua, influencia según Gregory (6), la producción de sedimentos y la forma en la cual son transportados a través del sistema.

En el Gráfico Nº: 8 de Horton, se puede observar que los materiales en suspensión, son producidos por los flujos superficiales y subsuperficiales, mientras que los flujos internos sólo transportan a los materiales en solución. Gráficos Nos. 9 y 10.

Esto lo explica Gregory en razón de la diferencia de velocidades entre ambos ya que para los flujos superficiales es de 200 m/h comparado con los 20 cm/h de los flujos internos.

\*\*\*\*

## 2. LA CUENCA DEL RIO FAMAILLA

### 2.1. Balance hidrológico

La principal fuente de alimentación del Río Famaillá son las precipitaciones pluviales, de las que ya analizamos (Famaillá I) su régimen de concentración estival y su distribución anual.

El comportamiento hidrológico de los cauces naturales, responde sistemáticamente a las precipitaciones, clasificándose como régimen torrencial, produciéndose durante el verano las precipitaciones "pico" de escurrimiento de crecientes de escasa duración.

El balance hídrico nos dará un panorama de como se desarrolla el ciclo hidrológico en la cuenca, teniendo en cuenta variables como Precipitación, Evapotranspiración y escurrimiento superficial.

En base a los datos consignados en el anterior trabajo (Famaillá I) se puede considerar lo siguiente:

#### \*Estación Sauce Huascho (Gráfico Nº: 11)

Período 1931-1970. Se observa que desde el mes de Noviembre a Abril, la precipitación es superior a la Evapotranspiración. El almacenaje de agua comienza en el mes de Noviembre y en Diciembre, el suelo ya está saturado y se inicia el escurrimiento superficial. Este alcanza un va

lor de 689 mms lo que representa el 44% del total de agua caída, mientras que la Evapotranspiración "consume" el 53%.

La recarga de agua se produce en los meses de Noviembre y Diciembre y el agua de escorrentia en los meses de Enero a Junio, a partir del cual, comienza el deseccamiento del suelo. Gráficos Nos. 12 y 13.

\* Estación Fronterita (Gráfico Nº: 14)

Período 1963-1989. Las precipitaciones superan a la Evapotranspiración a partir de Noviembre y hasta Abril.

El almacenaje de agua comienza en Diciembre y en Enero el suelo ya se encuentra saturado. El escurrimiento superficial comienza en Enero y llega hasta el mes de Abril.

El volúmen total de agua que escurre es de 426 mms y representa el 30% del agua total caída.

\* Estación Famaillá (Gráfico Nº: 15)

Período 1921-1990. Se diferencia de las anteriores en que la escorrentia comienza recién en Febrero y llega hasta el mes de Abril.

El volúmen de la escorrentia es de 248 mms, que representa el 21% del total del agua caída. La evapotranspiración representa el 80% del agua caída.

Observaciones: Del análisis realizado surge que a medida que ascendemos hacia la serranía-en la cuenca media y alta- como resultado de las mayores precipitaciones, aumenta la escorrentia, así como el volúmen de las mismas.

Las medidas de corrección deben estar por lo tanto a regular este proceso, ya que por esencia, el agua de escorrentia es nociva para la estabilidad de los sistemas.

## 2.2. Régimen hidrológico

Las intensas tormentas que se producen en verano, coinciden con la época en que el suelo de la cuenca se encuentra totalmente saturado. Esto origina importantes flujos superficiales , que alimentan los cauces que escurren hacia la llanura, favorecidos por la pendiente longitudinal.

La cantidad de agua que escurre y la velocidad son dos factores que influyen en la morfogenesis y en los procesos de modelado de la superficie terrestre.

Es importante conocer la agresividad de las precipitaciones y calcular la escorrentia.

### 2.2.1. Agresividad de las precipitaciones.

Fué estimada por diferentes autores y métodos.

Entre ellos tenemos:

#### 2.2.1.1. Considerando el volúmen total: Langbein

(12) ha señalado la relación existente en

tre la escorrentia anual y el aumento de las Precipitaciones. Considerando distintas temperaturas, expresó en forma gráfica tal correlación. (Gráfico N°:16).

En el mismo puede observarse que para la cuenca del Río Famaillá, considerando una temperatura anual media de 15 a 20°C y 1000 mms de precipitaciones, la escorrentia tiene un valor de 130 a 300mms y la producción de sedimentos entre 800 y 1000 Tdas/año. Esta apreciación de Langbein, es sólo indicativa, ya que corresponde a condiciones ideales, donde no existen otros factores que alteran la escorrentia.

#### 2.2.1.2. Indice de Fournier

Es el índice más importante y que ha demostrado tener una buena correlación con la producción de sedimentos.

Fournier ( 5 ) establece una relación  $p^2/P$  donde

p = precipitación del mes más lluvioso

P = precipitación media anual.

Este Índice, expresa la concentración de las precipitaciones en un mes y por lo tanto es una medida de la intensidad de las mismas. Los valores e

levados representan a los climas de régimen hídrico fuertemente alternante.

Usando datos de 78 cuencas de drenaje de todo el mundo, Fournier, ha establecido relaciones empíricas, que aplicadas en las condiciones de Famaillá, nos dá los siguientes valores:

- Sauce Huascho :  $(324)^2/1568 = 67$
- Fronterita :  $(251)^2/1399 = 45$
- Famaillá :  $(225)^2/1143 = 44$

de lo que resulta los siguientes valores de degradación específica:

- Sauce Huascho: 3004 Tdas de sedimentos por año y por Ha.
- Fronterita : 1849 Tdas de sedimentos por año y por Ha.
- Famaillá : 718 Tdas de sedimentos por año y por Ha.

En base a este índice, tentativamente se ha trazado, los Mapas N°:3 y 4 .

### 2.2.2. Cálculo de escorrentia.

Hidrológicamente, es importante conocer que es lo que pasa con las precipitaciones extremas, que son las que producen mayores impactos ambientales.

Es necesario considerar distinta duración e intensidad de las lluvias caídas.

Conociendo la probabilidad de ocurrencia de las mismas (Famaillá I) se puede obtener el caudal de avenida y para el cual debe calcularse las obras de corrección de los cauces.

En la alta cuenca (2000 msnm) no se dispone de información hidrometeorológica, referida a las precipitaciones e intensidades extremas, por lo que el caso en estudio se convierte en "cuenca sin datos".

Para el cálculo de la escorrentia, se utilizarán, valores extremos de Precipitaciones ocurridas en altitudes similares siguiendo el método de la curva número.

#### 2.2.2.1. Cálculo del número de curva.

Para la realización del cálculo se debe seguir una serie de pasos que incluye la ulterior utilización de tablas y gráficos elaborados al efecto.

Este método es utilizado por el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos, luego del análisis de un gran número de datos de cuencas experimentales.

Con este método no se estima el caudal de escorrentia, sino, el volúmen de la misma.



1er. Paso: Se considera cuatro factores:

- 1.- uso de la tierra;
- 2.- obras de conservación;
- 3.- calidad hidrológica de la cobertura del suelo;
- 4.- grupo hidrológico del suelo.

De acuerdo a estos datos, en la cuenca del Río Famaillá, se tendrá:

Cuenca	Grupo del suelo	Uso de la tierra	Práctica conservacionista.	Condición hidrológica.
alta	C	pasto de pastoreo	-	mala
media	B	Bosque	-	regular
baja	B	cultivo en hileras estrechas.	curvas de nivel	buena

Suelos: C - indica suelos con un potencial de escorrentia moderadamente alto.

B - indica suelos con un potencial de escorrentia moderadamente bajo.

Calidad hidrológica de la cobertura vegetal.

Se establece de acuerdo al porcentaje de cobertura vegetal estimado.

Con esta tabla, se determina el número de curva para cada sector de la cuenca:

\*Curva número - Condición de humedad II - 36 a 53 mms acumulados durante los últimos 5 días previos al evento considerado.

-Cuenca alta - 86

-Cuenca media- 60

-Cuenca baja - 73

Considerando estos valores con la superficie de cada una de las subcuencas, obtenemos:

C.N. ponderada para toda la cuenca:

$$86 \times 0,20 + 60 \times 0,34 + 73 \times 0,46 = 71$$

2do. Paso: Cálculo del tiempo de concentración.

Para ello se sigue el método del Hidrograma adimensional, considerado como un método indirecto.

A.- Se calcula el tiempo de concentración de acuerdo a la fórmula de Kirpich:

$$T_c = 0,0195 \times L^{1,155} \times H^{-0,385}$$

Donde

$T_c$  = tiempo de concentración en minutos

L = longitud máxima del curso

H = Pendiente media del lecho.

Con esta fórmula se calcula el tiempo que demora el agua en recorrer la distancia entre el punto más alejado de la cuenca y la sección de control considerada.

Aplicando la fórmula para el Río Famaillá, tenemos:

$$T_c = 0,0195 \times (58.700)^{1,155} \times (2.650)^{-0,385} = 300 \text{ minutos} = 5 \text{ hs.}$$

#### B.-Cálculo del caudal pico ( $Q_p$ ) en la cuenca del Río Famaillá

---

(Método 1)

Se aplica la fórmula:

$$Q_p = \frac{2,1 \times A \times E}{100 \times T_p}$$

Donde

A = superficie en Hectáreas

E = escorrentia

$T_p$  = tiempo al pico       $T_p = \frac{D}{2} + 0,6 \times T_c$

D = Duración de la tormenta

$T_c$  = Tiempo de concentración

Si consideramos que P máxima es de 200 mms

D (duración de la tormenta)= 3 horas

A (área de aporte)= 245 km<sup>2</sup>

E (escorrentia)=115 mms (calculada  
con la curva número  
Nº 71). Gráfico Nº:17.

$$Q_p = \frac{2,1 \times 24.500 \times 115}{1000 \times 4,5} = 1,315 \text{ mts}^3/\text{seg.}$$

$$T_p = \frac{3}{2} \times 0,6 \times 5 = 4,5 \text{ horas.}$$

Nota: Este valor, si bien puede parecer algo exagerado, se debe tener en cuenta que sólo ocurre una vez cada 10 años, de acuerdo al mapa de precipitaciones máximas elaborado para Tucumán (Famaillá I). Por otra parte teniendo en cuenta las características hidráulicas del cauce del Río Famaillá a la altura del puente de la Ruta Nacional Nº 38, se obtiene un caudal de creciente aproximado.

El cálculo de  $Q_p$  se repitió para la cuenca alta y la cuenca media, a fin de obtener valores que permitan diseñar obras hidráulicas a distintas altitudes.

\*Cuenca alta (desagüe a los 1500 msnm)

$$Q_p = 300 \text{ m}^3/\text{seg} \text{ con una relación } E/p = 0,49$$

\*Cuenca media (desagüe a los 600 msnm)

$$Q_p = 535 \text{ m}^3/\text{seg} \quad \text{con una relación } E/p = 0,45$$

Donde  $E$  = escorrentia

$p$  = precipitaciones

Estos valores fueron calculados con una metodología em  
pírica y deberán ser verificados con métodos indirectos de  
aforo de crecientes en base a relevamientos de campo.

Cálculo del caudal (Método 2) Método indirecto.

Aplicando la ecuación de Manning, tenemos:

$$Q = \frac{A \times R^{2/3} \times S_o^{1/2}}{n}$$

Donde

$A$  = área =  $200 \text{ m}^2$  (área mojada a la altura del puen  
te de la Ruta N° 38)

$n$  = coeficiente de rugosidad = 0,04

$R$  = Radio hidráulico = 3,45 mts.

$p$  = perímetro mojado = 58 mts.

$S_o$  = Pendiente de la superficie del agua = 0,5%

$$Q_p = \frac{200 \times (3,45)^{2/3} \times (0,5)^{1/2}}{0,04} = 807 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

### Escorrentia en Sauce Huascho

En un período de 13 años (siete años completos), Comba ( 1 ) señala los caudales aforados a la altura de Sauce Huascho.

Caudal promedio anual (módulo) ..... 1.130 mts<sup>3</sup>/seg.  
 con un mínimo minimorum de ..... 0.120 mts<sup>3</sup>/seg.mensual  
 y un máximo maximorum de ..... 4.700 mts<sup>3</sup>/seg.mensual

Ver Gráfico Nº:18.

El aporte anual es de aproximadamente 35.64 Hms<sup>3</sup>

#### 2.2.3. Hidrograma de crecientes

El Hidrograma de crecientes expresa graficamente la forma que adquiere la descarga de una creciente en una cuenca. Es un indicador del funcionamiento global de la cuenca y de la forma como responde la misma a un estímulo torrencial.

En un hidrograma se puede observar:

- \*Forma: Depende de las Precipitaciones (volúmen e intensidad) y de las características de la cuenca.
- \*Tiempo de retraso: expresa el período de tiempo entre el pico de la tormenta y el pico del hidrograma.
- \*Tiempo de ascenso: período de tiempo transcurrido entre el comienzo del pico de la creciente y el punto máximo del mismo.

\*Tiempo de relajación: indica el tiempo necesario para volver el río a las condiciones de equilibrio y en el cual el aporte de energía máxima se ha disipado.

El tiempo de ascenso y el tiempo de retraso será más corto y el pico de descarga será mayor en las cuencas de mayor pendiente.

Construcción del Hidrograma de crecientes.

Se realiza en base a las siguientes relaciones:

$$T/T_p \quad \text{donde } T = \text{Tiempo}$$

$$T_p = \text{Tiempo al pico}$$

$$Q/Q_p \quad \text{donde } Q = \text{caudal}$$

$$Q_p = \text{caudal al pico}$$

$T/T_p$	0	0,4	0,8	1	1,2	1,4	1,6	2	2,4	3	4
T hs	0	1.8	3.6	4,5	5.4	7.2	9	10.8	12,6	13.5	18
$Q/Q_p$	0	0.28	0,89	1	0.92	0.56	0.39	0.18	0.1	0.04	0.02
$Q_m^3/\text{seg.}$	0	284	1229	1315	1262	768	439	247	134	49	25

Con estos datos se ha construido el correspondiente hidrograma (Gráfico Nº:19), para observar el comportamiento de la cuenca del Río Fa-maillá a nivel mensual las curvas correspondientes al período 1958-1970.

### 2.3. Las pérdidas de agua en la cuenca.

La pérdida de agua en la cuenca, puede ser de tres tipos:

- evaporación;
- transpiración;
- percolación.

La pérdida de agua por evaporación, afecta principalmente al agua retenida en la canopia vegetal y al agua almacenada en la superficie del suelo.

Cuando éstas se han agotado la evaporación se produce en el agua subsuperficial o hipodérmica y en las capas profundas.

La transpiración afecta por igual al agua subsuperficial y al agua retenida en las capas profundas.

Las pérdidas por percolación, afecta principalmente al agua freática.

La suma del agua perdida por evaporación y transpiración es conocido como uso consuntivo.





### 3. EL RIO FAMAILLA

#### 3.1. Concepto general:

El río es un colector principal de una cuenca y es un indicador del estado general de la misma.

Los ríos son agentes de transporte y no de erosión y a través de ellos se elimina el exceso de agua y la carga de material aportado por la cuenca.

Para Tricart (18) el río es una resultante del medio morfoclimático. El caudal, el régimen de pulsaciones, el régimen de crecientes, la carga de sedimentos y la granulometría de la carga, son efectos del régimen climático más el relieve, la litología y la cobertura vegetal.

En condiciones de Biostasia, el río llega a su estado de madurez en el cual se establece un estado de balance o equilibrio entre la extracción y la deposición de materiales del lecho.

Según Horton (8) la condición de equilibrio es cuando "la pendiente es suavemente ajustada para permitir una velocidad suficiente para eliminar la carga de sedimentos aportada por todos sus tributarios". En estas condiciones el río llega a establecer a lo largo de todo su recorrido un perfil de equilibrio en el cual llega a su nivel de base

o sea según Derruau ( 2 ) cuando llega a una superficie limite debajo de la cual las crecientes no pueden profundizar más el cauce. Al llegar al perfil de equilibrio, el agua corre en la menor pendiente gracias a una menor pérdida de energía, lo cual reduce al mínimo el trabajo morfo-genético del mismo.

Un sistema fluvial tiene mecanismos de autoregulación y cuando al mismo se aplica un fuerte estímulo (crecien-tes) se cumple el principio de Le Chatelier, que establece que "se origina una reacción que desplaza el equilibrio en una dirección que tiende a absorber el efecto de la presión".

Se produce de esta manera un reajuste entre formas y proceso. En oscilaciones comunes de presión (fluctuaciones del cauce) se originan variaciones del lecho, ya sea extrayendo o depositando sedimentos y el cauce se mantiene en equilibrio.

Dos atributos importantes de un río fueron definidos por Gilbert. La "competencia" o capacidad de transportar una carga de sedimentos de cierto tamaño y la "capacidad" o máxima capacidad de carga que el río puede transportar.

### 3.2. Estructura del Río Famaillá

El Río Famaillá forma parte de la cuenca del Río Salí-Dulce y es un colector principal de los cursos naturales

que nacen en la vertiente oriental de las Cumbres Calchaquies y escurre en sentido NO-SE.

Las nacientes del río, se encuentran aproximadamente a 3000 msnm, descendiendo desde las cumbres y formando en su origen por una mayoría de cauces de orden primario que conducen corrientes efímeras temporarias en la época estival.

Respondiendo a una estructura de torrentes, se puede observar cuatro secciones características:

- \* Cuenca de recepción: es la región más alta del río, actúa como un embudo de captación, provee la mayor parte del caudal líquido y del material sólido. El trazado de los cauces, se encuentra dominado por fallas que poseen dirección predominante Oeste-Este.

Esta área de montaña, presenta suelos con una permeabilidad moderada, tanto en las sedimentitas terciarias como cretácicas sin atravesar la roca del basamento.

La mayor parte de los cauces son de corrientes efímeras, alimentadas por las lluvias estivales o corrientes intermitentes, que responden a flujos estacionales.

- \* Garganta: es el canal por donde escurren hacia el llano las aguas acumuladas en la cuenca de recepción. Corre siempre encajonado entre márgenes abruptas de más de 600'. Se destaca en esta área la alta velocidad del agua y el importante volúmen de acarreo de materiales sólidos.

- \* Canal de desagüe: es el tramo que recorre la llanura aluvial, extensa y chata. El alto volúmen de depósitos se dimentarios eleva el nivel de base, produciéndose a veces desbordes a causa de una disminución de la competencia del río.
- \* Lecho de deyección: está formado por materiales que el río vá depositando a causa del marcado cambio de gradiente.

Esta zona presenta forma de glacis cubierto, que van u niéndose lateralmente por coalescencia. Muestran la existencia de numerosos cauces abandonados que se activan en época de lluvias. Presentan una superficie suavemente on dulada que se inclina hacia el Este. Gráfico Nº: 20.

### 3.2.1. El cauce principal. Formas móviles.

Al entrar en la llanura, el cauce principal del río, se ensancha bruscamente y en el se puede distinguir:

- \* lecho menor: es el caudal de mínima, ocupado permanentemente por las aguas de los ríos de régimen permanente.
- \* lecho mayor estacionario: ocupado periodicamente por las aguas durante la época de crecimiento.
- \* lecho mayor excepcional: ocupado por las aguas de las crecientes excepcionales.

Al entrar en la llanura el cauce del río tiende a desarrollar formas móviles como:

- meandros
- canales anastomosados

Estos cauces pueden modificarse y cambiar de formas rápidamente, a veces en el curso de una misma creciente.

Meandros: Los meandros se forman según Tricart (16) cuando la corriente de agua, entra en zonas con pendientes suaves, con materiales blandos. El lecho del río se desvía, describe curvas, para volver a tomar su dirección. Un conjunto de meandros forman según Tricart un "tren de meandros".

En la formación de meandros, influye el ancho del cauce, la pendiente del terreno, la carga de sedimentos y el tamaño relativo de los mismos. Es una forma de equilibrio del río, que aumenta así su recorrido y disminuye su velocidad.

La forma del meandro, imprime a las corrientes de agua un movimiento helicoidal, ya que la misma choca alternativamente con la margen izquierda y derecha, describiendo sinusoides. Esta tendencia se va exagerando gradualmente, ya que la margen exterior-de mayor velocidad del agua- se va erosionando. Por el contrario en la margen cóncava, la corriente es más lenta y deposita una carga de sedimentos, originando una playa de arena, llamada también lóbulo de acumulación. Gráfico Nº: 21.

Este proceso origina márgenes asimétricas donde la orilla exterior es más abrupta, mientras que la orilla interior es amplia y chata.

La permanente repetición de este proceso sinusoidal y la erosión de las márgenes origina a menudo la "migración" del meandro, que se desplaza a lo largo de la llanura, en dirección de la corriente.

El avance de los meandros es a veces tan amplio, que frecuentemente, logra unir dos partes del mismo canal, cortándose a sí mismo. En estos casos, la corriente sigue por el "atajo" así abierto, mientras que la curva abandonada - en forma de media luna- constituye reservorios de agua que paulatinamente van colmatándose.

En el río Famaillá, se observa un "tren de meandros" en la cuenca baja, cuando entra en la llanura. Estos meandros no han llegado a una estabilización y se pueden observar cambios netos y cortes del cauce entre los años 1945 (foto aérea N°:1) y el año 1976 (foto aérea N°:2).

Importancia de los meandros: Son importantes, ya que crean una zona de gran inestabilidad en sus márgenes, ya sea para las explotaciones agrícolas o para las poblaciones.-.

A veces la "migración" del meandro en épocas de crecientes puede llegar a causar impactos catastróficos. Esto se produce cuando por falta de información o de previsión, se instalan obras de importancia en sus márgenes.

Canales anastomosados: Los canales anastomosados, se forman cuando el lecho del río es ancho, poco profundo y se ve obstruido por la deposición de una gran cantidad de sedimentos gruesos. Estos sedimentos forman bancos de arena, que frenan la corriente y producen una divergencia de la misma, originando varios canales que se entrecruzan entre sí. Los bancos de arena tienen formas alargadas en el sentido de la pendiente y se desplazan río abajo.

Estos canales tienen márgenes poco desarrolladas y se mueven y cambian fácilmente dando origen a movimientos espasmódicos durante la estación de crecientes.

El material sedimentario es más grueso que el de los meandros.

En el Río Famaillá, las causas que dan origen a estas formas fluviales, son en primer lugar el régimen torrencial, que da origen a fuertes picos de crecientes y a grandes variaciones de caudal del río, a una intensa degradación de la cuenca alta, que produce un aumento de la carga de sedimentos y a un choque neto de pendientes entre la zona montañosa y la llanura.

### 3.2.2. Morfometría fluvial:

Es la medida de las propiedades geométricas de un sistema fluvial de erosión.

La morfometría fluvial tiende a aportar un conocimiento de un sistema muy complejo, aclarando Strahler (15) que a pesar de que no hay dos formas terrestres iguales, la determinación de algunos parámetros cuantitativos permiten tener un marco de referencia y comparación con otras cuencas hidrográficas.

#### 3.2.2.1. Superficie total de la cuenca:

Desde las Cumbres de Mala Mala, hasta la desembocadura, la superficie total es de 245 km<sup>2</sup>.

De acuerdo a este valor, se considera como una cuenca media.

#### 3.2.2.2. Longitud total del cauce del río:

Recorriendo todas sus sinuosidades, la longitud total del cauce es de 59 km.

#### 3.2.2.3. Curvas hipsométricas:

Para conocer con mayor exactitud, la dinámica de la cuenca se pueden obtener diferentes índices, como el índice de desnivel, Tuttlér (19), que expresa la relación que se obtiene dividiendo la diferencia vertical o relieve por la distancia horizontal entre dos puntos.



En base a los mismos se obtienen los siguientes valores:

	Desnivel mts.	Distancia Kms.	Indice de desnivel %
Cuenca alta	1500	15	10
Cuenca media	1050	15	7
Cuenca baja	110	25	0,4

El trazado de un diagrama relacionando el área y la altitud nos dá las curvas hipsométricas (Gráfico Nº:22 ).

En el gráfico de hipsometría porcentual (Gráfico Nº:23 ), se puede observar, la siguiente distribución espacial:

- Cuenca alta ..... 20%
- Cuenca media ..... 34%
- Cuenca baja ..... 46%

#### 3.2.2.4. Red de drenaje. Orden de cauces.

El sistema de drenaje según Strahler, es la resultante de mecanismos convergentes de concentración e integración

de las formas más difusas y débiles de escurrimiento en formas progresivamente más intensas y profundas.

El sistema de drenaje forma una estructura vectorial (Famaillá I) que por su desarrollo y conectividad, refleja las interrelaciones funcionales del paisaje. Expresa la intensidad del modelado de una región.

El conjunto de cauces, organizado en red, adquiere patrones diferentes. El Río Famaillá adquiere un patrón de tipo dendrítico (Mapa N<sup>o</sup>: 1) ya que su organización adquiere la forma de un árbol o el limbo de una hoja.

Para describir y calificar a la red de drenaje, Horton (8) estableció un sistema de clasificación, que posteriormente fué modificado por Strahler (15). En base al mismo los cauces más pequeños o de primer orden, llevan el número 1. Dos cauces de primer orden, originan un cauce de segundo orden, dos cauces de segundo orden, originan un cauce de tercer orden y así sucesivamente. La salida de los canales se hace progresivamente más grande en dimensión y en descarga.

Este sistema, define según Tricart, la tendencia a la concentración del desagüe, ya que mediante el análisis de la jerarquización de los cursos de agua se puede observar,

que mientras el orden de los cursos de agua crece de manera aritmética, el número de los cursos de agua de crece de manera geométrica.

De acuerdo a esta clasificación el orden de cauce del Río Famaillá es 4. lo que indica una cuenca media namente jerarquizada.

#### 3.2.2.5. Relación de bifurcación ( $R_b$ )

Establecido por Horton, expresa una característica importante de la cuenca. Está definida por la relación existente entre el número de cauces de un orden  $n$ , dividido por el número de cauces del orden superior inme diato ( $n+1$ ).

En el Río Famaillá este valor es de 4,36.

Según Strahler, cuando el valor de la relación de bifurcación se encuentra entre 3 y 5, la estructura geológica no ejerce una influencia dominante en los pa trones de drenaje.

#### 3.2.2.6. Densidad de drenaje.

Es una característica topográfica, que expresa cu titativamente el grado de desarrollo de un sistema hidrográfico. Está cuantificado en base a una relación que se establece entre la longitud de los cauces y la unidad de superficie.

$$D = \frac{L}{A}$$

L = Longitud de los cauces

A = superficie de la cuenca

La densidad de drenaje es una expresión dinámica, que está directamente vinculada a:

- Factores morfoclimáticos-vegetación-tipo de precipitaciones-régimen de las Precipitaciones-Tipo de suelo.
- Factores litológicos-tipo de material y permeabilidad.
- Factores topográficos-pendiente-longitud de las laderas.

La densidad de drenaje alcanza su mayor expresión, en climas húmedos con pendientes fuertes y rocas impermeables.

Comba (1) calculó la densidad de drenaje para cuenca alta, media y baja del Río Famallá.

Cuenca	Superficie Km <sup>2</sup>	Densidad de drenaje Km/Km <sup>2</sup>	Calificación
alta	49	1,28	Bien drenada
media	83	0,76	Medianamente drenada.
baja	113	0,54	Medianamente drenada.

#### 4. DIAGNOSTICO

Del estudio realizado, se puede expresar como síntesis, lo siguiente:

##### Característica de la cuenca

- \* Por su extensión, se clasifica como mediana;
- \* Los parámetros de compacidad y Relación de bifurcación, describen a la cuenca como alargada, sobre un eje NO-SE, representado por el cauce del Río Famaillá;
- \* Según el análisis hipsométrico, la superficie mayor de la cuenca se encuentra entre los 340 msnm y los 750 msnm (cuenca media y baja) que alcanza al 55% del total;
- \* Los cursos de agua que drenan la cuenca, presentan características de regímenes torrenciales. En la alta cuenca predominan los cauces efímeros, mientras que en la cuenca baja, predominan los cursos de régimen permanente;
- \* El curso principal, que conduce agua todo el año, con un caudal mínimo en el mes de Octubre de 120 lts/seg (registro de 7 años);
- \* Esta cuenca es representativa de todas las cuencas de la vertiente oriental de las Cumbres Calchaquíes;
- \* El sistema de erosión, se manifiesta principalmente en forma de cárcavas, desprendimientos de laderas, arrastre de grandes bloques.

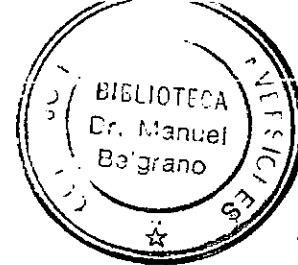
### Topografía

- \* La pendiente longitudinal promedio del cauce del Río Fa-  
maillá es del orden del 5%, oscilando entre el 18% en la  
cuenca alta y menos del 1% en la cuenca baja; Gráfico N°20.
- \* La energía de los volúmenes de agua circulante, originada  
por el fuerte gradiente longitudinal, produce una dinámi-  
ca fluvial permanente, traducido en meandros y otras for-  
mas móviles que producen corrimiento de cauces.

### Climáticos.

- \* Las lluvias representan la principal fuente de alimenta-  
ción de los cauces, directamente como flujos superficia-  
les durante el verano o a través de flujos hipodérmicos  
durante el invierno;
- \* Existe un elevado promedio anual de las precipitaciones,  
superando a los 1800 mms anuales a alturas de 1400-1500  
msnm;
- \* Hay una marcada concentración de las Precipitaciones en  
el período estival, que llega al 75%;
- \* Las precipitaciones máximas ocurren en Enero y las míni-  
mas en Junio-Julio;
- \* Las precipitaciones anuales, presentan una variación cí-  
clica de períodos húmedos y secos alternativamente;

- \* El promedio de Precipitaciones del período 1967-1990 supera en un 25% del período 1921-1950; Gráfico Nº: 24.
- \* Este incremento de las precipitaciones, en el período húmedo, es una de las causas motoras de las inundaciones soportadas en los últimos años;
- \* Existe una red pluviométrica muy deficiente, que no permite conocer con exactitud lo que ocurre a latitudes mayores a los 600 msnm;
- \* El poder erosivo potencial de las precipitaciones es sumamente alto, por lo que las tareas de corrección de la cuenca deben estar orientados a manejar esta variable del ciclo hidrológico, favoreciendo la infiltración y disminuyendo la escorrentia;
- \* La lámina de escurrimiento directo anual promedio es importante a la altura de Sauce Huascho, llegando a los 540 mms. para el período 1921-1950 y 690 mms. para 1967-1990;
- \* Hacia la cuenca alta este porcentaje se incrementa, citándose como referencia que para una altura de 1400 msnm, representa el 55%;
- \* A medida que se asciende, el fenómeno de escorrentia superficial comienza más temprano, aumentando su proporción en relación a las mayores precipitaciones (volumen e intensidad) y a la mayor pendiente de las laderas.



## 5. RUPTURA DEL EQUILIBRIO-REXISTASIA.

En condiciones de Biostasia, se establece en una cuenca un climax, caracterizado por tener un estado estable o sea se establece un equilibrio de fuerzas y por lo tanto predominan los procesos constructivos. Pero equilibrio no significa "quietismo", ya que en una cuenca predominan los procesos dinámicos. Uno de sus elementos -el agua- se encuentra en permanente movimiento y cambio de sitio y de estado.

Pero, en una cuenca puede producirse cambios o sea de reemplazo de un sistema morfogenético por otro.

Estos cambios pueden ser de dos tipos:

### a) Cambios por ruptura del equilibrio climático.

Son graduales . Se produce en plazos largos. En ellos los cambios climáticos, van determinando gradualmente la modificación del conjunto del medio geográfico y continúa hasta llegar a un nuevo equilibrio en condiciones diferentes.

### b) Rupturas de equilibrio antrópico

Son cambios en el corto plazo (a veces pocos años).

Se conoce como erosión acelerada o Rexistasia antrópica.

Se caracteriza porque las acciones comienzan sobre uno de los elementos del sistema: la cobertura vegetal.



Esto desencadena una serie de reacciones globales.

La morfogénesis antrópica o acelerada, origina una reacción en cadena que afecta a todo el sistema (Gráfico Nº: 25).

### 5.1. La ruptura del equilibrio en el Río Famaillá. Efectos.

A través de un proceso espontáneo de ocupación del espacio, en el Dpto. de Famaillá, se ha producido acciones desestabilizadoras originadas en:

#### a.- Deforestación de la cuenca media

Por su particular situación ecológica -zona libre de heladas- se ha extendido los cultivos de caña de azúcar, citrus y paltas en zonas de equilibrio muy precario, lo que ha introducido una fuerte alteración al sistema.

#### b.- Explotación forestal

En la medida que las pendientes lo permitían, todas las especies de valor fueron gradualmente extraídas haciendo una tala selectiva negativa. Si bien la Selva Basal del Laurel y Los Bosques montanos, tienen una gran capacidad de resiliencia, las acciones antrópicas han afectado la estabilidad de la cuenca.

c.- Sobrepastoreo

La realización de una ganadería extensiva, ha llevado a una situación crítica, especialmente en la alta cuenca donde la realización de una ganadería de ovinos y caprinos y aún vacunos, ha destruído la débil cobertura vegetal (arbustal xerófilo), con lo cual ha desaparecido la escasa protección vegetal.

La resultante de esta fuerte presión antrópica, se ha manifestado a través de un incremento en la agresividad de las precipitaciones, aumento de la erodabilidad de los suelos, alteraciones en el cauce de los ríos y la aparición de fuertes inundaciones.

Las inundaciones en la Ciudad de Famaillá.

Famaillá se encuentra ubicada, desde el punto de vista geomorfológico en la Llanura deprimida. Esta Llanura es de origen aluvial y se caracteriza por tener una capa freática fluctuante, cerca de la superficie y por un escaso potencial morfogenético.

Se encuentra ubicada sobre las márgenes del Río Famaillá que en todo su recorrido adyacente lo hace como un "tren de meandros", (foto aérea Nº: 2).

La expansión de la ciudad y la construcción de una infraestructura vial han "encorsetado" al río, que a la altura de la ciudad ha sufrido de esa manera, una reducción neta del ancho del cauce. Foto aérea N°:3.

Las inundaciones de Famaillá son un efecto sistémico, cuyo comienzos se encuentran en las alteraciones de la cuenca alta y media y cuyo desarrollo es el siguiente:

<u>efectos sistémicos</u>	<u>consecuencias</u>
- <u>sobre el ciclo hidrológico</u>	
- aumento de la escorrentia (flujos superficiales).....	erosión
- disminución de los flujos hipodérmicos (subsuperficiales).....	disminuye el almacenaje del agua del suelo, acentúa las condiciones de sequía de los meses secos.
- aumento de la evaporación .....	disminución del almacenaje del agua.
- <u>sobre el hidrograma de crecientes</u>	
- disminuye el tiempo de respuesta de las crecientes.....	produce efectos inmediatos en la <u>cu</u> enca <u>ba</u> ja. Aumento de la peligrosidad de las crecientes.

- Pico mayor de crecientes..... Pulsaciones más desestabilizadoras.
- Tiempo de relajación más corto... Las crecientes son más violentas pero, más cortas.

- sobre el cauce de los ríos

- En la cuenca media y alta la mayor velocidad de las crecientes aumenta la competencia del río... mayor carga de sedimentos gruesos.
- con las variaciones del hidrograma de crecientes ..... aumenta la carga de sedimentos.
  - con el menor tiempo de relajación ..... mayor carga de sedimentos.  
Elevación del nivel de base de los ríos.  
Formación de bancos de arena.  
a la altura de Famaillá hay un depósito de 1 m de arena.
  - con la elevación del nivel de base..... desbordes e inundaciones.

- con la acumulación aluvial  
se reduce la pendiente del río  
hay una pérdida de energía ..... disminuye la competencia  
en la cuenca baja  
y se producen más depo-  
siciones.
- sobre el suelo
- disminuye el aporte de materia  
orgánica ..... aumenta la erodabilidad  
por la mala estructura  
y la pérdida de la esta-  
bilidad estructural.
- impactos de las gotas de lluvia.... compactación de la capa  
superficial.  
aumenta la erosión por  
salpicadura.
- arrastre de partículas..... pérdida del horizonte A.  
degradación productiva  
de los suelos.

\*\*\*\*\*

## 6. EL ORDENAMIENTO ECOLOGICO DEL TERRITORIO.

Concepto: El objeto del ordenamiento es para Lajugie (11), es el de crear una organización racional del espacio, a través de un conjunto de acciones, donde se apliquen medidas apropiadas para establecer condiciones de estabilidad en el uso del espacio que lleve a mejorar las condiciones de vida de la población.

El ordenamiento ecológico del territorio, es una acción voluntaria, que tiende a la búsqueda de un equilibrio a largo plazo del espacio mediante decisiones preestablecidas y con un modelo preconcebido.

En todo proceso de ordenamiento del territorio, los ejes de acción son:

- \* eje ecológico: a través de tecnologías apropiadas, se intenta reforzar los elementos del ambiente, para organizar un proceso de retroacciones negativas que permita la autoorganización del paisaje, en torno a una estabilidad a largo plazo.
- \* eje económico: la estabilidad del paisaje, sirve de sostén a la empresa agrícola y es la base para un desarrollo sostenido en el largo plazo.
- \* eje social: evitar los impactos sobre el habitat y que aporte seguridad a la población.

### 6.1. Zonificación de la cuenca.

Como sistema heterogéneo y dinámico, en la zonificación de una cuenca es necesario tener en cuenta el concepto de:

#### 6.1.1. Regiones polarizadas o funcionales.

El concepto de región polarizada, se aplica al espacio considerándolo como un campo de fuerzas. Coincide, por lo tanto, con el concepto de sistema abierto o sea donde hay entrada y salida de materia y energía.

La región polarizada, es un espacio heterogéneo, con estructuras contrastantes y un marcado carácter anisotrópico horizontal. Sin embargo, las diversas partes que lo componen se complementan y mantienen una coherencia a través de múltiples interacciones funcionales,

Las cuencas hidrográficas son un ejemplo típico de región polarizada donde las distintas secciones, están unidas a través de una red hidrográfica que transporta y trasmite materiales y energía de una zona nodal de alta energía potencial (cuenca alta y media) a un sumidero don

de se disipa la energía y se descarga y deposita los materiales (cuenca baja). Mapa N°: 5.

La cuenca es una región polarizada, que por su clara delimitación espacial, mantiene un funcionamiento autónomo y donde la red hidrográfica es la expresión de su funcionamiento.

#### 6.1.2. Los factores ambientales en el proceso de ordenamiento.

La cuenca es un elemento complejo integrado por infinitas variables. Es por ello necesario, a través de un análisis sistémico, las variables esenciales o pertinentes, cuyo manejo permitirá regular al sistema.

Tenemos así:

- Factores rígidos: Son factores difícilmente alterables, que forman el marco ecológico del sistema y con sus condiciones tipifican al ambiente.

Son virtualmente invariables y no son susceptibles de cambios antropogénicos. Ellos son:



- Factores climáticos: elementos que caracterizan al Macroclima-Temperatura-Precipitaciones (volumen e intensidad).
- Factores fisiográficos: Elementos que integran el Macrorelieve-Estructura tectónica-Morfometría.
- Factores flexibles: Son factores regulables fácilmente por acción del hombre. Es importante detectarlos en cada zona, ya que son medios accesibles para dar normas de buen manejo y son la base de las tecnologías apropiadas.

Entre ellos tenemos:

- Factores edáficos: estabilidad estructural.
- Factores fisiográficos: suavización de la energía del relieve.
- Factores climáticos: neutralización de la energía cinética de las precipitaciones.
- Factores bióticos: manejo de la repoblación forestal.

### 6.1.3. Principios generales de un ordenamiento territorial

Todo proyecto de ordenamiento territorial se apoya en los siguientes principios generales:

a) el agua que escurre (flujo superficial) es siempre nociva ya que:

- no sirve para la vegetación;
- no aporta provecho a la zona donde cae;
- su rápida eliminación aumenta las condiciones de aridez ambiental;
- alimenta a las crecientes;
- arrastra partículas del suelo (aumento de carga en los cauces);
- impide el humedecimiento de las capas profundas del suelo;
- aumenta los procesos de retroacción positiva.

b) La cobertura vegetal es siempre un factor favorable a un buen equilibrio natural ya que favorece los procesos de retroacción negativa que contribuyen a:

- neutralizar el impacto de la energía cinética de las lluvias;
- aumentar la "rugosidad" del terreno y por ello controlar la energía gravitacional y la velocidad del agua de escorrentía;
- aumentar el contenido de materia orgánica de los suelos contribuyendo a su estructuración y mejorando la estabilidad estructural de los mismos.

- c) el sobrepastoreo, es siempre negativo ya que disminuye la cobertura vegetal, aumenta la escorrentia y la carga de sedimentos.
- d) La cuenca es una región polarizada donde existe un nodo de alta energía en la cumbre y por lo tanto la neutralización y estabilización debe hacerse desde arriba hacia abajo.
- e) remodelar la cuenca, es un programa múltiple, ya que implica un remodelamiento de las actividades agrosilvo pastoriles, y mediante las cuales, organizar un sistema de regulación y control que neutralice los efectos negativos y favorezca la autoorganización.

#### 6.1.4. Zonificación de la cuenca.

De acuerdo a las características de las mismas, se pueden señalar tres secciones: (Mapa N<sup>o</sup>: 6 )

- 1.- medios muy inestables;
- 2.- medios inestables;
- 3.- medios estables.

##### 1.- Medios muy inestables:

Tienen un alto potencial morfogenético. Intensas acciones de morfogénesis. Abarca al espacio

comprendido por las cuencas media y alta, con alturas superiores a las de la cota de 500 msnm

Se deben diferenciar dos sectores:

a.- cuenca alta: a altura superior a los 2000 msnm.

La causa de la inestabilidad está determinada por los siguientes factores condicionantes:

- relieve excesivo y accidentado-Pendientes fuertes;
- vegetación rala. Arbustal xerófilo.
- Precipitaciones concentradas en verano. Tormentas de gran intensidad;
- Suelos sueltos predominantemente limosos.

b.- Cuenca media: a altura comprendida entre los 500 y los 2000 msnm.

La inestabilidad está determinada por:

- Relieve excesivo-Pendientes fuertes y prolongadas;
- Clima perhúmedo-Precipitaciones torrenciales;
- Suelo suelto tendencia arenosa;
- vegetación: Bosque montanos-Buena protección y buena cobertura vegetal. En condiciones de equilibrio la vegetación ejerce una buena regulación.

- antrópicos: acciones desestabilizadoras, principalmente por deforestación y ampliación del área agrícola.

## 2.- Medios inestables

Abarca al espacio que comprende al pedemonte entre las cotas de 400 y 550 msnm. Las causas de la inestabilidad son:

- relieve - Pendientes moderadas de 1% a 5%
- clima : Húmedo a Perhúmedo -Lluvias torrenciales
- suelo- texturas sueltas - tendencias arenosas
- vegetación: Totalmente transformada-predominan los cultivos de caña de azúcar.

## 3.- Medios estables

Abarca a la Llanura deprimida. Se caracteriza por tener escasos procesos mecánicos por su bajo potencial morfogenético.

Las causas de su estabilidad son:

- relieve - chato o cóncavo, con pendientes del 0,3%
- clima - Hay lluvias torrenciales-gran acumulación de agua superficial, a pesar de lo cual hay una débil intensidad de la actividad geodinámica externa.

#### 6.1.5. Estrategias a adoptar

La estrategia a adoptar se basa en la desactivación energética y por lo tanto es necesario trabajar desde la cumbre hacia abajo. Mapa N<sup>o</sup>: 7.

La secuencia de medidas a adoptar son:

##### I. Estabilidad de la cuenca alta.

1.- Crear el Parque Aconquija tomando como base la cota de 2500 msnm. Hubo ya un proyecto que tuvo media sanción en la Cámara de Diputados de La Nación.

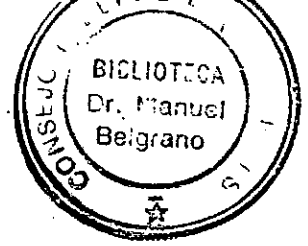
2.- Impedir la acción del ganado exótico (ovejas, caprinos, bovinos) ya que destruyen una vegetación que naturalmente es escasa y con el pisoteo (pezuñas) contribuyen a aflorar al suelo para la erosión acelerada.

Es necesario impedir la quemazón del pastizal que efectúa un buen control de la escorrentía y de las crecientes.

3.- Estabilización de los cursos de agua: a través de obras rústicas de protección.

- \* Obras rústicas de protección: estas obras persiguen el fin de permitir el desarrollo inicial de la vegetación y evitar el proceso de erosión laminar y en cárcava. Con el único material disponible en la zona: la piedra, se podrán construir:
  - \* Muros de contención: de piedra acomodada en seco, se colocan en forma escalonada con las de mayor peso en la parte superior.
  - \* Fajinadas: consiste en el prensado de ramas atadas con alambre, materiales que deberán ser transportados hasta el lugar, desde la cuenca media y baja. Los tramos de fajinadas son de 9 a 10 mts. de largo y se colocan en forma escalonada sobre el terreno, separadas en función de la pendiente. Las terrazas que se van formando, permiten la implantación de nuevas especies vegetales.
  - \* Empalizadas: consiste en el entrelazamiento de ramas o alambre tejido, con estacas separadas entre sí de 0,80 a 0,90 mts., siguiendo las curvas de nivel.
  - \* Diques en piedra: alcanzan una altura máxima de 2,50mts. debiéndose proteger el pie del mismo, a fin de evitar el vuelco del paredón, con piedras acomodadas sujetas con estacones.

Deben ser anclados en las márgenes del cauce y contar con un vertedero en la cresta que encauce las aguas ver-



tientes hacia la ladera más resistente.

Es importante la apertura de orificios en el muro (mechinales) que permitan al paso del agua y retengan el sólido a fin de disminuir la fuerza hidráulica de volcamiento.

Las obras rústicas de protección podrían ser ensayadas durante un ciclo hidrológico completo, a fin de observar su comportamiento y seleccionar la más adecuada técnica y económicamente. (Ver Gráfico Nº 2.6)

## - II. Cuenca media.

### \* Planificación y Contralor de las explotaciones forestales:

El acelerado desmonte que se realiza en la cuenca media, a nivel industrial, provoca la disminución de la cubierta vegetal, que en estas altitudes se convierte en un factor fundamental en la cadena del ciclo hidrológico, favoreciendo la intercepción, la infiltración y la evapotranspiración y disminuyendo la alta escorrentia originada por el mayor milimitraje de precipitación de la cuenca.

Por otro lado, la metodología de transporte (por arrastre) de rollos, inicia el proceso de erosión laminar y en surco, que finaliza con el desmoronamiento de márgenes de los ríos.

Sin demora alguna debe encararse el relevamiento periód-



dico de la masa boscosa a fin de conocer su evolución, realizándose a su vez un control estricto de la explotación de superficies y especies autorizadas para desmonte, lo cual debe surgir de una responsable planificación previa.

Estas tareas deberían ser llevadas a cabo por los organismos provinciales y nacionales competentes, en coordinación con los propietarios particulares de las explotaciones y con la opinión de oficinas ambientalistas locales.

Es conveniente declarar a los mismos como Bosques protectores y reglamentar estrictamente su uso.

\* Diques en piedra: para evitar la erosión de este tramo del terreno se propone la construcción de una serie de diques transversales dispuestos de manera que la pendiente entre ellos, alcance el valor de la "pendiente de compensación", denominada así porque de mantenerse la velocidad, a la deposición de algún material le corresponderá la incorporación de otro equivalente a la corriente de agua, de manera que la proporción de acarreo se mantendrá constante. Con esta "escalera" que se crearía, de cortos tramos con pendiente de compensación, convertimos un curso desequilibrado en la suma de pequeños tramos en equilibrio. El cálculo de la pendiente de compensación es complejo y depende de numerosas variables interdependientes, como el caudal líquido, caudal sólido de

transporte, volumen medio de las partículas, etc., y es es timado para nuestra zona serrana en un 7%. Con este valor se deberá calcular el Espaciamiento entre diques y la cantidad a construir en determinado tramo, mediante la siguien te ecuación:

$$\underline{l = H / (J - j)}$$

donde:

- l = Espaciamientos entre diques (mts.)
- H = Altura de los diques (mts.) : menor a 2,50 mts.
- J = Pendiente natural : 12%
- j = Pendiente de compensación estimada en 7%

La realización del proyecto puede inclusive dividirse en dos etapas, a fin de hacerlo menos oneroso, espaciando los diques a dos veces la distancia calculada, para luego inter calar los restantes en otra etapa posterior y a su vez se comprueban los resultados que producen (obras experimentales). Ver Gráfico Nº: 27.

Es importante tener en cuenta que la corrección del torrente debe comenzarse siempre desde aguas arriba, e irse construyendo obras o implementadas acciones hacia aguas a bajo.

Estos diques deben estar muy bien calculados, por su costo y por el daño que puedan causar aguas abajo. Las varia-bles principales a tener en cuenta en su cálculo son:

- \* Caudal pico de crecida: calculado en  $300 \text{ mts}^3/\text{seg.}$  para una recurrencia de 10 años, a una altitud de 1.500 mts.sobre nivel del mar.
- \* Fuerza de empuje de agua y sólidos;
- \* Sub Presión;
- \* Succión de la lámina vertiente;
- \* Fuerza de choque de cuerpos flotantes;
- \* Material del lecho de fundación;
- \* Peso de la obra a construir;
- \* Otras variables de menor importancia;

Es de mayor importancia en este tipo de obras no descuidar la Inspección, Reparación y Conservación de las mismas, debiendo realizarse periódicamente o después de eventos climimáticos extremos.

Para el área en estudio, se recomiendan obras que requieran materiales y mano de obra local, que sean efectivas y económicas. Existen básicamente dos tipos de diques transversales:

- \* Diques de retención: su función es retener materiales, elevando la altura del lecho tendiendo a la pendiente de compensación y se construye en ensanchamientos de la garganta.
- \* Diques de consolidación: consolida el lecho y las laderas evitando su erosión y formando cuñas con sus aterrazamientos que se oponen al deslizamiento de laderas.

De éstos últimos, se recomiendan los siguientes tipos:

- a.- Diques en gaviones
- b.- Diques de escollera o de mampostería en seco.

Cada uno de ellos, posee una metodología de cálculo particular y presentan diversas disposiciones especiales, de los cuales se indicarán sólo algunas de ellas.

a.- Diques de gaviones

Presentan características de economía, sencillez y eficiencia, convirtiéndose en una herramienta interesante para la corrección fluvial y torrencial, estabilización de taludes y vertientes.

Consiste en el embolsado de piedras acomodadas con alambre tejido, presentando gran capacidad de acomodamiento, frente a asentamientos, sin perder solidez. Tam-

bién se construyen en forma de "cajas", con dimensiones normalizadas desde 01 mts. x 01 mts. x 02 mts. de largo, hasta 01 mts. x 01 mts. x 05 mts.

En el cálculo de estas obras, cuya vida útil dependerá de la calidad de los materiales con que se los construye, se indican valores límite aconsejables como que su altura no debe superar los 04 mts. y la lámina de agua variante debe oscilar entre 0,35 y 0,60 mts. Ver : Gráfico N<sup>o</sup>:28.

b.- Diques de escollera

Tiene sección trapezoidal y está conformado por piedras acomodadas de gran tamaño. Debe tenerse en cuenta y mucho cuidado con el espesor del coronamiento, el cual no puede ser inferior a la sexta parte de la altura del dique.

Si la altura máxima es de 04 mts., el espesor mínimo deberá ser de 0,70 mts. Deberá poseer un vertedero de demasía muy bien calculado, a fin de evitar el desbordamiento por encima del endicamiento.

Estas obras por su magnitud y costo, deberían ser encaradas por organismos oficiales mediante créditos especiales otorgados por entidades internacionales. Ver: Gráfico N<sup>o</sup>:29.

### III. Cuenca baja.

#### \*Obras de canalización, encauce y defensa.

Las obras de corrección ejecutadas en la garganta disminuyen la carga sólida transportada por el agua que arriba al lecho de deyección, por lo que incrementa su poder erosivo, tendiendo a formar un nuevo lecho profundizándolo y encajonándose. El material que se deposita aguas abajo puede provocar inconvenientes de invasión de tierras productivas, inundación de poblaciones, al elevar el nivel de fondo del cauce.

Para ello, deberá realizarse, cuando la situación lo indique, canalización y encauzamiento del curso de agua, reforzándose las márgenes con el material extraído del fondo o con espigones laterales de defensa. Estas obras requieren del concurso de máquinas pesadas para el movimiento de tierra, (por ejemplo: dragalinas), mientras que las obras de defensa pueden ser construídas con materiales rústicos (palos a pique, rieles de ferrocarril, alambre, etc.) o en gaviones, en función de los caudales aportados por el cauce. La canalización puede ser facilitada mediante el fomento de la extracción planificada de áridos desde

el lecho del río.

Debe evitarse en este tramo del terreno, la permanencia o la construcción de obras de cruce que obstruyen el libre paso del agua, estrangulando la sección e incrementando la deposición de materiales, como es el caso del puente vehicular ubicado inmediatamente aguas arriba del cruce de la Ruta Nacional Nº: 38.

Para aliviar la presión sobre la ciudad de Famaillá, es necesario "rejuvenecer" el cauce mediante dos cortes en los meandros que se encuentran aguas abajo, de tal manera de acortar la longitud del cauce, lo que producirá el aumento de la velocidad del agua y una mayor competencia del río que provocará el arrastre de los sedimentos depositados a la altura de la ciudad (Foto aérea Nº3.)

#### Evaluación y Planificación.

A los fines de especificar con mayor detalle el tipo y la magnitud de las obras y acciones que deben ser encaradas en este tramo, deben llevarse a cabo estudios hidrológicos y sedimentológicos que evalúen el volumen de sólidos aportados anualmente, recomendándose para ello la ejecución de batimetrías periódicas durante el verano.

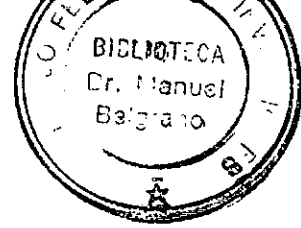
Mediante imágenes satelitarias, fotos aéreas y estudios topográficos de apoyo, se deberán determinar las áreas urbanas inundables con diferentes niveles de probabilidad de ocurrencia y proyectar las medidas de prevención y emergencia para el caso.

\*\*\*\*\*



## \*BIBLIOGRAFIA

- 1.- COMBA, A.- 1991- El Dpto. Famaillá-Estudio hidrológico-inédito.
- 2.- DERRUAU, M.-1969- Les formes du relief terrestre-Masson.
- 3.- FLEMING, G.-1979-Deterministic models in hidrology-FAO.
- 4.- FORMAN, R. y GODRON, M.-1986-Landscape ecology-Wiley.
- 5.- FOURNIER, F.-1960- Climated etosión -Presses univ.
- 6.- GREGORY, K. y WALLING, D.-1970-Drainage basin-Arnold.
- 7.- HORTON, R.-1945- Erosional development of straeams - en Gregory Drainage Basin.
- 8.- - - - -.-1950- Drainage basin caracterestics- en Gregory- Drainage basin.
- 9.- JAMIESON, D. y AMERMAN, C.-1969-Infiltration, throughflow and overland flow - en Gregory -Drainage Basin.
- 10.-KIRBY, M.-1969- Infiltration- throughflow and overland flow - en Gregory - Drainage basin.
- 11.-LAJUGIE-Delfaud-Lacour-Amenagement du territoire- Dalloz.
- 12.-LANGBEIN, W. y SCHUMM, S.-1958-Yield of sedimentation in raltion to mean annual precipitation en Gregory-Drainnage basin.
- 13.-MON, R.-URDANETA, A.-1980- Introducción a la Geología de Tucumán. Rev. <sup>As.</sup> Geol Arg - T.XXVII -3-309.



- 14.- MORGAN, R.-1986- Soil erosion and conservation -Longman.
- 15.- STRAHLER, A.-1965- Physical geography - Wiley.
- 16.- TRICART, J.- 1977- Precis de geomorphologie- Sedes.
- 17.- - - - - .1978- Geomorphologie applicable -Masson.
- 18.- - - - - .1965.-Principes et methodes de la Geomorpho  
logie- Masson.
- 19.- TUTTLE, S.-1970- Landforms and Landscapes - Brown Co.
- 20.- ZUCCARDI, R.-1990-La provincia de Tucumán- CFI.

\*\*\*\*\*