

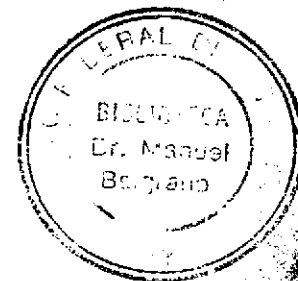
CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES

PROYECTO

ORIGEN Y DESARROLLO DEL SISTEMA URBANO EN LA PROVINCIA DE TUCUMAN

Subproyecto n° 1

"USOS DEL SUELO-FACTORES DE RIESGOS GEOLOGICOS  
DETERMINACION DE CUENCAS Y MICROCUENCAS"



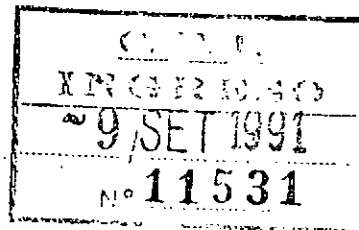
Experto: Dr. Luis Eduardo SUAYTER

Tercera Etapa: Departamentos Famaillá y Burruyacu

0/x12  
532  
VI

San Miguel de Tucumán, Setiembre 05 de 1991.-

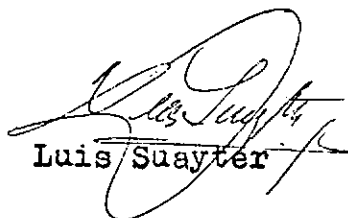
Al Señor Secretario General del  
Consejo Federal de Inversiones  
Ing. Juan José CIACERA  
San Martín nº 871  
1004 - Buenos Aires.-



Tengo el agrado de dirigirme al señor Secretario a fin de elevarle la segunda entrega correspondiente al año 1991, del Proyecto "ORIGEN Y DESARROLLO DEL SISTEMA URBANO EN LA PROVINCIA DE TUCUMAN" Subproyecto nº 1 "USO DEL SUELO-FACTORES DE RIESGO GEOLOGICOS DETERMINACION DE CUENCAS Y MICROCUENCAS".

Este estudio se realiza en los Departamentos de Famaillá y Burruyacu, de acuerdo al plan de trabajo ordenado por el Consejo Federal de Inversiones.

Sin otro particular, saludo al señor Secretario con las expresiones de su especial distinción.

  
Luis Suayter

Equipo de Trabajo

Luis Eduardo SUAYTER (Dr. en Geología-Consultor)

Colaborador Principal

Geólogo Juan Pedro MORENO (Geólogo Consultor)

Colaboradores en tareas especiales

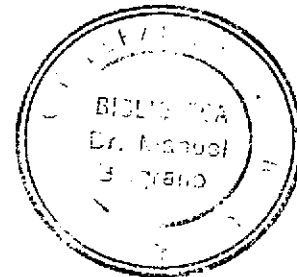
Geól. Elvira GUIDO - Fotointérprete

Geól. Beatriz NAVAS - Agua Subterránea

Geól. Edgardo FARIAS - Tareas de Campo

Dibujante

José Lacosegliaz (Estudiante Arquitectura)



## I N D I C E

- Pág. 1 Riesgo Sísmico y Microzonificación Sísmica. Introducción
- Pág. 3 Normas Antisísmicas Tucumánas. "NAT 88". Fundamentos. Introducción
- Pág. 16 Acciones frente a degradaciones del suelo o erosiones en áreas con deterioro natural provocado. Introducción
- Pág. 28 El Recurso agua. Consecuencias de su explotación sobre el Medio Ambiente. Introducción
- Pág. 34 Las inundaciones. Sus causas y consecuencias. Introducción
- Pág. 47 Sistematización de las Cuencas Hídricas. Introducción
- Pág. 54 Cuenca de los Ríos Sistematizados. Aspectos hidrológicos de su Administración. Introducción
- Pág. 65 Inestabilidad de los Meandros. Medidas de corrección
- Pág. 73 Modificaciones de los Lechos de inundación
- Pág. 76 Pequeñas presas de tierra - Su estudio y su Construcción. Introducción

## RIESGO SISMICO Y MICROZONIFICACION SISMICA

### Introducción

El presente capítulo se refiere al estudio y codificación de la actividad sísmica en la provincia de Tucumán, en base a las normas sismorresistente aplicada a la construcción, adaptadas a la provincia de Tucumán.-

Estudiosos en la materia de distintos países coinciden que la microzonificación de los suelos subyacentes referidos a sus propiedades geotécnicas, en particular sus parámetros mecánicos, juegan un rol fundamental en la interacción suelo-estructura, ya que es posible mostrar una correlación entre las características de los suelos y las intensidades sísmicas, a partir de la evaluación del comportamiento de los edificios y obras de artes durante y después del terremoto.-

El código de normas antisísmicas tucumanas (NAT 88) (Linares, Suayter y Paolasso), referidos a viviendas unicelulares y edificios, fue elaborado en base a estudios geológicos, ingenieriles, urbanísticos y sismológicos, tratando de completar estas disciplinas de una manera armónica y objetiva.-

A fin de perfeccionar y ampliar el mismo, profundizando lo ya conocido sobre el comportamiento de los suelos subyacentes en la provincia de Tucumán, antes cargas estáticas, dinámicas y accidentes naturales, con fines a una microzonificación funcional, se deberían realizar los siguientes estudios:

- 1.- Recopilación y sistematización de la información existente.-
- 2.- Estudios geológicos, geotécnicos y geodinámicos.-
- 3.- Estudios de sismología regional y local.-
- 4.- Estudios geotécnicos y de mecánica de suelos.-
- 5.- Estudios de cuencas hidrográficas.-

6.- Estudios de estabilidad de taludes naturales para la sectorización por coeficientes de seguridad.-

7.- Estudios de respuestas del terreno con instrumentación sísmica.-

En base a los estudios realizados y la intensidad con que se desarrollen los proyectos, estaremos en condiciones de brindar un código acabado y dinámico, controlado por profesionales idóneos, en permanente actualización.-

## NORMAS ANTISISMICAS TUCUMANAS

"NAT 88"

### FUNDAMENTOS

#### Introducción

Para evaluar el riesgo sísmico de una región se necesita:

a) La existencia de un tiempo largo de observación sismológica y buenos estudios geológicos y tectónicos, ya que los terremotos se presentan de forma totalmente aleatoria, en su magnitud e intensidad.-

b) A la vez tener en cuenta las condiciones económicas del país, donde el costo de la edificación está fuertemente regido por la situación geográfica, el clima, la geología próxima del lugar (la que proporciona los materiales), por el nivel industrial, técnico, social y también por las tradiciones regionales y valores culturales.-

c) Finalmente, debe recordarse que cualquier propuesta deberá aplicarse en un territorio modificado por la acción multiseccular del hombre y coexistir con estructuras no-reemplazables masivamente en el corto plazo y, algunas veces, ni siquiera en el largo plazo.-

Para lograr un avance en la materia se deben tener en cuenta los siguientes parámetros:

- 1.- Zonificación sísmica (con miras a una futura microzonificación).-
- 2.- Planos de epicentro. Estadísticas de terremotos.-
- 3.- Conocimiento de la interacción suelo-estructura.-
- 4.- Conocimiento de la neotectónica de la región.-
- 5.- Datos geofísicos precisos.-
- 6.- Consideraciones económicas-sociales.-

7.- Realidad del parque edilicio existente.-

8.- Desarrollo de alternativas constructivas y del diseño antisísmico.-

Las normas nunca pretenden que las edificaciones pueden resistir sin daño cualquier terremoto. Sólo tienden a que resistan sin daños, los terremotos de pequeña intensidad; sin daños estructurales, los de moderada intensidad y sin que se produzcan situaciones de hundimientos bruscos y/o de colapsos, en los de mayor intensidad.-

Como consecuencia de ello tanto las normas como las zonas sísmicas, son aproximaciones que se modifican a raíz de nuevos estudios que tienden a mejorar el conocimiento sísmico a través del tiempo.-

## 1.- ZONIFICACION SISMICA

Se necesita contar:

a) Con una red de aparatos registradores-estaciones sismológicas- con una densidad mínima de 40.000 km<sup>2</sup> por unidad(separación media entre ellas de 200 km). Nuestra provincia solucionaría este problema con una sola estación de registros múltiples y podría tomar todos los datos para sismos  $M > 5$ , correctamente, establecer periodicidades, etc.-

b) Registros de más de 600 km de distancia no son confiables, ya que la misma fórmula de Richter no es apta para eso (Volponi, F., Iras. Jornadas Argentinas de Ingeniería Antisísmica 1962, Tomo I, pág. 58).-

## 2.- PLANOS DE EPICENTROS Y ESTADISTICA DE LOS TERREMOTOS

Son el punto de partida para el estudio básico de una zonificación sísmica regional. Hasta ahora no hay una información completa y de ese modo no se cuenta con registros de la actividad sísmica "instantánea".-

Los fenómenos orogénicos, la actividad tectónica y la sismicidad del lugar, por lo general, salvo raras excepciones, nunca son ni estables ni coincidentes en la tierra, tampoco son ni siquiera parecidos en lugares equidistantes de un foco por la he-



terogeneidad del suelo y los factores físicos, que controlan la deformación de las rocas y de la corteza terrestre.-

Consecuentemente, es fundamental disponer de equipos de registros y que ellos funcionen siempre y en perfectas condiciones.-

Muchos años de supuesta tranquilidad sísmica son interrumpidos por un brusco incremento de la actividad. Nos toca observar de la sismicidad zonal, nada más que, como se decía, una "instantánea" de su evolución y la demora en conocer algunas de sus características cíclicas, en la estadística de la inestabilidad tectónica, puede conducir a irreparables pérdidas en la población, desde todos los puntos de vista.-

Es imperioso, cuanto antes, contar con registros fehacientes para lograr trabajos concretos.-

### 3.- CONOCIMIENTO DE LA INTERACCION SUELO - ESTRUCTURA

Las distintas tipologías de suelo, sus características de rigidez, de compacidad relativa y la prospección de acuíferos, hacen a un conocimiento que permite, a veces, amplificar o disminuir la violencia sísmica local.-

En rasgos generales, pueden aparecer variaciones en más o menos, de hasta 10 veces la violencia local referida al conjunto. Ello invita a una buena confección de un mapa geotécnico de la Provincia de Tucumán, donde los valores soportes admisibles estén reflejando características de acuíferos, compacidades, textura y probables asentamientos de los distintos estratos de suelos. Se deben extremar las medidas precautorias en lugares donde afloran rocas tales como yeso, calizas y areniscas con cemento carbonático y de baja cohesión, como también arcillas tixotrópicas, que pueden causar daños imprevisibles y/o acelerar los procesos de remoción en masa, como los deslizamientos de suelos por ejecuciones de taludes mal diseñados por esta causa, explotaciones de canteras a cielo abierto y ocupación de terrenos salinos so-

lubles e inundables que lleguen a saturar los estratos impermeables, haciendo que éstos embalsen el agua y modifiquen la escorrentía superficial y el entorno geológico del lugar.-

Es fundamental contar con un buen estudio de mecánica de rocas y de suelos, como así también de mapas de riesgos geológicos naturales y/o artificiales, en otras palabras, provocados por el hombre.-

En la provincia de Tucumán, de acuerdo a la zonificación sísmica realizada, se han mapeado estos tipos de terrenos en las cuencas intermontana y en las llanuras pedemontana, ondulada y aluvial.-

#### 4.- CONOCIMIENTO DE LA NEOTECTONICA

La neotectónica activa es significativa, entre otras manifestaciones de la actividad sísmica. Todos los procesos orogénicos actuales, son de por sí, expresiones de ella y dan conceptos globales sobre las posibilidades de una evaluación del fenómeno. Indicios de fallas activas, variaciones del campo magnético y otras anomalías geofísicas, indican inestabilidades corticales a tener en cuenta, aunque estén registrados en terrenos cuaternarios (Pleistocenos), cuyo intervalo de tiempo es muy largo comparado con la vida humana.-

#### 5.- DATOS GEOFISICOS

Perfiles topográficos, gravimétricos y magnetotélúricos, distribución de las aguas termales, resistencia y resistividad eléctrica del suelo, corrientes telúricas, modificaciones del período de vibración de los mismos en ondas P, anomalías gravimétricas y geotérmicas, emisión de radón, sirven para fortificar las estadísticas sísmicas, pues al haber coincidencia con la tectónica y en particular con la neotectónica, es posible delimitar las zonas sísmicamente activas, de lo contrario, se podría suponer que son lugares de relativo silencio sísmico.-

#### 6.- CONSIDERACIONES ECONOMICAS-SOCIALES

El problema económico de la Provincia de Tucumán, no ha sido descartado por los

autores de las presentes normas y por ello consideran que viviendas unicelulares, de hasta dos niveles de altura, con límite de medidas, ejecutadas con diseños, materiales y mano de obra de muy buena calidad, con sus controles estrictos de ejecución, en aquellos terrenos de conocida resistencia específica (determinada a través de ensayos serios) y estabilidades temporarias, pueden quedar liberadas del cumplimiento de estas normas, en base a la experiencia y antecedentes regionales conocidos sobre la actividad sísmica local.-

Lo expresado anteriormente lleva implícito un concepto fundamental: volver a construir correctamente.-

De este modo, el factor económico gravitante de las estructuras sismoresistentes, no incidirá en los costos de la construcción y permitirán el desarraigo de villas de emergencia situadas en terrenos de grandes riesgos geológicos, que ante un eventual temblor de tierra de baja intensidad, podría desencadenar una serie de acontecimientos imprevisibles.-

Consideramos que no se debe privar al trabajador de escasos recursos, el derecho a una vivienda digna y confortable.-

#### 7.- REALIDAD DEL PARQUE EDILICIO EXISTENTE

Casi todo el esfuerzo de prevención antisísmica esta confiado a nuevas construcciones en altura, de comportamiento elástico-plástico, con estructuras aporticadas de hormigón armado, soslayando la urgente problemática de miles de edificios no reforzados donde vive y trabaja la gente. Las construcciones antisísmicas -diseñadas y calculadas como tal- constituyen solo una pequeña proporción del total edilicio de la provincia.-

Debe encararse la obligada coexistencia de edificios realizados en distintas épocas, como realidad insoslayable de nuestras ciudades. La figura jurídica de la medianería permite estructuras resistentes compartidas donde nuevos materiales,

aplicados con criterios actuales, se superponen a construcciones preexistentes no compatibles. Incluso debe aceptarse que la tecnología de hoy, será obsoleta en un futuro inmediato.-

Y no debe olvidarse la incuestionable pervivencia de edificios y conjuntos arquitectónicos que, por su valor histórico o representatividad material de un determinado momento de nuestra cultura (patrimonio urbano - arquitectónico), deben protegerse y conservarse para convivir armoniosamente en la ciudad actual, porque constituyen la presencia cotidiana de nuestra identidad como pueblo de nuestra nación.-

La falta de medidas precautorias adecuadas sobre estos aspectos, agrava día a día los potenciales efectos destructores de un movimiento sísmico.-

#### 8.- DESARROLLO DE NUEVAS ALTERNATIVAS CONSTRUCTIVAS Y DE DISEÑO ARQUITECTONICO

Es necesario volcar mayores esfuerzos en el estudio y aplicación de sistemas y técnicas que mejoren la resistencia sísmica de estructuras ejecutadas con materiales disponibles en la región. Su menor costo redunda en un mayor aprovechamiento de los escasos recursos financieros disponibles y en un mejoramiento de la calidad de vida de la población.-

La resistencia sísmica de muros de albañilería (ladrillo, piedra, mampuestos en general) deben mejorarse mediante soluciones más racionales. Cuando fuera necesario, los refuerzos previstos deben ser de fácil construcción y bajo costo, reduciendo su número pero aumentando su eficacia. Viviendas de madera correctamente reforzadas pueden soportar grandes distorsiones sin colapsarse.-

Es necesario recuperar, científicamente, antiguas técnicas tradicionales dictadas por experiencias multigeneracionales. Edificios antañones correctamente dimensionados y contruídos muestran menos deterioro que algunas construcciones más recientes, diseñadas con técnicas y materiales modernos, pero mal realizadas. El uso de trabas de madera dura inmersas en muros portantes asentados o contruídos en barro, documen-

tan su eficacia en edificios centenarios. La experiencia mundial ha demostrado que casas de 2 pisos -incluso de adobes- sobrevivieron a sismos violentos, si tienen una estructura maderera de calidad, con uniones y detalles constructivos bien resueltos.-

Es necesario también contar con mano de obra idónea. La programación cíclica de cursos educativos destinados al mejoramiento y formación de operarios para la construcción, debe ser una política a implementar en forma inmediata con la participación de todos los sectores involucrados en este quehacer.-

Y finalmente reconocer como premisa fundamental que, los costos de construcción deben rebajarse racionalizando los sistemas constructivos y no malbaratando la calidad de las obras.-

### CONCLUSION

1.- Por todo lo expuesto y a pesar de la carencia de recursos ha nacido la inquietud de buscar una adaptación regional de las distintas normas elaboradas, realizadas con muy buenos principios técnicos. Siempre el Oeste-Centro Argentino (zona de máxima actividad sísmica), ha sido el polo de avanzada de nuestra técnica sismoresistente en Argentina, de allí que los autores en base a la información existente al respecto, proponen una serie de modificaciones, concordante con los estudios efectuados en Tucumán, durante varios años sobre la sismicidad local.-

En un país como el nuestro de un área continental de 3.200.000 km<sup>2</sup>, con longitud N-S de 4.100 km y E-O de hasta 1.100 km es imposible pensar en una homogeneidad normativa, ni mucho menos en una zonificación sísmica integral. Hay que reconocer que es sólo un esbozo de rasgos generales lo que se ha hecho. Es necesario que cada región y/o provincia contribuya con su esfuerzo a un mejor conocimiento sísmico nacional.-

2.- Una casa sencilla y homogénea en su forma y diseño estructural, de buena ca-

lidad, sobre terreno firme ya es de por sí antisísmica.-

3.- Estas normas estarán sujetas a revisión a medida que se profundice en el conocimiento sísmico integral de la región. Se abre simplemente un camino, orientador de futuras investigaciones, pero nunca el definitivo.-

A continuación se transcribe el capítulo I, de Las Normas, que involucra la microzonificación sísmica de la provincia y la autoridad de aplicación.-

En virtud de las normas antisísmicas existentes en la República Argentina, adecuando y reglamentando las mismas para la provincia de Tucumán, se establecen las presentes normas, para ser aplicadas en los proyectos y ejecuciones de toda obra, ya sea pública o privada, emplazadas en el territorio de la Provincia.-

#### Capítulo 1 - OBJETO, PRINCIPIOS Y APLICACION DE LA NORMA

Se trata de requisitos mínimos a observarse en los proyectos y ejecuciones de las construcciones, dotándolas de una seguridad relativa de protección, puesto que es imposible controlar las peligrosidades de fallas geológicas activas, de corrimiento de tierras, de anisotropías mecánicas del suelo, de modificaciones por la presencia del agua intersticial en el mismo y del fenómeno de resonancia estructural.-

##### 1.1.- Objetivos

- a) Proteger la vida humana.-
- b) Disminuir la probabilidad de daños físicos a las personas.-
- c) Minimizar, en lo posible, el colapso de construcciones por sismos de gran intensidad y baja probabilidad de ocurrencia, limitando los daños a niveles económicamente admisibles.-
- d) Impedir daños a construcciones o casas aledañas.-
- e) Evitar daños a construcciones, por sismos de mediana intensidad y alta probabilidad de ocurrencia.-
- f) Imponer limitaciones urbanísticas y arquitectónicas que disminuyan el riesgo ,

potencial en caso de sismos.-

g) Impedir toda urbanización especulativa o el asentamiento ilegal de villas de emergencia en terrenos de alto riesgo geológico y vulnerables a cadenas de desastrosos acontecimientos, con elevada probabilidad de ocurrencia y proyecciones socioeconómicas imprevisibles.-

h) Procurar un equilibrio costo-beneficio en la factibilidad sismorresistente, ya que en la práctica, solo algunos edificios estratégicos pueden asumir erogaciones presupuestarias que tiendan a hacerlos sismo-invulnerables (prescindiendo hipotéticamente de la ruptura de los suelos y resonancia del edificio).-

i) Asegurar condiciones mínimas para la continuidad de los servicios urbanos vitales y facilitar la reorganización de la vida, durante el período post-desastre.-

j) Proponer a diseñar y construir correctamente.-

k) Prescribir lineamientos generales para la recuperación y protección antisísmica de edificios existentes.-

l) Institucionalizar el control de las normas antisísmicas propuestas.-

#### 1.2.- Aplicación

En general en toda obra y en particular en aquellas con imprescindible continuidad de funcionamiento, aún frente a terremotos extraordinarios de consecuencias catastróficas para la comunidad (centrales nucleares, diques, puentes, tuberías subterráneas principales para conducción de agua, interconexiones eléctricas y sistemas de comunicaciones, estructuras de ferrocarriles y carreteras, complejos industriales que elaboren sustancias tóxicas o inflamables y otras) para las que deberán realizarse estudios particulares puntuales de riesgo sísmico, geológico y de mecánica de suelos en el lugar de su emplazamiento, debiéndose someter su aprobación a todos los organismos oficiales competentes.-

#### 1.3.- Autoridad de Aplicación

Para la aplicación de las normas antisísmicas en la Provincia se crea el Depar-

tamento de Seguridad Edilicia (D.S.E.) en el ámbito de la Dirección de Defensa Civil.-

1.3.1.- Serán funciones del Departamento de Seguridad Edilicia (D.S.E.):

- \* Fijar zonas y áreas de la provincia y de cada centro urbano, según el grado sísmico que presente y establecer las limitaciones urbanísticas pertinentes.-

- \* Prescribir distancias, medidas, índices de seguridad y otras normas dirigidas a evitar que se ponga en peligro la vida humana en casos de sismos. El ejercicio de tal facultad es independiente y prioritario respecto a la aplicación de reglamentos edilicios y a las disposiciones de planes reguladores o códigos urbanísticos.-

- \* Verificar y controlar el diseño estructural-arquitectónico, el cálculo sismo-resistentes, los ensayos de mecánica de suelos, el ambiente geotectónico de la obra o urbanización y todo otro aspecto coadyuvante a una mejor prevención sísmica y protección de las personas.-

- \* Aprobar todo proyecto de obra nueva, o de trabajos de conservación, remodelación, ampliación y/o consolidación de edificios existentes, como también dictaminar sobre cualquier problema técnico que surgiera, siempre en lo referido a su seguridad sísmica.-

- \* Exigir la demolición, modificación y/o restitución a su estado anterior, de toda obra que se realice contraveniendo las disposiciones del presente reglamento o las que se agregaren. Podrá asimismo ordenar la suspensión de los trabajos iniciados sin su aprobación.-

- \* Establecer requisitos técnicos respecto a tipo y tecnología de los materiales y a la calidad de la mano de obra que se utilice en construcciones a proteger sísmicamente.-

- \* Habilitar a los profesionales y operarios que pueden intervenir en obras anti-sísmicas especiales.-



\* Crear un Registro permanente de Profesionales y Operarios habilitados para proyectar y/o ejecutar el tipo de obras especiales previstas en este reglamento.-

\* Recopilar, catalogar y archivar todo antecedente, información documentación, etc. relacionado con el conocimiento del riesgo sísmico en la provincia.-

\* Actualizar permanentemente el mapa de riesgo geológico provincial y periódicamente estas normas sismorresistentes.-

\* Proponer planes de colaboración y coordinación con otros entes nacionales e internacionales que tengan como finalidad la prevención sísmica.-

\* Intercambiar información con organismos y especialistas, radicados dentro o fuera del país, sobre experiencias y reglamentaciones antisísmicas.-

\* Promover estudios e investigaciones sobre temas específicos.-

\* Programar cursos especiales de capacitación.-

\* Asumir toda labor imprescindible para mejorar la seguridad en toda obra realizada en los diversos campos de la arquitectura, la ingeniería o el urbanismo.-

\* Cooperar asistiendo técnicamente en problemas específicos a quien lo solicite.

\* Elaborar su propio reglamento y proponer su organigrama de funcionamiento.-

1.3.2.- La estructura del Departamento de Seguridad Edilicia deberá cubrir como mínimo las siguientes áreas:

\* Control de Diseño y Cálculo antisísmico a cargo de un profesional Ingeniero Civil o en Construcciones con idoneidad.-

\* Control de Mécanica de Suelos, a cargo de un profesional Ingeniero Civil o en Construcciones con idoneidad.-

\* Control de Ambiente Geológico en el emplazamiento a cargo de un profesional Geólogo especializado en geología aplicada a la Ingeniería y/o Estructural.-

\*Control de calidad de la mano de obra, a cargo de un profesional de la Ingeniería

ría o de la Arquitectura vinculados al arte de la mano de obra, con idoneidad.-

\* Control de calidad de los materiales, a cargo de un profesional de la Ingeniería o la Geología especializado en ensayo de materiales, con idoneidad.-

\* Control de Prevención sísmica en el diseño Arquitectónico y Urbanístico, a cargo de un profesional Arquitecto especializado en urbanismo y prevención sísmica, con idoneidad.-

1.3.3.- La autoridad de aplicación podrá adoptar todas las medidas de prevención sísmica que considere necesarias durante la ejecución de las obras de ingeniería o arquitectura, conforme al artículo 2.611 del Código Civil al establecer que: "Las restricciones impuestas al dominio privado sólo en el interés público, son regidas por el derecho administrativo"; que es un derecho reservado por las Provincias.-

#### 1.4.- Zonificación sísmica

Considerando su actividad sísmica, el territorio tucumano se zonifica de acuerdo al mapa de la figura A. Dicho mapa define:

\* Zona I: comprende: los departamentos de Burruyacu, Trancas, Tafí Viejo, Yerbabuena, Capital, Lules, Famaillá, Norte de Tafí del Valle, Noroeste de Monteros, Noroeste de Leales y Noroeste de Cruz Alta, quedando delimitada por un pseudo-poligonal que pasa por las poblaciones de Amaicha del Valle, Tafí Viejo, Monteros, Simoca, Leales, Los Ralos y Gobernador Garmendia, cubriendo toda la superficie hacia el límite Norte de la Provincia de Tucumán, con la Provincia de Salta.-

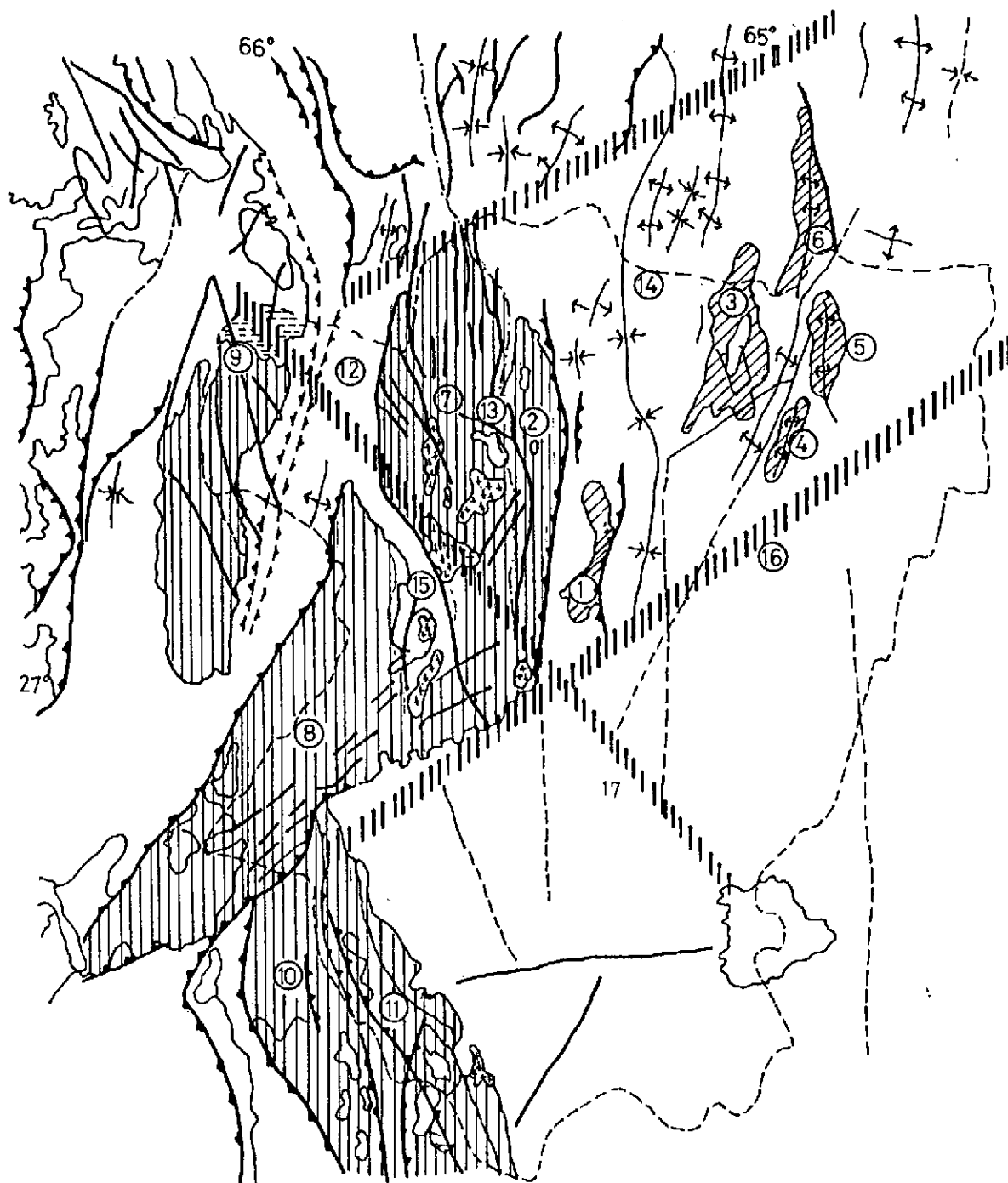
\* Zona II: abarca áreas parciales y totales de los siguientes departamentos: Sud de Tafí del Valle, Centro y Sud de Monteros, Chicligasta, Oeste de Río Chico, Oeste de Juan B. Alberdi y Oeste de La Cocha. Como poblaciones importantes se mencionan: Alpachiri, Capitán Cáceres, Santa Ana y Los Pizarros.-

\* Zona III: engloba las siguientes áreas departamentales: Centro de Cruz Alta, Noroeste y Sud de Leales, Centro y Sud de Simoca, Centro y Este de Río Chico, Oeste

de Juan B. Alberdi, Centro y Este de La Cocha y Graneros. Como poblaciones importantes se pueden citar: Concepción, Aguilares, Juan B. Alberdi, La Cocha, Graneros, Monteagudo, Santa Rosa de Leales, Estación Aráoz y Lamadrid.-

\* Zona IV: corresponde al Sureste del Departamento de Burruyacu, Este de Cruz Alta y Este de Leales. Como poblaciones importantes se pueden citar: Gobernador Piedrabuena y Las Cejas.-

Esta zonificación está basada en la estadística de terremotos de  $M > 5$ , control tectónico y litológico, neotectónica activa, efecto mecánico roca-suelo y ambiente geológico (ver fig. 2 y 3).-



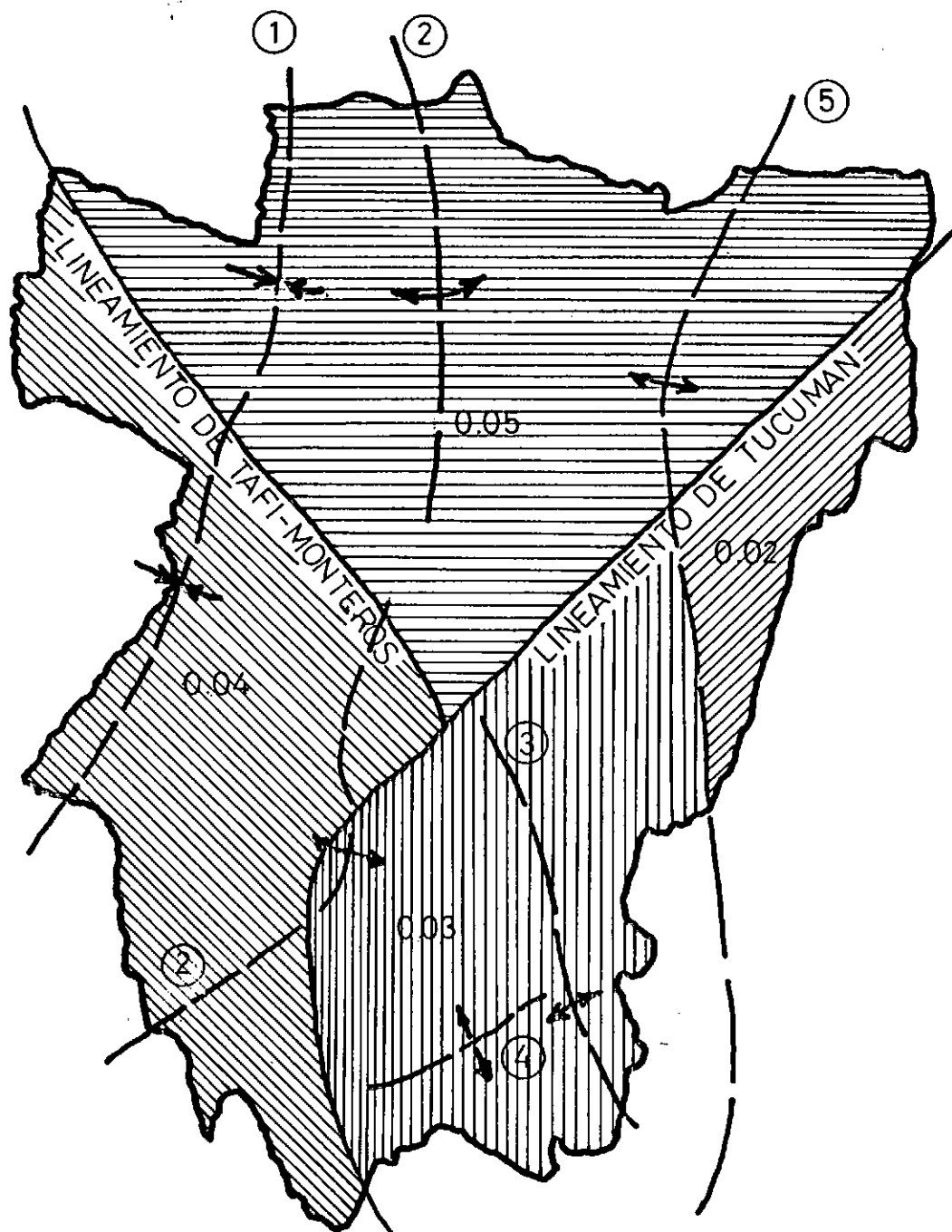
# REFERENCIAS

## BOSQUEJO GEOLOGICO-ESTRUCTURAL

- |   |                               |    |                                   |
|---|-------------------------------|----|-----------------------------------|
|   | BASAMENTO METAMORFICO ALTO G° | ④  | SIERRA DE LA RAMADA               |
|   | BASAMENTO METAMORFICO BAJO G° | ⑤  | SIERRA DE EL CAMPO                |
|   | BASAMENTO GRANITICO           | ⑥  | SIERRA DE LA CANDELARIA           |
|   | BASAMENTO MET. ALTO Y BAJO G° | ⑦  | CUMBRES CALCHAQUIES               |
|   | FALLAS INVERSAS               | ⑧  | SIERRA DEL ACONQUIJA              |
|   | FALLAS                        | ⑨  | SIERRA DE QUILMES                 |
|   | FALLAS INFERIDAS              | ⑩  | DEPRESION DE LAS ESTANCIAS        |
|   | FALLAS INVERSAS INFERIDAS     | ⑪  | DEPRESION DE ESCABA               |
|   | EJES ANTICLINALES             | ⑫  | DEPRESION DE SANTA MARIA          |
|   | EJES SINCLINALES              | ⑬  | DEPRESION DE GONZALOS             |
|   | LINEAMIENTOS                  | ⑭  | DEPRESION DE CHOROMORO            |
| ① | SIERRA SAN JAVIER             | ⑮  | DEPRESION DE TAFI                 |
| ② | ALTOS DE VIPOS                | ⑯  | LINEAMIENTO DE TUCUMAN            |
| ③ | SIERRA DE MEDINA              | 17 | LIN. SALAR HOMBRE MUERTO MONTEROS |

POR : LUIS SUAYTER

# MAPA DE ZONIFICACION SISMICA PROVINCIA DE TUCUMAN



## REFERENCIAS

- 1-EJE CONVERJENTE SIERRAS DEL ACONQUIJA
- 2-EJE DIVERJENTE BORDE ORIENTAL VALLES CALCHAQUIES
- 3-EJE DIVERJENTE PEDEMONTANA SIERRAS DE GUASAYAN
- 4-EJE DIVERJENTE LAGUNAS LA COCHA - TACO RALO
- 5-EJE DIVERJENTE CERROS COLORADO - GUASAYAN

## ZONIFICACION SISMICA

	Co = 0,05	ZONA I
	Co = 0,04	ZONA II
	Co = 0,03	ZONA III
	Co = 0,02	ZONA IV

POR : LINARES - SUAYTER

## ACCIONES FRENTE A DEGRADACIONES DEL SUELO O EROSIONES EN AREAS

### CON DETERIORO NATURAL PROVOCADO

#### Introducción

#### Geología y planificación

El concepto de planificación física para el desarrollo de zonas urbanas y rurales, ha comenzado a ser aceptado en los países en vías de desarrollo y el crecimiento indiscriminado se está convirtiendo en algo del pasado.-

Cada día hay más conciencia de que planificar y ordenar el territorio, considerando las implicancias sociales, es algo esencial, si se quiere que las tierras se utilicen adecuadamente.-

La geología y la planificación están inseparablemente asociada, hecho que por desgracia no siempre se ha apreciado en toda su plenitud, consideramos que la primera acción contra la degradación del suelo, es la planificación.-

#### Planificación

Es el análisis de las necesidades humanas en cualquier zona urbana o rural y la síntesis ordenada de las características físicas que ayudarán a lograr las metas que se han desarrollado.-

La planificación comprende, en su principio, el uso inteligente de la tierra.

Tierra no es sólo el espacio blanco en los trozos de papel sobre los que el proyectista hace sus primeros esquemas para presentar sus ideas iniciales y posteriormente la más maduras. Tierra es la expresión superficial de los procesos geológicos que se han realizado a través de millones de años.-

El medio ambiente actual es el resultado de muchas influencias naturales modificadoras que han actuado a lo largo de ese tiempo. Los procesos biológicos, hidrogeo-

lógicos, climáticos y naturales de otro tipo, como también los antrópicos principalmente, se han combinado para dar lugar a la superficie actual de la tierra.-

En resumen: las interrelaciones profesionales son inevitables, aún en el ejercicio más sencillo de planificación.-

Para concluir citamos algunos ejemplos prácticos: En uso del suelo deben intervenir la Ingeniería Civil y Agronómica, la arquitectura paisajista y la geología. En estudios climáticos: Ingeniería Civil, Arquitectura, Arquitectura paisajista, Geología y Geografía en sus diversas disciplinas.-

#### Acciones de la Planificación

Nos limitaremos a puntualizar las principales características geológicas que deben considerarse al iniciar todo trabajo de planificación.-

1.- En cualquier lugar, lo primero a considerar es "la imagen general de la geología subyacente"; esto comprende la profundidad del lecho rocoso, el tipo y estructura del mismo y la naturaleza de los suelos superyacentes.-

2.- Considerar el clima es el segundo requisito básico. Debe buscarse el acceso a los registros del tiempo correspondientes al período más largo posible y de la estación registradora más cercana a la zona que se está planificando. De no existir esa estación, se recurrirá al mejor conjunto de registros de la estación más apropiada con fines de comparación, de acuerdo a lo que recomiendan los expertos en meteorología.-

3.- Los registros sobre la precipitación pluvial estarán intimamente relacionados con las condiciones de las aguas freáticas. Los registros anuales mostrarán si existen "áreas húmedas" o algunos manantiales intermitentes en el terreno que se está volcando la planificación, la profundidad y variación del depósito freático.-

También deberá estudiarse el drenaje natural y en que forma puede quedar afectado por los grandes cambios que provocará la pavimentación de los caminos y calles y el piso de las construcciones.-

Las "condiciones de crecientes" exigen consideraciones especiales, incluso en corrientes pequeñas. Deben delinearse las áreas inundables y excluirla como áreas residenciales.-

No sólo debe disponerse del agua; también debe considerarse su "abastecimiento". Si el agua se puede obtener de un río o lago, la ubicación de la toma y planta de tratamiento necesaria serán un elemento clave.-

4.- Debe hacerse el levantamiento de los suelos del lugar, así como muestrearlos e investigarlos, con exactitud, de modo que pueda conocerse su caracter geotécnico global. Posteriormente, en el lugar correspondiente a cada construcción, deben hacerse estudios más detallados. El estudio global mostrará, si hay suelos pocos comunes como lo son las arcillas expansivas, las cuales pueden causar problemas al levantar un terreno, en especial si se cubre con material impermeable como el concreto.-

5.- Debe investigarse exhaustivamente cualquier evidencia de derrumbe que se haya presentado de manera natural en el lugar; pueden ser indicadores de condiciones inestables del suelo, las cuales pueden prevalecer en otros puntos sin que se hayan revelados a través de deslizamientos. De la misma manera, deben examinarse los frentes expuestos de las rocas, en busca de inestabilidad de las mismas o de desprendimientos previos.-

6.- En el estudio de los suelos de un lugar, deben ponerse especial atención a cualquier depósito de arena y grava. Si las pruebas o ensayos sobre este material indican que es apropiado para usarse como agregado del concreto, se convierte en un recurso de valor, cuyo uso controlado se ha de considerar antes de realizar cualquier explotación sin planificación.-

7.- No debe descuidarse el estudio del subsuelo, mediante métodos directos (perforaciones y/o sondeos) o indirectos (geofísicos), ya que algunos servicios deberán localizarse en profundidad, requiriendo la construcción de túneles.-



## Problemas geológicos e ingenieriles de origen humano

### Extracción de áridos

En los Departamentos estudiados y particularmente en el Departamento Famaillá, en los ríos Colorado, Caspinchango y Famaillá, el problema de la extracción de áridos reviste una gran importancia.-

La Dirección Provincial de Minería, ha tomado las providencias del caso, pero nada puede hacer, a menos que la oportunidad favorezca, con los que extraen material pétreo de manera furtiva, como los camioneros y "paleros", quienes causan serios deterioros en el lecho, márgenes, obras de artes y de defensa emplazadas en los ríos, aumentando los daños, aguas abajo, a los campos vecinos por desvío del curso de agua, exponiéndolos a inundaciones no controladas. La fuerte pendiente de estos ríos, de características torrenciales en verano, torna peligros cualquier desviación o encause mal planificado, ya que incrementa la erosión lateral y el consiguiente zapado de las barrancas del lecho normal y de inundación, como también la erosión vertical de su cauce al aumentar la pendiente y por lo tanto la energía cinética del agua.-

Es importante que toda explotación de áridos en dichos ríos, sean realizada de una manera racional, controlada la misma por un profesional idóneo de la geología, como lo establecen las leyes en vigencias.-

### Contaminación de las aguas y eliminación de los desperdicios

Las fábricas instaladas en la zona de estudio, como también en toda la provincia están contaminando severamente los cursos de agua y el medio ambiente.-

Los ríos tucumanos se han convertido en una vía rápida y económica para que las industrias se deshagan de sus desperdicios, violando normas vigentes.-

Según la organización internacional "Green peace" la cachaza y la vinaza que los ingenios (5 de ellos con destilería de alcohol) arrojan al río Salí y sus afluentes, contaminan la cuenca como si recibiera la materia fecal de 6.820.000 personas.-

De acuerdo al Colegio de Biólogos de Tucumán, la industria alcoholera aporta el 60% de la contaminación con vinaza; por cada litro de alcohol destilado se producen entre 9 y 12 litros de desechos.-

La cachaza subproducto azucarero representa el 10% de los contaminantes. Papel del Tucumán el 20% (Departamentos más afectados Lules y Famaillá). Un 4% se debe a la industria citrícola, mataderos, embotelladoras y fábricas de caramelos. El 6% restante es humano y urbano.-

Como consecuencia de lo expuesto el embalse de Río Hondo, que cubre 42.000 hectáreas, es uno de los más contaminado del mundo.-

Investigadores del grupo "Ciencias del Ambiente" de la Universidad Nacional de Tucumán, señalan que durante la zafra muere un tercio de la fauna del embalse. En esta zona muerta no hay nada de oxígeno disuelto, mientras que antes de la zafra el valor máximo llega al 86%.-

La industria tucumana arroja una carga contaminante de 34.600 toneladas DBO (demanda básica de oxígeno), pero el agua no puede depurar más que 11.300 toneladas DBO/año.-

Entre los contaminantes inorgánicos hay: amoníaco, fosfato solubles, nitratos y sulfatos. También hay sólidos insolubles, moléculas de hierro y materia orgánica; en esta última categoría se detectaron microorganismos coliformes, aeróbicos mesófilos y enterobacterias.-

La contaminación ambiental ha alarmado a la conciencia de la población que ahora exige severas leyes de control. La implementación de las mismas obligará a cuantiosas inversiones, cuya necesidad nadie discute.-

#### Pozos absorbentes

Con el incremento de la población en las áreas estudiadas, se hace imprescindible construir redes cloacales y planta de tratamiento de estos residuos.-

Si bien estos pozos cumplen funciones higiénicas primarias, por lo general, dejan de funcionar al cabo de unos años (3 a 10) por colmatación e impermeabilización de las paredes y fondo, obligando a realizar otro en el mismo predio a escasos metros del primero.-

Esto produce la recarga artificial y contaminación de la napa freática que se encuentra próxima a la superficie, sobre todo en el Departamento de Famaillá. Esto trae concatenado otro problema, en los núcleos habitacionales que utilizan agua de pozos o subterránea para su consumo.-

La epidemia de Cólera producida recientemente (1991) es países andinos estaba ligada íntimamente a esta cuestión, fuera de otras enfermedades endémicas más corrientes, que afectan sobre todo a los niños de estas poblaciones.-

#### Expansión de los cultivos

El área cultivada ha tenido significativo incremento en el sector oriental de la provincia, límite con Santiago del Estero.-

Muchos campos labrados sin criterio conservacionista evidencia un gradual y sostenido avance de la erosión y salinización de los suelos, que se manifiesta en la disminución de los rendimientos de los cultivos y en casos extremos, en el afloramiento de los horizontes inferiores.-

En la llanura deprimida existen numerosos bajos topográficos en que se concentra el agua de origen pluvial o de desborde de los ríos, por carecer de un adecuado drenaje, produciéndose eflorescencia salinas.-

Como consecuencia de lo expuesto, 110.000 hectáreas de tierras agrícola ya están erodadas, 40.000 de ellas en forma severa y grave.-

#### Conservación del medio ambiente

##### Medidas

##### Reforestación y mejoramiento del bosque

Este tema ha sido tratado en profundidad al estudiar los Departamentos de Tafi

Viejo y La Cocha. De modo que también en esta etapa se formulará un proyecto de reforestación en los Departamentos de Famaillá y Burruyacu.-

El primer departamento presenta problemas/agudos<sup>mas</sup> que el segundo, en lo que a este tema se refiere. Pero la degradación de la tierra es importante en Burruyacu.-

Las características de desastre que presenta la zona de la cuenca del río Famaillá, tiene su origen en dos factores: la tala desmesurada e irracional de los árboles y el sobrepastoreo en la zona de alta montaña.-

Las 900 hectáreas que conforman la cuenca media del Famaillá, se encuentran las especies de mayor valor comercial (cedro, nogal e inclusive laurel), provocando la indefensión del suelo, su erosión, fenómeno de remoción en masa (deslizamientos, reptación y solifluxión) y la posterior acumulación de sedimentos en el lecho del río.-

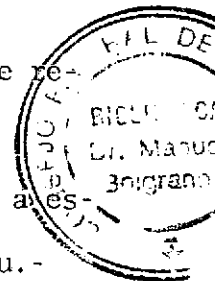
Muchas de estas explotaciones se realizan en forma furtiva y sin conocimientos de los propietarios.-

Otro importante peligro lo constituye el nivel que tiene el río Famaillá, por la sobrecarga de sólidos en su lecho, lo que trae aparejado un gran riesgo en una próxima inundación. (Enero de 1987 fue la última). Como se señaló anteriormente, el lecho se encuentra por sobre la línea de ribera.-

A esta situación se suma el sobrepastoreo: existen unas 4.000 cabezas de ganado, vacuno y caprino, en la zona serrana, que además de afectar la cubierta vegetal al comérsela, el pisoteo afloja el suelo y las sendas que producen se transforman en pequeños cauces, que al no tener sustentación, producen cárcavas que luego se transforman en deslizamientos de laderas.-

#### Restitución de tierras

La solución más eficaz, considerada hasta ahora, para preservar los suelos dañados por la deforestación y a su vez estabilizar los mismos, es la siembra de pastos y promover el crecimiento de la vegetación natural.-



Se ha puntualizado en la entrega anterior que el suelo desnudo está expuesto a la erosión pluvial y eólica, por lo que se hace imperativo tomar urgentes medidas para revertir esta situación.-

En este caso los ingenieros agrónomos y los biólogos deberán dar los lineamientos precisos y concretos, para cooperar con la naturaleza al utilizar la vegetación como protección del terreno.-

### Estabilización de taludes

Cuando se llevan a cabo excavaciones importantes o se construyen terraplenes, con frecuencia los taludes constituyen parte esencial del perfil final.-

Si se diseña bien en base a la información geotécnica más relevante, los taludes son estables pero necesitan protección, en especial si el suelo expuesto se erosiona con facilidad y las precipitaciones locales son abundantes.-

Por esta razón se debe utilizar la vegetación como complemento indispensable del proceso de excavación.-

A continuación enumeraremos algunas soluciones que prácticamente son las mismas, que se han sugerido, en el estudio de los Departamentos de Tafí Viejo y La Cocha.-

- 1.- Colocar manojos de arbustos cortados, en el borde exterior de cada capa sucesiva de relleno y compactar en forma especial cerca de los manojos. Esto proporciona estabilidad a los taludes mientras se establece el pasto o céspede que se planta.-
- 2.- Construir barreras simples de tablones y postes, de manera apropiada, para que sirvan a intervalos como trincheras de drenaje de los taludes con lo que se disminuye o elimina la erosión que se presenta durante una fuerte precipitación y después de ella.-
- 3.- Trazar líneas en los contornos de los taludes y encajar maderos cortos a lo largo de ellas, para instalar en posición horizontal manojos de arbustos cortados. Esta labor se puede realizar mientras se termina el corte o relleno, con lo que se propor-

ciona la estabilidad del talud justamente antes de que se siembre con el pasto que se seleccionó, Una vez que el mismo se arraiga, se puede plantar arbustos o incluso árboles pequeños, para lograr una cubierta permanente.-

4.- Cubrir el talud con una malla de alambre, asegurándola en el sitio mediante anclaje o clavos apropiados. Esta "telas geotécnicas" son muy apropiadas para conservar el suelo en su lugar mientras las semillas del pasto germinan y establecen sus pequeñas raíces, que al entrelazarse forman el cespel y proporcionan la mayor parte de todas las superficies permanentes incluso para el talud más empinado.-

Importante: La aplicación de vegetación en los taludes de tierra no sustituye a un diseño geotécnico apropiado, del que dependerá la estabilidad básica de todos los taludes.-

5.- La vegetación es esencial, por otra parte, para proteger la delicada superficie de los taludes estables. Una vez que se planta debe hacerse un mantenimiento y cuidado adecuado.-

### Minería y medio ambiente

En párrafos anteriores se ha señalado la importancia que tiene la extracción de áridos en las áreas de estudios, en especial en los ríos que conforman la cuenca Famallá-Colorado.-

En el Departamento de Burruyacu se realizó hasta hace unos 15 años, una intensiva explotación de calcáreos y yeso a cielo abierto, particularmente en la Sierra de La Ramada y El Campo.-

Si bien el medio natural mediante mecanismo propio recuperó la vegetación en los lugares de explotación, en otros fueron causas de grandes deslizamientos con la consiguiente pérdida de suelo y vegetación.-

La Dirección Provincial de Minería, ha establecido una serie de pautas obligatorias para la explotación de dichas canteras, mediante una adecuada planificación y

su posterior recuperación al medio físico.-

El proyecto presentado en la entrega anterior (1990), para el Departamento de Tafí Viejo, sobre "Rehabilitación o aprovechamiento de antiguas y recientes cante-  
ras en el área de San Miguel de Tucumán y zonas aledañas (Municipalidad de Yerba Buena, Tafí Viejo y Banda del Río Salí)" es válido para el Departamento de Burruyacu y Famaillá.-

#### Impactos ambientales

Se debe promulgar una ley que establezca: "Que antes de someter un proyecto de Obras Pública a la aprobación de los Organismos y Entidades públicas nacionales o provinciales, solventados con fondos del Estado, se deberá hacer un estudio del probable impacto que el proyecto tendrá en el medio ambiente y sus opciones".-

Se adjunta una guía de El Council on Environmental Quality de los Estados Unidos, que puede adaptarse perfectamente a nuestras necesidades, sobre como debe realizarse este estudio lo más completo posible.-

#### Problemas con la Fauna y Usos de plaguicidas

Zoólogos y Botánicos del medio han advertido el efecto de la caza furtiva sobre un grupo de animales en vías de extinción o ya prácticamente extinguido en los Departamentos estudiados.-

Desde el punto de vista ecológico es un problema incierto, pues desconocemos los mecanismos locales sobre la supervivencia de un determinado ecosistema.-

El caso concreto es que la extinción de ciertas aves de rapiñas trajo como consecuencia que grandes poblaciones de pájaros y roedores produjeran cuantiosos daños en los cultivos, particularmente en el Departamento de Burruyacu.-

Lo mismo que el uso indiscriminado de plaguicidas permitió, no sólo interrupciones en el ecosistema, sino también seria intoxicaciones a personas y usuarios de los mismos.-

TABLA 49.1 Bosquejo de una matriz de información para las declaraciones del impacto en el medio ambiente

Características actuales del medio ambiente	Acciones propuestas que pueden tener impacto en el medio ambiente										
	Modificación de régimen	Cambios en la tierra y las construcciones	Extracción de recursos	Procesamientos	Alteración de la tierra	Renovación de recursos	Cambios en el tránsito	Tratamiento de desperdicios	Tratamientos químicos	Accidentes	
Tierra	6	13	19	7	15	6	5	11	14	5	3
Agua	7										
Atmósfera	3										
Procesos	9										
Flora	9										
Fauna	9										
Uso del suelo	9										
Recreación	7										
Intereses estéticos y humanos	10										
Estrato cultural	4										
Instalaciones artificiales											
Relaciones ecológicas	7										

Número de partidas individuales de cada grupo que se encuentran en la Tabla original

Fuente: Resumen de los autores de una tabla muy completa que se proporciona en A Procedure for Evaluating Environmental Impact por L.B.Leopold, F.E.Clarke, B.B.Hnashaw y J.R.Balsley. Referencia 49.14.



El uso de los plaguicidas en agricultura sigue siendo un tema de discusión. Para algunos sin ellos hubiera sido imposible lograr los alimentos que requiere la humanidad en constante crecimiento. Otros por el contrario y en un gran movimiento internacional propugnan el desarrollo de la agricultura sin la aplicación de esos compuestos por considerarlo con efectos sobre la salud.-

Nuestro país no permanece ajeno a esta polémica y en los últimos años ésta se agudizó debido a intoxicaciones en personas que tomaron estado público y que obligó al gobierno actualizar la legislación sobre esos productos.-

#### Decreto 2121/90

El año pasado el Poder Ejecutivo Nacional emitió un decreto en el cual se prohíbe "la importación, fabricación, fraccionamiento, comercialización y uso de productos de aplicación agrícola formulado a bases de los siguientes principios activos: éster butílico del 2-4-5 T, dibromuro de etileno, DDT, arseniato de plomo, arsénico, captafol, endrín, aldrín, sulfato de estricnia y clorobencilato".-

También por el mismo decreto se suspende, temporariamente el uso y comercialización de productos a base de duminio, cyhexatin y dinocap. Se canceló el registro de todas las formulaciones líquidas de heptacloro y se prohibió su uso agrícola.-

Otro producto que fue legislado en este decreto fue el ardicarb. En la actualidad su uso en la Argentina tiene una regulación similar a otros países del mundo como los Estados Unidos, Francia e Inglaterra. Este producto había sido catalogado como cancerígeno y que afectaba el sistema inmunológico en experiencias con ratones, según investigaciones realizadas en la Universidad de Wisconsin.-

Posteriormente se inició una serie de ensayos para demostrar lo contrario, lo que finalmente dio como resultado que el ardicarb no era cancerígeno y no afectaba el sistema inmunológico del ser humano. Este producto tiene ahora autorización de uso en más de 70 países.-

Es de destacar que en nuestro país se restringe la aplicación de este procuto y que no puede ser empleado en aquellas zonas donde la napa freática se encuentra a menos de 1,50 metros de la superficie (ciertos lugares de la Llanura deprimida, en Tucumán).-

Antes de 1990 estuvimos indefensos frente a estos productos. Cabe ahora preguntarse si el Decreto 2121/90 se cumple efectivamente.-

#### Problemas de inundación, erosión y conservación del suelo

Los mismos ya fueron tratado detalladamente en la entrega anterior, en los capítulos: de Riesgos Geológicos y Uso Actual del Suelo, en los Departamentos de Burruyacu y Famaillá.-

#### Conclusión

La conservación del medio ambiente es uno de los retos más grande que enfrenta la humanidad. Se ha hecho mucho daño en la provincia de Tucumán y aunque haya sido reconocido, se está aún en la faz declamativa.-

En este trabajo, en la entrega del año anterior (Departamentos de Tafí Viejo y La Cocha) se ha propuestos proyectos de reforestación, control de las inundaciones y aprovechamiento del agua del subsuelo para la expansión de la frontera agropecuaria, válidos también en esta etapa.-

No debemos olvidar que conservación es desarrollo. Un desarrollo armónico con la naturaleza.-

## EL RECURSO AGUA. CONSECUENCIAS DE SU EXPLOTACION SOBRE EL MEDIO

### AMBIENTE

#### Introducción

Se piensa habitualmente que el volumen de agua existente en la tierra permanece virtualmente constante desde siempre. Quienes sostienen esta idea no consideran que el acelerado incremento actual de la población, juntamente con la extensión de la agricultura bajo riego y el desarrollo industrial están afectando a este recurso, tanto cualitativamente como cuantitativamente.-

El hombre debe tomar conciencia de esta situación y reconocer que no puede seguir aplicando con los recursos de la naturaleza la filosofía de "use y descarte". De la comprensión de esta situación resultará la necesidad de establecer una política firme para el manejo racional de los mismos.-

En relación con el agua, esta racionalidad debe fundarse en un amplio conocimiento de las disponibilidades y de las variaciones que pueden sufrir las fuentes de aprovisionamiento.-

Desde los albores de la civilización el hombre viene desarrollando proyectos para satisfacer sus necesidades de agua, tanto para bebida como para regar sus cultivos, extraer energía, transportar sus bienes y disponer de sus desechos.-

La experiencia enseña que muchas veces estos proyectos y realizaciones pueden funcionar correctamente en un sentido ingenieril, pero al mismo tiempo, como consecuencia indirecta e inesperada, afectar seriamente al medio.-

Esto se evidencia frecuentemente, en alteraciones de los componentes físicos, químicos, biológicos, sociales y económicos del sistema ambiental.-

Es de capital importancia la realización de estudios concernientes a la deter-

minación y predicción de la influencia de las actividades humanas sobre el régimen hidrológico y la interacción con el medio ambiente. Esto resulta de la percepción de la necesidad de balancear la demanda de los recursos de índole física, biológica y financiera de una región y de sus habitantes, en orden a alcanzar su desarrollo social.-

Toda intervención del hombre en una cuenca fluvial es una fuente de desequilibrio y modifica el juego de los fenómenos naturales. La construcción de una presa, por ejemplo, altera todo el curso de agua en que se implanta.-

El buen uso del agua no es una tarea simple. En sus distintas formas; lluvia, hielo y nieve, está sufriendo continuos cambios, algunos provechosos, otros destructivos. Cuando se acumula en un río puede ser el agente erosivo más poderoso, pero al mismo tiempo, con el material erodado en las altas cuencas se forman planicies de gran fertilidad.-

El agua y el suelo son los recursos naturales en que se basa el desarrollo económico de los países. Su explotación racional puede continuar indefinidamente produciendo beneficios, cada vez más cuantiosos.-

#### Mecánica fluvial. Breve exposición

Muchas características del agua solo pueden ser entendidas en términos de volumen de flujo. Para hacerse una idea de ésto basta la siguiente comparación. La mediación de las aguas en reposo se hace en litros o metros cúbicos ( $1\text{m}^3 = 1.000$  litros). La lluvia se mide en milímetros por unidad de superficie y el flujo es expresado en metros cúbicos por segundo, ( $\text{m}^3/\text{s}.$ ). Esta medida expresa la cantidad de agua que fluye a través de un punto determinado en un segundo.-

Otra importante unidad de medida es la que relaciona el flujo de un río con el tamaño de su cuenca. Se la conoce como la descarga promedio anual específica y se mide en metros cúbicos por segundo o flujo por kilómetro cuadrado: ( $\text{m}^3/\text{s}/\text{km}^2$ ).

Resulta de la relación entre la lluvia precipitada, el hielo o nieve fundida y el escurrimiento sobre el área total de la cuenca.-

Habiendo definido estos conceptos previos nos ocuparemos de la mecánica fluvial.-

Para describir correctamente la mecánica de un curso de agua es necesario determinar con precisión las características naturales del mismo y de la zona ribereña. A este fin debe realizarse sobre el terreno un minucioso análisis de los procesos erosivos, precisando los umbrales geomorfológicos, (tipo de oleaje que pone en movimiento guijarros de un calibre determinado en los distintos sectores del cauce, fuerza de la corriente que hace emigrar aluviones de una cierta granulometría, en un lugar, o que produce socavones, etc.).-

Los aluviones depositados por un curso de agua son el testimonio directo de su actividad y, por lo tanto, permiten reconstruirla con precisión.-

La distancia a que son desplazados los distintos sedimentos depende, principalmente, de su granulometría. Los mayores son transportados a distancias más cortas y viceversa.-

Los guijarros y bloques se orientan en función del mecanismo de transporte que los desplazó. Lanzados en conjunto por un empuje brutal sus ejes mayores no parecen disponer según una dirección predominante. Cuando son movidos por saltos, a intervalos aparecen, en su mayor parte, perpendicularmente a la corriente. Así se puede reconstruir la dirección de ésta en contacto con el fondo durante las crecidas.-

Este comportamiento de los aluviones ha permitido comprobar que en ciertos meandros, en el momento de los desbordes provocados por las crecidas, la orilla cóncava era abandonada por la corriente principal, que recortaba, por el contrario, la sinuosidad del cauce. Los socavamientos que causan daño se deben, en consecuencia, a las crecidas medias, que llenan el lecho menor hasta el borde, mientras que los recortes

del cauce resultan de las grandes crecidas.-

La consideración de lo expuesto precedentemente arroja la conclusión de que en la rectificación de los ríos no tendría éxito un trazado del lecho que recortara los meandros en línea recta, porque solo limitaría los daños que se producen en los períodos de grandes crecidas. En las crecientes medias, que son más frecuentes, continuarían los socavamientos y se formarían nuevas sinuosidades en el mismo canal artificial, que al cabo de cierto tiempo terminan produciendo nuevos meandros.-

La crecidas medias generan una corriente suficientemente violenta para desplazar un importante volumen de aluviones, y se repiten con suficiente frecuencia para producir considerables efectos acumulativos.-

En consecuencia, una correcta ordenación debe asociar un lecho menor a amplias curvaturas y, en determinados lugares, canales secundarios de descarga de las crecidas excepcionales. Sobre todo debe asegurarse una protección eficaz de las orillas.-

El análisis petrográfico y granulométrico del material que conforma los cauces ponen en evidencia que el desarrollo de los meandros que erodan los campos se produce por sustitución de la carga a corta distancia. Allí la corriente se concentra en la concavidad de una sinuosidad socava las formaciones de baja terraza, ricas en guijarros, que luego de ser movilizados por la corriente vuelven a depositarse a cien o doscientos metros, y a veces un poco más lejos, aguas abajo, en donde la corriente pierde su fuerza, y se acumula en bancos que cuando se produce la próxima crecida cierran el canal y envían la corriente contra la orilla que está socavada. Así se produce la migración progresiva del socavamiento río abajo, creándose meandros característicos.-

En la mecánica fluvial de la cuenca desempeñan un papel importante los árboles y la maleza del lecho mayor.-

Frecuentemente, al principio de la crecida, se producen flujos de barro o de ma

sas detríticas de falda, que suelen arrastrar troncos de árboles y arbustos; todo este material obstruye los cauces hasta que fuertes flujos posteriores movilizan sucesivamente estos obstáculos, produciendo una especie de golpes de ariete, que se amplifican río abajo en una secuencia de obstrucciones que ceden luego, haciendo saltarlas que se encuentran aguas abajo, y así sucesivamente.-

A veces los árboles arrastrados por la corriente se acumulan contra las pilas de los puentes, que frecuentemente ceden, como una presa demolida en sus cimientos. Esto causa nuevos enormes golpes de corriente.-

En el cauce principal el flujo muy violento está cargado de material de todas las granulometrías. Bastan leves amortiguamientos, como ser ensanchamientos del valle, para provocar su abandono. Los bancos de aluviones toscos, mal cribados, se acumulan en el eje de la corriente, provocando su división y enviándola a socavar la base de las vertientes, que generalmente se desmoronan. Incesantes e importantes sustituciones de carga se producen de este modo.-

Muchas veces las aguas crecidas cubren de aluviones sus cauces y tierras cultivadas y sectores de las poblaciones vecinos al río y socavan los terraplenes viales y ferroviarios. Al final del proceso la cola de crecida solamente puede lavar los sedimentos relativamente finos, quedando los lechos y las zonas ribereñas sembrados de rodados y grandes bloques. Por este mecanismo ríos que antiguamente estaban bien delimitados y tenían un cauce único, llegan a formar canales anastomosados, divagando sobre un pedregal esparcido en el fondo del valle, socavando a la menor crecida las márgenes inestabilizadas, recortadas por deslizamientos.-

## ORDENACION DE CUENCAS

### Generalidades

Las grandes líneas de la ordenación de una cuenca deben comprender, en forma prioritaria, la estabilización de las vertientes, actuando sobre los afluentes y de-

teniendo los socavamientos que desencadenan deslizamientos de terrenos.-

Las acumulaciones de aluviones pueden ser una fuente de provisión de materiales para proteger las orillas de los ríos o las bases de los terraplenes de carreteras o ferroviarios próximos. Con esto se procura moderar la tendencia natural a la excavación que tienen las corrientes fluviales, al mismo tiempo se estabilizará el trazado del río en el emplazamiento elegido, que deberá ser todo lo axial posible, a fin de aumentar ligeramente la pendiente y apartar la corriente de la base de las vertientes. De este modo se propiciará un encajonamiento moderado, lo que redundará en una mayor eficiencia hidráulica.-

En la programación de las rectificaciones de los cauces debe tenderse a que éste adquiera una forma que asegure el máximo de estabilidad (radio de curvatura, longitud de onda de las sinuosidades, anchura y profundidad, etc.), y el método de protección de las orillas (eficacia eventual de espigones o diques longitudinales). Estas obras frecuentemente sufren el socavamiento de sus bases, que llega a desmantalarlas.-

Para que la rectificación del cauce sea realmente eficaz debe modificar las condiciones en que la corriente impacta contra las orillas.-

Con relación a los puentes, se recomienda darles la mayor luz permisible a fin de evitar la formación de nuevos endicamientos, siempre posibles mientras continúen produciéndose deslizamientos de las vertientes serrañas. También es importante mantener expeditos todos los vanos del puente a fin de impedir que la corriente se concentre en algunos tramos del cauce. Cuando esto se produce se intensifica la capacidad erosiva de las aguas, que llegan a descalzar las pilas y, en casos extremos, a provocar el derrumbe de las mismas y del puente.-



## LAS INUNDACIONES. SUS CAUSAS Y CONSECUENCIAS

### Introducción

Este es un tema que motiva controversias y acusaciones, generalmente contra las autoridades, que se reproduce habitualmente durante los veranos excesivamente lluviosos que caracterizan a nuestra provincia y a gran parte del sector húmedo del país.-

Es ya un espectáculo habitual el de los barrios de las ciudades y de asentamientos campesinos, de extensos sectores de campos agrícolas y de carreteras, cubiertos por las aguas desbordadas de los ríos crecidos.-

Las aguas del río Famaillá con cierta frecuencia inundan al cementerio de la ciudad situado en sus márgenes, desenterrando los ataúdes y arrastrándolos hasta campos vecinos.-

Los daños que estas contingencias causan a las obras públicas son cuantiosos. Los puentes carreteros y ferroviarios sufren derrumbes de sus pilas y erosión de sus terraplenes de acceso, quedando fuera de servicio por prolongados períodos de tiempo.-

La destrucción de los caminos deja incomunicadas a las poblaciones, dificultando la llegada de auxilios en numerosas ocasiones.-

### Causa de las inundaciones

Habitualmente se señala que los elevados aportes de aguas de origen pluvial a los cauces de los ríos se deben a la deforestación de sus cuencas. No se puede ignorar el importante papel que cumple una cubierta vegetal compacta en la retención de las aguas de lluvia; basta observar la situación que se produce durante las estaciones húmedas en las áreas montañosas depredadas. Sin embargo, cuando el volumen

de las precipitaciones es extraordinariamente elevado, como sucede con cierta frecuencia durante los veranos de Tucumán, los suelos se saturan en breves períodos de tiempo y el coeficiente de escorrentía alcanza rápidamente valores máximos. En estos casos no se puede adjudicar a la deforestación un papel fundamental en el proceso.-

La tala de los bosques es más perjudicial para la cuenca cuando se la ha realizado en los sectores altos de la misma, abarcando grandes superficies, cuando los suelos son poco permeables y la concentración y permanencia de las aguas pluviales es breve.-

El sobrepastoreo y ramoneo de la hacienda ralea el sotobosque, impide el desarrollo de los renuevos de los árboles, compacta con sus pisadas el suelo, formando una costra dura que impide la infiltración del agua y, con mucha frecuencia, los senderos recorridos por los animales terminan convirtiéndose en cárcavas.-

Las inundaciones reconocen complejos orígenes, algunos de los cuales fueron desarrollados en los párrafos precedentes. Generalmente ninguno de ellos actúa solo, sino que de la interacción de un número variado de factores resulta el proceso erosivo.-

### Antecedentes

Es interesante el análisis de la situación en que se encontraba Ibatín en el último tercio del siglo 17, y que fué causa del posterior abandono del asentamiento.-

El pueblo estaba ubicado a la orilla del Río Pueblo Viejo, en un lugar que los cronistas de la época definen como de inviernos templados y veranos cálidos, con violentas lluvias que volvían tormentosos los ríos, que en invierno casi desaparecían.-

En esa época las selvas tucumanas eran vírgenes, a pesar de lo cual los continuos desbordes del río se habían convertido en motivo de alarma, causando "amenaza y ruina a la ciudad", según comunicaba el Gobernador al Rey. Agregaba que "el río se ha-



bía explayado tanto que no alcanza la vista sus márgenes" y que las aguas no habían dejado "edificio de consecuencia que no lo hayan asolado".-

En años posteriores, en el verano de 1873, se produjo un acontecimiento climático similar cuya importancia lo señala la historia tucumana. Todo el sur de la provincia, desde Lules, sufrió el castigo de 33 días de lluvia ininterrumpida. Las consecuencias fueron catastróficas; desbordaron todos los ríos y arroyos, arrastrando casas, sementeras, fábricas, molinos y cuanto se interponía al paso de las aguas.-

Comunicaba el gobernador a las autoridades nacionales que como consecuencia de esta situación la mitad de la provincia quedó incomunicada, debido a la destrucción de los postes del telégrafo y los puentes y caminos, formándose lagos inmensos y bañados que solo se podía pasar a nado. Terminaba pidiendo no solo ayuda económica, sino también el pronto envío de un ingeniero "que haga los estudios y aconseje las obras de defensa que se puedan hacer".-

Tres años antes de este suceso el Dr. Arsenio Granillo, autor de "Provincia de Tucumán", serie de artículos descriptivos y noticiosos, realizó un viaje a caballo hasta La Reducción, desde la ciudad de Tucumán. Le impactó la belleza y la exuberancia de la vegetación, especialmente en la zona del Arroyo Calimayo, hoy totalmente depredado.-

Ya en nuestra época, las catastróficas crecidas del Río Paraná del año 1983, fueron motivo de numerosos estudios. Uno de los profesionales que se ocupó del tema vinculó la importante deforestación que se realizó en Santiago del Estero y El Chaco con las precipitaciones pluviales y las crecidas de los ríos ocurridas entre 1920 y 1970. Proporcionó la siguiente información:

Precipitaciones pluviales

Década	Sgo. Estero	Campo Gallo	Ceres	V. Angela
21-40	554 mm.	580	-	-
41-50	513 "	580	782	902
51-60	489 "	736	866	1124
61-70	520 "	666	793	1002

Como se ve los valores pluviométricos de las localidades señaladas se han mantenido sensiblemente constantes, a pesar de la depredación creciente de las selvas.



Por otra parte, se sabe de importantes crecidas ocurridas en 1905 y anteriores, cuando la explotación de los bosques no había alcanzado la intensidad de los últimos tiempos.-

La cuenca del Río Paraná ha sido asolada por grandes desdordes en los años 1612, 1784, 1812, 1858, 1878, 1905, 1966 y 1983. Durante las seis primeras la selva se encontraba prácticamente intacta, con toda su capacidad de retención de las aguas aportadas por las lluvias.-

Un somero análisis de esta información arroja la siguiente conclusión:

- a) entre las dos primeras inundaciones catastróficas transcurrió un período de 136 años; entre la segunda y tercera 64 años; entre tercera y cuarta 46; entre cuarta y quinta 20; entre quinta y sexta 26; entre sexta y séptima 61 y entre séptima y octava 17 años.-
- b) el período de recurrencia, o sea el tiempo transcurrido entre dos grandes crecidas sucesivas, se redujo, salvo en la anomalía existente entre 1905 y 1966. Esta situación refleja el deterioro creciente de la cuenca.-

Con relación a la cuenca del Río Salí y a las otras cuencas de menor importancia que existen en la provincia de Tucumán, debemos decir que sus periódicas crecientes son un hecho que conmociona a la provincia casi todos los veranos.-

Antes de la construcción del Embalse El Cadillal la llanura aladaña al río, aguas abajo de la obra, resultaba frecuentemente afectada por las aguas desbordadas. La acción reguladora de la presa sobre los caudales del río es notoria.-

A fines de la década de 1950 un prolongado período lluvioso motivó la salida de cauce de la mayoría de los ríos tucumanos, creando serios problemas en el centro y sur de la provincia.-

A la altura de San Miguel de Tucumán el río, que tendía a recobrar su antiguo cauce, situado al oeste del actual, inundó una extensa zona que comprendía al Parque 9 de Julio. Las aguas se acercaron peligrosamente a las avenidas perimetrales del este de la ciudad. Las crecidas dejaron fuera de servicio al puente Lucas Córdoba, por un prolongado período de tiempo.-

#### Valor de los daños provocados por la inundación del Río Paraná de 1983

Distribución por sectores expresada en porcentaje y en dólares norteamericanos, (deducidos del estudio de Motor Clumbus):

	%	Millones de dólares
Viviendas	37	1.665
Infraestructura	19	855
Industria y Comercio	14	630
Ganadería	14	630
Agricultura	4	180;
Gastos de evacuación	12	540
Totales	100	4.500

#### Control de las inundaciones

Antes de introducirnos en el tema debemos dejar en claro que el control absoluto de las crecidas de los ríos es prácticamente imposible, debido a razones de índole física y económica. Por lo tanto aplicamos el rótulo de control de las inundaciones a la reducción al mínimo posible de los daños que este fenómeno causa.-

Debemos considerar seria y responsablemente a las crecidas extraordinarias de los ríos como un factor de riesgo real, que debe ser tenido en cuenta en la planificación del desarrollo provincial.-

En este capítulo pasaremos revista a las medidas tendientes a mitigar las crecidas cuya aplicación no resulte excesivamente onerosa.-

Definimos a las crecientes de los ríos como el escurrimiento resultante de precipitaciones pluviales o de la fusión de nieves, en volúmenes que exceden la capaci-

dad de los canales que contienen las aguas bajas.-

El hombre ha realizado grandes esfuerzos en este campo con el fin de preveer las crecidas extraordinarias y minimizar los daños que sufren las propiedades y los cultivos ubicados en las llanuras de inundación de los ríos o en sus cercanías.-

Entre las medidas tendientes a reducir los daños de las crecidas más comunmente empleados se encuentran:

- 1.- reducción de los picos de descarga mediante reservorios;
- 2.- confinamiento del flujo canales por medio de diques longitudinales, muros o conductos cerrados;
- 3.- mejoramiento de los canales con el fin de aumentar la velocidad del escurrimiento y reducir de este modo los picos de descarga;
- 4.- transferencia de las aguas crecidas a otros cauces y aún a otras cuencas;
- 5.- distintos tipos de prevenciones;
- 6.- reducción del escurrimiento superficial por optimización del manejo del suelo;
- 7.- evacuación de las áreas amenazadas por las crecidas luego de recibir el aviso correspondiente;
- 8.- manejo eficiente de las planicies de inundación.

Cuando se realizan obras de sistematización frecuentemente se emplea una combinación de las medidas enunciadas.-

En muchas circunstancias las pérdidas de vidas y bienes se producen como consecuencia de una errónea sensación de seguridad y de subestimación de las fuerzas de la naturaleza. Los diques a veces se desploman, los reservorios se colmatan; los desechos acumulados contra las pilas de los puentes pueden formar diques y, finalmente, pueden producirse crecidas de magnitud superior a la capacidad de las obras que habían sido diseñadas para contenerlas.-

Es necesario que el poblador ribereño, cuya protección se intenta, conozca el

grado de protección que los trabajos realizados le brindan y que esté dispuesto a obedecer los avisos de crecida, evacuando el área cuando las circunstancias lo aconsejen.-

Con el fin de dimensionar correctamente las obras de defensa, es importante que los autores de la planificación realicen un cuidadoso estudio de la situación del área en que se emplazarán y basen en él su proyecto de defensa.-

Debe realizarse todos los esfuerzos con el fin de conocer con la mayor certeza posible la frecuencia y volumen de las inundaciones que puedan producirse.-

#### La inundación estimada:

El Cuerpo de Ingenieros de USA. usa una inundación patrón o standard como base de sus estudios. Se la define como la descarga que puede esperarse cuando se produce la más severa combinación de condiciones meteorológicas e hidrológicas que razonablemente puede resultar, considerando las características geográficas de una región y excluyendo combinaciones extremadamente raras.-

Esta situación estimada supera en casi el 50% el probable máximo que pueda producirse en el área. Debido a su alto valor es muy difícil que las inundaciones reales la superen.-

Debido a limitaciones de índole física y económica se debe aceptar como regla que en la planificación de las obras de defensa hay que considerar es imposible cubrir todos los riesgos. En consecuencia, al proyectar las obras debe considerarse cuidadosamente las características del flujo en la cuenca que se desea proteger y, de manera importante, las limitaciones económicas del proyecto.-

Los beneficios intangibles que resultan de la provisión de un alto grado de seguridad contra crecientes de magnitud de desastre, incluyendo la protección de las vidas humanas, deben ser considerados en adicción a los beneficios tangibles, que se evalúan en términos monetarios.-



La estimación de la crecida extraordinaria en que se basan las obras de protección se realiza considerando los antecedentes meteorológicos y las condiciones hidrológicas de la región.-

Es de uso frecuente considerar la máxima crecida que se estima que puede producirse cada cien años como el límite acorde con los propósitos de protección.-

#### Obras tendientes a reducir los daños de las crecientes

En este ítem solo se considerará obras acordes a las características de las cuencas tucumanas y a los asentamientos poblacionales y demás bienes que se desea proteger.-

#### Reservorios de mitigación de las crecidas

La función de los mismos es almacenar una parte de las aguas crecidas con el fin de reducir su pico en el área a proteger. La mejor ubicación es inmediatamente aguas arriba de dicho sector.-

Reducida la creciente se libera el agua almacenada para que el depósito esté en condiciones de trabajar en la siguiente crecida.-

- Tamaño de la obra: La potencial reducción del pico de la descarga por este tipo de obra está en directa relación con su capacidad, que a su vez se dimensiona en función de la potencia de la cuenca.-

- Observación: En Tucumán existen ejemplos de la breve vida útil de este tipo de construcciones debido a la acumulación de aluviones en sus vasos. Para evitar esto deben construirse obras de retención de los mismos aguas arriba del reservorio y este debe tener compuertas que permitan purgar periódicamente al embalse.-

#### Diques y muros longitudinales

Constituyen uno de los más antiguos y ampliamente utilizados medios de protección de los terrenos contra los desbordes de las aguas crecidas.-

En la baja cuenca del Río Mississippi existen alrededor de 3200 kms. de tierras

ribereñas protegidos con este tipo de obras. Entre 1928 y 1940 se empleó  $550 \times 10^6$  metros cúbicos de tierra en la construcción de estas defensas.-

- Sistema de construcción: Estas obras son en esencia diques longitudinales construídos paralelamente al eje de los ríos. Los diques se construyen habitualmente de tierra, mientras que los muros se hacen de mampostería. Ambos deben satisfacer los mismos requisitos estructurales que los diques comunes.-

Es más frecuente la construcción de diques, porque su costo es menor, al poderse usar material existente en el lugar de la obra.-

En la ejecución se trabaja colocando la tierra por capas, que son compactadas cuidadosamente antes de la colocación de la superior; el material más permeable se coloca a lo largo de la orilla del río. Habitualmente no se construye un núcleo impermeable.-

Las secciones transversales se realizan de acuerdo a la topografía del terreno y al tipo de material que se emplee. Este se obtiene de zonas de préstamo excavadas paralelamente al dique o ubicadas en las cercanías.-

Entre las excavaciones y la base de la obra debe mediar una distancia suficiente para impedir que las primeras sean causa del colapso del dique.-

El ancho del coronamiento depende entre otras razones, del uso específico que se le va a dar, aunque se estima que el mínimo debe estar en el orden de los tres metros, con el fin de permitir los movimientos del equipo de mantenimiento. Las pendientes de ambos taludes son generalmente de bajo valor, debido fundamentalmente al tipo de material empleado en la construcción. Deben ser protegidos contra la erosión con cubiertas de césped o por plantación de arbustos y árboles o con la realización de un rip rap.-

Por razones estéticas se aconseja atenuar las pendientes transversales, excediendo los requerimientos de estabilidad de las mismas. Esto hace al dique menos ob-

vio y facilita los desplazamientos sobre el mismo.-

Aún cuando el dique no sufra deterioros durante las inundaciones, prolongados períodos de aguas altas pueden causar ascenso del nivel de saturación, provocando filtraciones a través de la obra que llegan a inundar los terrenos que se intenta proteger.-

La solución a esta situación puede intentarse construyendo obras de drenaje a lo largo del pie del talud posterior y reduciendo al máximo el gradiente del mismo.-

Se puede ahorrar material de relleno construyendo el paramento interior con una berma: esto incrementa el ancho de la base sin incrementar demasiado el espesor de la obra sobre la línea de saturación.-

Si las filtraciones a través del cuerpo del dique amenazan convertirse en un problema, se puede detenerlas con tablestacas o con una inyección de arcilla que forme un núcleo impermeable.-

Debido al escaso gradiente de los taludes, las bases de los diques se extienden sobre amplias superficies del terreno; por consiguiente, el costo de la obra, que es razonable en áreas rurales, puede hacerse muy elevado en las ciudades, donde además es muy difícil encontrar material de préstamo. En esta situación la solución consiste en construir muros de concreto. Estos deben ser capaces de resistir la presión hidrostática ejercida por el agua.-

Se aconseja reforzar los muros con un relleno de tierra en su parte posterior; de esta manera adquieren más estabilidad.-

- Localización de los diques: Las dimensiones del canal del río deben ser suficientes para contener el flujo máximo que se estime, con un razonable margen de seguridad. El ancho del canal entre los diques y la altura de estos están estrechamente vinculados.-

Cuando la planicie de inundación es extensa y muy llana, un ensanchamiento del

canal facilitará el escurrimiento de las aguas bajas.-

El costo de un sistema de defensa basado en diques consta del valor de las tierras necesarias para la construcción de los mismos y del canal, además del costo de la construcción mismo.-

En la etapa de planificación de las defensas se debe determinar por medio de ensayos cuidadosamente realizados la dimensión que deben tener el canal y los diques, a fin de que la obra ofrezca la mayor seguridad.-

En muchos valles aluviales existen diques naturales resultantes de acumulaciones de sedimentos producidas a lo largo del cauce por las aguas crecidas. Es frecuente construir los diques sobre estos depósitos. La ventaja que estos representa es que se puede disminuir la altura de la obra y el terreno de fundación ofrece razonable seguridad.-

Una ciudad o una zona de interés particular puede ser protegida por medio de un sistema de diques rodeando totalmente el área o que se extiendan desde la ribera del río hasta elevaciones del terreno de suficiente altura como para no ser rebasadas por las aguas. Si no se realiza este tipo de terminación las defensas corren el peligro de ser flanqueadas por las aguas crecidas, quedando inservibles.-

En ríos que son relativamente rectos y con ambas márgenes/<sup>de</sup>similares características, los diques pueden espaciarse de una manera equidistante en ambas orillas.-

En ríos sinuosos, como son la mayoría de los que atraviesan la llanura tucumana, la línea de diques debe contornear la orilla externa de los meandros, disminuyendo la tortuosidad del canal de aguas bajas.-

En los casos en que los diques no pueden construirse en las inmediaciones del cauce hay que considerar la posibilidad de que la erosión que las aguas realicen en la zona ribereña llegue a socavar la obra. Los sectores expuestos a esta contingencia deben ser revestidos por su protección.-

Es fundamental defender las márgenes de los ríos en que se ha emplazado defensas de la erosión que realizan las aguas, ensanchando el cauce. Entre 1935 y 1945 en la baja cuenca del Río Mississippi fué necesario reconstruir 217 kilómetros de diques afectados por este proceso. De las obras construídas desde 1867 en las márgenes del Yazoo, con una longitud total de 287 Kms. solo 43 kms. de diques permanecían en 1943 en su ubicación original.-

La construcción de los diques de mitigación de las crecidas debe realizarse simultaneamente con la protección y mejoramiento del canal; la combinación de ambos trabajos provee más protección por unidad de costo.-

### Previsión de las crecidas

Como ya se señaló es muy importante que las autoridades estén en condiciones de prevenir a los habitantes de localidades expuestas a sufrir severas inundaciones acerca del momento en que este fenómeno se puede producir. Con este fin se están poniendo en acción sistemas más precisos y completos de previsión de las crecientes. Parten de una mejor comprensión de las relaciones entre el escurrimiento, las precipitaciones, la temperatura, el estado de los suelos, la vegetación y la capacidad de almacenamiento de la cuenca. Su conocimiento permite poner a punto fórmulas empíricas que posibilitan preveer el inicio, la amplitud y la duración de las crecidas. La medición de las precipitaciones y del escurrimiento de los cursos de agua y las técnicas de cálculo sobre ordenador permiten acrecentar el alcance y la exactitud de las previsiones.-

Estas estimaciones, por más exactas que sean del punto de vista hidrológico, arrojarán solo magros frutos si no están asociadas a sistemas de alerta capaces de informar prontamente a las poblaciones interesadas y a la actuación en el lugar de personas en condiciones de enfrentar la situación, amén de que se hayan preparado los planes de evacuación adecuados.-

## Delimitación de las planicies inundables

La delimitación de las zonas de los valles expuestas a las inundaciones es la base de la mayoría de las medidas dispuestas por lo poderes públicos de los llamados países desarrollados para reducir las pérdidas que causa esta contingencia.-

Francia, Japón y Estados Unidos han emprendido programas ambiciosos de cartografía de todas las zonas costeras que tienen una importancia particular.-

Estos trabajos cartográficos acompañan normalmente el estudio de las cuencas fluviales que se realiza con relación a los sitios de embalse previstos.-

Hay la tendencia a realizar estos trabajos en las zonas en que se proyectan obras de sistematización; pero se presenta un dilema, que es: se debe reservar los trabajos minuciosos de cartografía a zonas siniestradas a medida que los casos se presentan o en otras zonas, en previsión de la eventualidad de una inundación que provoque daños considerables.-

Debido al acelerado incremento de la población hay actualmente la tendencia a intensificar la explotación de las llanuras inundables. Antes de autorizar una nueva ocupación de esos suelos se debe evaluar si el rendimiento neto de la explotación de esas tierras justifica los gastos que se deben hacer para protegerlas de las crecidas. Se debe evaluar también la posibilidad de reducir las pérdidas sin contener las crecientes.-

Los planes de construcción de obras públicas de cualquier índole en los valles fluviales deben considerar la gravedad del riesgo de inundaciones y la posibilidad de que estas se incrementen como consecuencia de las construcciones.-

## SISTEMATIZACION DE LAS CUENCAS HIDRICAS

### Introducción

El aprovechamiento racional de los recursos naturales de las cuencas de los ríos, arroyos y quebradas, es posible gracias a la realización de diversas técnicas tendientes a sistematizarlas u ordenarlas.-

Definimos la sistematización de una cuenca como la realización de una serie de trabajos con el fin de reconstruir la cubierta vegetal de la misma para estabilizar los suelos, disminuyendo la degradación que resulta del castigo de las gotas de lluvias sobre los terrenos desnudos, en primer lugar, y del arrastre de sedimentos y de vegetación que realizan las aguas al concentrarse durante el descenso de las vertientes hacia los valles.-

En los cauces fluviales debe realizarse complementariamente una serie de pequeñas obras en forma de diques transversales a la dirección de la corriente, que tienen por fin modificar la pendiente natural de los terrenos que obliga a las aguas a adquirir una velocidad erosiva, construyendo con los sedimentos retenidos en ellos la llamada pendiente de compensación, en que las aguas no erodan sensiblemente los cauces ni depositan sedimentos.-

El esfuerzo mayor debe dedicarse a la reconstrucción de la cubierta vegetal, actualmente muy empobrecida por la depredación que realiza el hombre y también, la hacienda, que en forma irresponsable se libera en ese ecosistema de gran fragilidad.-

Lo ideal para conseguir este fin sería clausurar por lo menos los terrenos que conforman las altas cuencas, permitiendo que la vegetación, liberada a sus propias fuerzas, se regenere sola. Sin la intervención humana en el área, de la que también debe retirarse la ganadería, las condiciones climáticas aseguran resultados satisfac-

torios en tiempos relativamente breves.-

En lugares donde la depredación ha sido especialmente intensa y los suelos están muy degradados y no existan árboles capaces de generar semillas ni retoños, debe realizarse la plantación de semillas y plantines.-

Años atrás el Departamento de Medio Ambiente de la Municipalidad de Tafí Viejo realizó trabajos de esta índole en algunas quebradas de las Cumbres de Taficillo con colaboración de las escuelas taficeñas y de distintas instituciones culturales que los fines de semana se dedicaban a esta tarea.-

Donde aflora el substrato rocoso o donde la cubierta de suelos es muy somera debe realizarse la siembra de especies herbáceas cuyos infimos requerimientos y gran vigor les permiten colonizar terrenos de estas características.-

El 90% del éxito de la sistematización depende de la estabilización de las vertientes serranas y de las márgenes de los ríos. Al conseguirse esto las aguas que descienden hacia los cauces llegarían con una carga sólida muy escasa. Si por otro lado esos cauces están expeditos, sin obstáculos que detengan las aguas, obligándolas a desbordar sobre los campos vecinos, solo en casos excepcionales se producirían inundaciones del nivel de las actuales.-

#### Técnicas a emplear

Ya nos referimos a este tema el año pasado en el trabajo que realizamos sobre los Departamentos de La Cocha y Tafí Viejo. Por lo tanto en esta ocasión solo ampliaremos algunos de los conceptos allí expuestos.-

#### Estabilización de los terrenos de las vertientes y de las márgenes

En muchos sectores de las cuencas altas afloran las rocas del substrato, que, en las serranías tucumanas, están frecuentemente muy fracturadas y plegadas.-

Numerosos sistemas de diaclasas y fallas forman una apretada trama que se extiende por todo el macizo serrano, desde las cimas hasta el pie de monte y aún hasta la llanura.-



Por otra parte el basamento cristalino de los cerros tucumanos está constituido fundamentalmente por rocas de bajo grado de metamorfismo, o sea que conservan muchas de las características de las rocas sedimentarias originales, especialmente la estratificación.-

Un cerro compuesto por rocas de las características someramente descritas en los renglones superiores, resulta particularmente sensible a la acción erosiva de las aguas pluviales.-

Las rocas sedimentarias que constituyen el substrato de extensos sectores de las cuencas medias y bajas, se caracterizan por su estratificación. Cuando los planos de estratificación inclinan hacia los valles fluviales, es muy común que se produzcan esta situación: por dichos planos se introduce agua que luego fluye hacia el exterior siguiendo la pendiente de los planos de estratificación y/o de fractura. Esta agua lubrica las superficies de contacto entre los bloques facilitando el desplazamiento y caída hacia el pie de las vertientes.-

El proceso puede continuar indefinidamente, ensanchándose de manera continua el valle a costa de las márgenes y vertientes rocosas, que están en retroceso.-

El material caído al pie de las vertientes, se acumula contra las mismas formando taludes de escombros. Estos depósitos son inestables y son removidos por las aguas crecidas de los ríos.-

En muchas oportunidades estos bloques no llegan hasta el valle, quedando detenidos a media ladera, en un equilibrio precario. El escurrimiento resultante de un lluvia particularmente violenta o cualquier proceso similar los movilizan nuevamente, hasta hacerlos caer al cauce.-

En los lugares de alta montaña donde en invierno la temperatura desciende frecuentemente al punto de congelación, el hielo juega un papel muy importante en la erosión de los macizos.-

El agua que se introduce entre las grietas, aumenta de volumen al congelarse, ejerciendo suficiente presión para desprender capas de las rocas. Este tipo de erosión se conoce como catafilar y sus consecuencias son la acumulación de escombros con una particular configuración al pie de las vertientes.-

Las raíces de los árboles que crecen en grietas llegan a levantar gruesos bloques, movilizándolos desde su sitio de yacimiento.-

En muchos lugares de las cuencas altas y medias los valles están accidentados por numerosos sistemas de fallas de rumbo perpendicular u oblicuo al eje de los cauces. El rechazo vertical de los bloques fallados ha originado resaltos a modo de escalones, que en algunos casos son de considerable altura. Las caídas de agua que se producen en estos lugares erodan activamente el cauce, formando pozos en el sitio donde impactan las aguas y socavando la base del escalón, que de este modo retrocede hacia la cabecera del río.-

En las altas cuencas predominan procesos de erosión que actúan, de modo preferente, verticalmente, o seaprofundizando el lecho.-

En las cuencas medias y baja, en cambio, el río tiende a ensanchar su cauce, erodando las márgenes.-

Las corrientes fluviales erosionan de varias maneras, que dependen de la naturaleza de los materiales del cauce y de los que componen la carga sólida de la corriente. Por si sola el agua en movimiento, chocando contra el lecho y ejerciendo sobre él una acción de arrastre, puede erosionar los materiales aluviales mal consolidados, tales como arenas, gravas, arcillas, etc., mediante el proceso denominado acción hidráulica.-

Cuando las partículas transportadas por la corriente golpean contra las rocas que constituyen el cauce, arrancan pedazos de las mismas. El arrastre de los aluviones sobre el lecho del río causa la ruptura de ellos, produciendo partículas de muy

distintos tamaños. Este proceso de desgaste mecánico se denomina "corrosión o abrasión", siendo el principal medio de erosión de los lechos rocosos cuya dureza los hace inmunes a la acción hidráulica.-

Un último proceso a considerar es la meteorización de las rocas, mediante reacciones ácidas y disoluciones, que recibe el nombre de corrosión.-

En los renglones precedentes solo se ha pretendido hacer una somera revista de los fenómenos que degradan las cuencas con el fin de plantear una serie de alternativas de corrección del proceso erosivo, teniendo siempre en mente que las obras que realicemos solo van a atenuar las consecuencias de este fenómeno natural.-

Para poder reconstruir la cubierta vegetal debemos trabajar sobre un terreno que permita el arraigo de la vegetación, o sea que disponga de una capa de suelo vegetal y que la topografía del mismo no sea tan abrupta que favorezca los procesos de remoción en masa, cuya consecuencia sería la ruina de los trabajos que se intente realizar.-

En el caso de una vertiente adecuada, es conveniente construir luego de la plantación del árbol, un pequeño muro en la dirección de aguas abajo de la falda, usando para ello piedras y material del lugar. El propósito de esta construcción es retener agua de la que escurre por la superficie luego de las lluvias, incrementando la humedad en la taza del plantín.-

En muchos lugares los faldeos serranos son demasiado empinados para permitir este trabajo. En ese caso se aconseja realizar angostas terrazas cuyos bordes pueden estabilizarse con pequeñas empalizadas, muros de piedra o alambrados. En las terrazas se plantan las especies vegetales que se considere más adecuadas a este fin.-

Considero de interés transcribir parte de un artículo de la revista Desarrollo Nacional, titulado "Haciendo que la transferencia tecnológica funcione", escrito por G. Speier. Dice "En general muchas de las operaciones de construcción en los países

en desarrollo se realizan mejor con tecnologías basadas en trabajos hechos a mano. Esto es ideal no solo en vista de la alta disponibilidad de mano de obra, sino por el acicate social de crear empleos. Obviamente para éstos es menester hacer modificaciones apropiadas en la tecnología.-

En ciertos casos una tecnología "primitiva" puede ser la solución óptima. Muchas regiones de la América Latina sufren de lluvias torrenciales, con la concomitante agravación de la erosión. En un proyecto vial en Venezuela se protegió contra la erosión a laderas enteras con una técnica antiquísima desarrollada por los indios; se empotran estacas en el suelo y se usan parras o enredaderas entrelazadas para conectar los cabezales de las estacas. Estas mantienen las enredaderas en su lugar; a su vez éstas desaceleran el escurrimiento de las aguas, atrapando la tierra desalojada por la lluvia, lo que a su turno estabiliza las vertientes".-

En los casos de altos paredones que se alzan a pico desde el fondo de los valles, hay que recurrir a medios mecánicos de estabilización. En minería subterránea se emplean elementos de fijación huecos, que se introducen en las paredes de las galerías con el fin de retener grandes bloques en peligro de desprenderse. Estos elementos de fijación tienen la característica de ser flexibles, acompañando a los bloques en los movimientos que puedan experimentar, sin desprenderse. Se los emplea frecuentemente para sostener tela metálica que complementa la tarea de retención.-

Como ya se dijo, las cuencas medias y bajas presentan otro tipo de problema. En ellas los ríos tienden a ensanchar los cauces, atacando para ello las zonas ribereñas.-

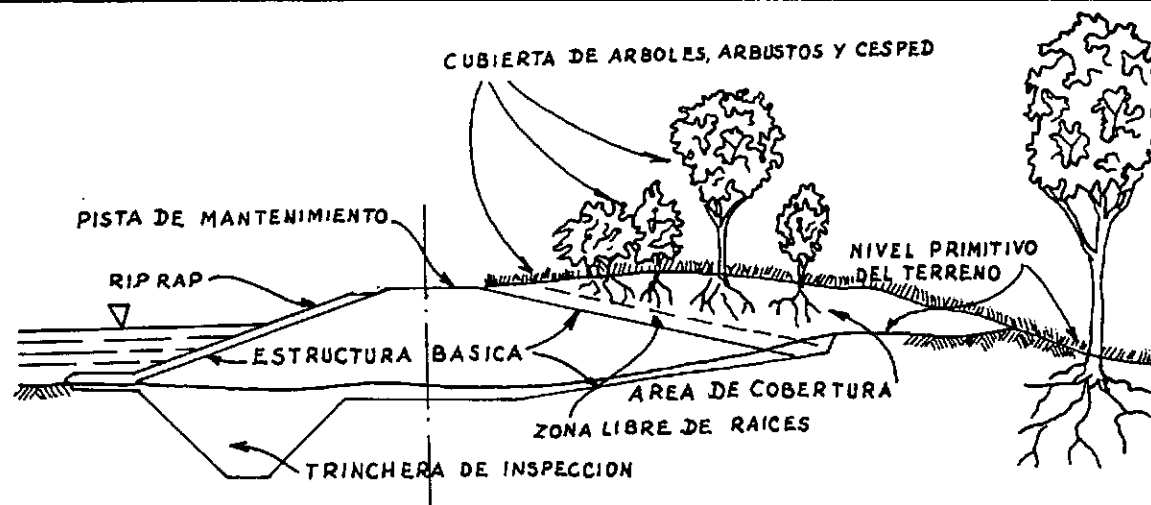
Un río con una llanura aluvial bien desarrollada fluye en amplias curvas regulares, que son los meandros. La tendencia a fluir describiendo arcos es una de las poco conocidas propiedades del agua. Las corrientes que corren libres de sedimentos sobre los glaciares durante el verano, desarrollan meandros sobre el hielo puro.-

Las aguas que fluyen en materiales erosionables construyen meandros, y los aluviones de la llanura aluvial son altamente erosionables.-

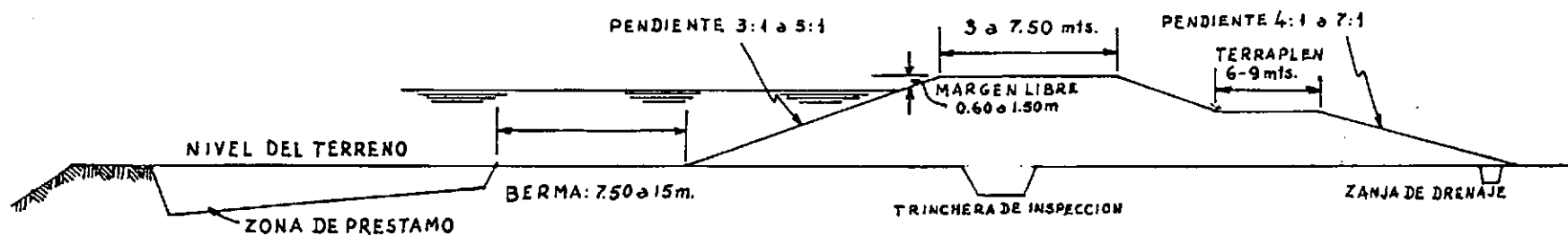
La mecánica fluvial en los meandros es ésta: los ríos socavan sus márgenes a lo largo de la curva externa y construyen bancos de arena o de grava, denominados barras semilunares, en la parte interna de las curvas. El material erosionado de la margen es barrido, por lo general, una corta distancia aguas abajo hasta la próxima barra semilunar.-

Con el tiempo, un río con meandros se desplazará lateralmente sobre toda la llanura aluvial y, al mismo tiempo, los meandros migrarán hacia abajo.-

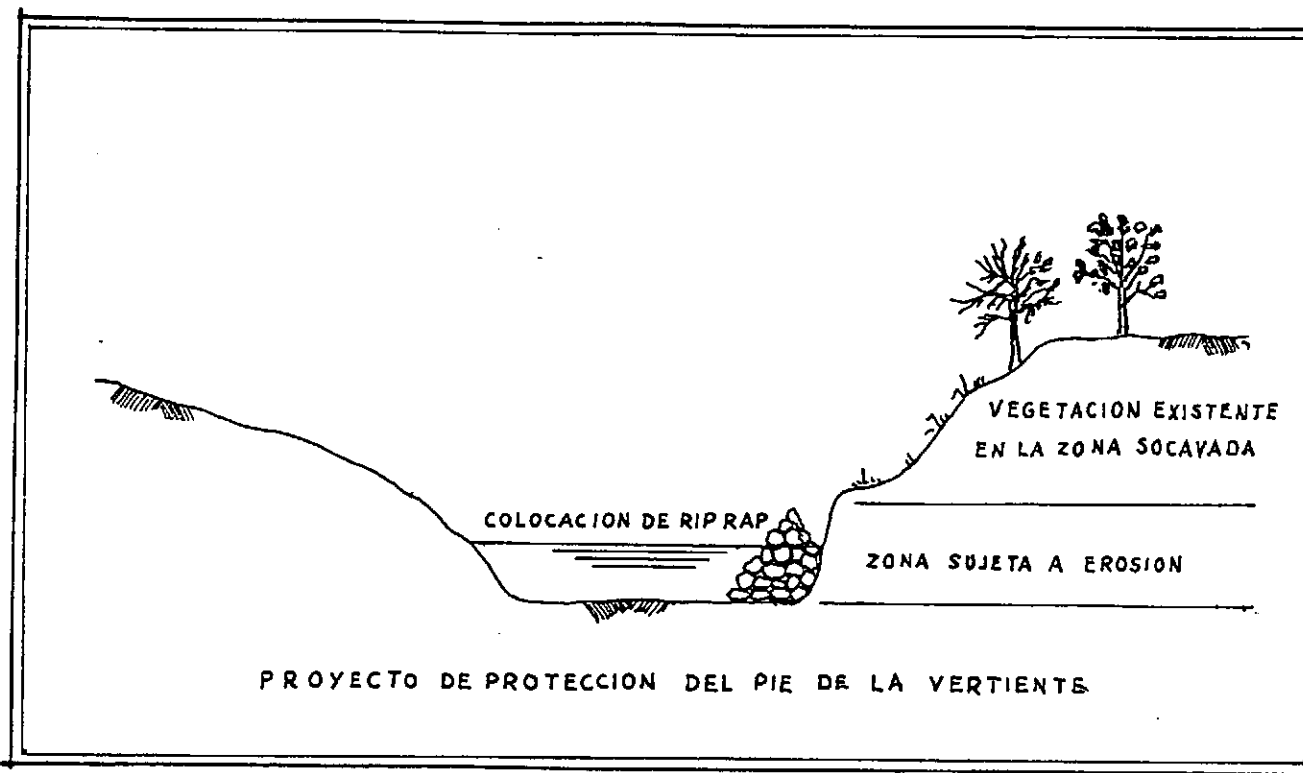
Las llanuras aluviales están marcadas por depresiones en forma de arco, resto de meandros anteriores; se las conoce como espiras de meandros. Los segmentos resultantes del recorte de los cauces forman lagunas semilunares en la llanura aluvial. Terrazas pequeñas cortadas en los aluviones indican los niveles sucesivos de inundación.-



DIQUE PARA DEFENSA DE SECTOR RIBEREÑO



ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DE UN DIQUE TIPO



## CUENCA DE LOS RIOS SISTEMATIZADOS. ASPECTOS HIDROLOGICOS

### DE SU ADMINISTRACION



#### Introducción

Los ríos transportan agua con un costo moderado, o sin ninguno, de las áreas de abundancia relativa de este recurso, en las cabeceras, a otras donde existe demanda de consumo, frecuentemente en las cuencas medias y bajas.-

De esta acción resultan numerosos aprovechamientos, tales como generación de energía, navegación, recreación, etc. En forma adicional las aguas son usadas para retirar desechos de los sitios poblados o de aquellos en donde su acumulación pueda causar problemas.-

En algunos casos, que son de nuestro particular interés, se construye en las cuencas estructuras destinadas a controlar el flujo de las aguas.-

Debido a estos variados usos es esencial que la gestión de los ríos sea realizada eficientemente.-

Con este fin el balance hídrico y los aspectos hidrológicos de los cursos de agua deben ser cabalmente conocidos y la influencia humana en este medio debe ser cuantificada y contenida dentro de determinados límites.-

En muchos lugares se ha comprobado que la mecánica natural de los ríos ha resultado severamente perturbada por la acción del hombre sobre las cuencas.-

El uso racional del recurso agua, o sea causando el mínimo de perturbaciones al medio ambiente, se consigue por medio de la sistematización o regulación de las cuencas hídricas. Una de las principales herramientas a emplear con este fin es la construcción de reservorios, que actúan almacenando el agua de los grandes flujos, que liberan en épocas de estiaje.-



## Balance hídrico y caracterización de los constituyentes de las cuencas

Las técnicas del balance hídrico permiten resolver problemas hidrológicos de índole teórica y práctica. Su aplicación posibilita realizar una evaluación cuali-cuantitativa de los cambios que pueden producirse como consecuencia de las actividades humanas en las cuencas.-

La aplicación de las mismas a la estructura de los ríos regulados redundará en el uso racional, control y redistribución del recurso agua en tiempo y espacio. También hace posible la predicción de las consecuencias de los cambios artificiales realizados en las cuencas sobre los regímenes de los ríos, lagos y acuíferos subterráneos.-

El conocimiento de este balance realizado sobre las aguas de lagos y ríos por cortos períodos de tiempo, como ser una estación del año, un mes, una semana o un día, es imprescindible para el manejo operativo de los reservorios y para la compilación de los antecedentes hidrológicos de las cuencas comprometidas.-

El estudio del balance hídrico permite evaluar en forma indirecta el valor de algún componente desconocido del mismo. Por ejemplo, en largos plazos la evaporación en una cuenca puede ser obtenida por la diferencia entre la precipitación pluvial en la misma y el escurrimiento.-

La ecuación básica del balance hídrico aplicado a una cuenca o a cualquier cuerpo de agua, indica el valor del flujo, del egreso y los cambios que sufre el agua retenida en ellos.-

El flujo comprende precipitaciones (P), como lluvia y/o nieve, caída sobre la cuenca, y afluencia de agua superficial o subsuperficial a la misma desde sus vertientes laterales.-

El componente egreso de la ecuación comprende la evapotranspiración desde la cuenca, así como la migración desde ella de aguas superficiales y subsuperficiales.-

Cuando el ingreso excede el manto del egreso, el total del agua almacenada en

el cuerpo se incrementa, en caso contrario disminuye la existencia.-

### Efectos de los reservorios y modificaciones de los canales

La función de los reservorios es redistribuir las aguas de los ríos; esto produce, inevitablemente, una modificación del régimen hídrico aguas abajo del embalse.

Esta modificación puede ser más o menos significativa, de acuerdo a la capacidad del reservorio, su manejo y las características del agua.-

La capacidad de almacenamiento puede ser definida por el coeficiente de acumulación, que relaciona el volumen del reservorio a la magnitud del flujo promedio anual.

La mitigación de las crecidas es otro efecto de estas obras; su mayor o menor efectividad en este sentido depende de la capacidad de almacenamiento y del manejo que se haga de las mismas.-

La reducción de la amplitud del pico de descarga es la manifestación de la efectividad de los diques, programados con este fin primordial.-

La principal modificación que se produce en las cuencas, aguas bajo de las presas, es el ascenso del nivel de las aguas, que a su vez incrementa el nivel freático. Probablemente esto sea una consecuencia de la percolación de aguas a través de los diques.-

La retención de aluviones en el vaso del embalse es causa, indirectamente, que se incremente la actividad erosiva de las aguas en el cauce aguas abajo. Así se produce descalce de las obras de arte y otros perjuicios similares en el lecho del río y en las márgenes.-

Frecuentemente el agua embalsada sufre modificaciones de sus características físicas-químicas. Por ejemplo, las aguas pueden cargarse de sales cuando el reservorio está cercano a salinas o cuando las aguas que lo alimentan, superficial y/o subsuperficialmente, realizan parte de su recorrido por terrenos salinos.-

Los reservorios también sufren sedimentación del material acarreado por las

aguas que llegan a ellos. Su significación depende de las características físicas de los sedimentos, de la morfología del reservorio y el uso que se hace de los terrenos que conforman la cuenca. Generalmente los aluviones se acumulan en la cabecera del embalse, formando un delta, que migra luego aguas abajo, produciendo el ascenso del nivel del agua y reduciendo la capacidad de almacenamiento.-

#### Modificaciones del canal

Tienen una gran influencia sobre el régimen fluvial, pueden ser expresados por la ecuación del flujo en los canales abiertos que permite definir la erosión, la acumulación de aluviones, constricciones y ensanchamientos, cambios en la vegetación que se desarrolla en el canal, modificaciones del gradiente, etc.-

Los cambios en las secciones transversales de los canales, los endicamientos longitudinales, la erosión de suelos y de rocas, las crecidas y desviaciones de las corrientes son algunos de los factores que más frecuentemente tienden a modificar los parámetros hidráulicos.-

En enangostamiento o supresión de un canal con una descarga baja y alta capacidad de almacenamiento, tiene escasa influencia sobre el nivel de las aguas en el caso de flujos estables; en cambio en los inestables acelera la velocidad de la corriente, como principal consecuencia.-

Aguas arriba del emplazamiento de los diques longitudinales se produce el ascenso del pelo del agua y, en el sitio de las obras, un incremento de la velocidad erosiva, mientras los aluviones tienden a depositarse aguas abajo.-

Si al hacerse el endicamiento se enangosta el cauce se corre el riesgo de inestabilizar su perfil longitudinal, debido al aumento del gradiente.-

La desviación de las aguas tiende a acelerar la propagación de la onda de crecida. Generalmente cuando el nuevo canal tiene muy bajo gradiente se modifica considerablemente la retención y tiende a acelerarse la propagación de las crecidas.-

Las desviaciones producen indirectamente la modificación del cauce primitivo, que solo quedan sumergidos durante los períodos de crecida, por lo que son rápidamente colonizados por la vegetación. Esto incrementa considerablemente la rugosidad del canal y contribuye a la formación de depósitos de aluviones y a un ascenso del nivel de las aguas.-

#### Características de la administración de un río regulado

La regulación de un río puede significar una importante contribución a la economía de la región debido a que el agua es un componente primordial de la mayoría de las actividades.-

Para que los resultados obtenidos de la obra sean óptimos es necesario que se conozcan en forma amplia los requerimientos, planificación y funcionamiento de las actividades basadas en el uso de este recurso.-

Como la explotación de las aguas subterráneas de las cuencas también resulta beneficiada por la regulación, vamos a considerar como influye ésta en su régimen.-

#### Recarga artificial de los acuíferos

Las aguas subterráneas constituyen en muchos lugares un recurso abundante. Se caracterizan por tener escasas variaciones temporales y contener cantidades mínimas de compuestos o elementos nocivos. En algunos casos, en cambio, como sucede con el arsénico en algunas localidades del Departamento Burruyacu, resultante de condiciones ambientales especiales, el tenor de los mismos alcanza valores elevados que hacen perder el carácter de potable al agua del acuífero, llegando a contaminar con su flujo a los reservorios vecinos.-

La explotación de los pozos, aún cuando se la haga dentro de sus valores de recarga, provoca la depresión de los niveles piezométricos del área vecina al pozo, desarrollando el llamado cono de depresión.-

Una de las técnicas empleadas con el fin de impedir el agotamiento del recurso

es permitir el acceso de agua, deliberadamente inyectada o inducida en el reservorio; se la conoce como recarga artificial.-

La calidad del agua provista por el acuífero resulta de la combinación de las características del agua existente originalmente en el mismo y de la introducida artificialmente. Debido a esto la recarga artificial puede usarse para mejorar aguas mediocres.-

Es ventajoso el empleo de esta técnica cuando el nivel de las aguas subterráneas está muy deprimido por la explotación o cuando hubo necesidad de delimitar artificialmente el acuífero para impedir la contaminación desde otros reservorios vecinos.-

### Técnicas

Existen varias técnicas de recarga artificial. Una de ellas emplea pozos que penetran en el acuífero a recargar, contruídos y equipados de manera similar a los pozos de explotación.-

También pueden construirse estanques sobre suelos de alta permeabilidad o usar perforaciones realizadas con otros propósitos.-

El monto de la recarga depende de las propiedades físicas del agua, de la capacidad de infiltración de los suelos y de la conductividad hidráulica de los estratos superpuestos al acuífero.-

### Pérdidas

La explotación de los acuíferos proporciona un volumen de agua inferior al aportado por las fuentes de alimentación. También la recarga desde la superficie sufre evaporación en los cuerpos abiertos de agua; la transpiración de los vegetales extrae la agua extraída del subsuelo, la humedad de los suelos resulta de la retención de aguas que luego es evaporada y otra fuente de pérdida son los acuíferos colgados, que retienen agua y que muchas veces drenan a través de exutorios accidentales.-

Cuando se hace uso del volumen total de la recarga, el remanente puede valorarse como pérdida. El ascenso del nivel piezométrico del acuífero recargado favorece el incremento del intercambio con los acuíferos vecinos, lo que puede dar lugar al acceso de aguas contaminadas.-

#### Administración del recurso

El empleo de aguas con propósitos de recarga puede afectar a los otros posibles usos de este elemento en la cuenca. Debido a esto la administración racional del recurso exige establecer un orden de prioridad de los usos del agua.-

Debido a que los acuíferos son habitualmente insensibles a variaciones temporales en el volumen de la recarga, este puede ser operada con flexibilidad. En muchos casos, particularmente cuando la recarga se hace desde la superficie, la operación puede realizarse en épocas en que disminuyen los otros requerimientos y también cuando aumenta el caudal del río.-

#### Características del incremento del flujo. Desagües domésticos e industriales

Desde lejanas épocas el hombre utiliza los ríos para evacuar sus desechos. Especialmente desde el comienzo de la última centuria los residuos industriales se ha convertido en muchos lugares en un serio problema.-

La contaminación de los cursos de agua es un problema muy serio, que en nuestra provincia permanece sin resolver, a pesar de las reglamentaciones y leyes existentes, que en la práctica son letra muerta.-

La pérdida de calidad del agua afecta especialmente a los habitantes de las bajas cuencas.-

La contaminación producida por los desechos industriales es normalmente mucho más seria que la resultante de los residuos domésticos. Las industrias químicas y otras, como las curtiembres, emplean productos que al ser volcados a los ríos pueden inutilizarlos casi totalmente.-

Ciertos procesos industriales, tales como las acerías y los generadores termales de electricidad, pueden elevar la temperatura del agua, afectando así la vida acuática.-

Existen tres posibles soluciones, que son:

- a) mejorar la calidad de los efluentes antes de su descarga en los ríos;
- b) diluir los afluentes en plantas de tratamiento adecuada;
- c) emplear las aguas cargadas de desechos para irrigación o usarlas como fertilizantes (caso de la vinaza en nuestra provincia).-

### Drenaje

El avenamiento de las aguas urbanas y de las tierras agrarias convenientemente colectadas y conducidas debe ser considerada en este ítem.-

En los sectores húmedos la agricultura puede requerir se deprima y controle el nivel freático por medio de canales de desagüe, lo que proporciona agua adicional.-

La descarga de los sistemas de drenaje, superficial y/o subsuperficial, puede tener las siguientes características:

- a) ser altamente variable en el tiempo;
- b) el volumen del agua extraída puede ser calculado conociendo las pautas de precipitaciones, características del suelo y niveles de los drenes. Esto cuando no se la puede medir directamente.-
- c) la temperatura del agua y las características de la superficie drenante son generalmente similares a los de los ríos que reciben sus aportes.-

Las aguas resultantes del drenaje aumentan el flujo natural de los ríos, pudiendo notarse este incremento y el nivel de las aguas en sectores de la cuenca ubicados aguas abajo del punto de captación.-

El efecto que tienen estos aportes de agua sobre la descarga pico del río depende de que haya coincidencia o no con las épocas de aguas altas y de las precipitaciones.

nes sobre la cuenca.-

En ciertos casos, cuando el drenaje se hace en suelos saturados, puede producirse un considerable incremento del flujo de las aguas bajas.-

Para cuantificar el impacto del drenaje superficial sobre la cuenca, se debe establecer la descarga pico, y el volumen y duración del flujo. En algunos casos se requiere conocer además el contenido de contaminantes y nutrientes (nitrógeno, fósforo, etc.).-

### Control de las crecidas

El control de las crecidas asegura una redistribución del flujo en el tiempo. Como la cuantía de las crecientes probables pueden ser calculada con un cierto grado de certeza, existe la posibilidad de programar los trabajos de control adecuados a cada circunstancia.-

La regulación total de las cuencas hídricas se encuentra aún en el campo de las hipótesis, como ya se señaló en otra parte de este trabajo, siendo en estos momentos prácticamente imposible de realizar.-

Las crecidas suelen causar serios problemas, el más grave de los cuales es la pérdida de vidas, luego deben mencionarse los daños que sufren las áreas urbanas, las dedicadas a la agricultura, ganadería y producción forestal, etc.-

Una consecuencia indirecta de esta contingencia es la suspensión de las actividades productivas en las regiones afectadas. También revisten estas características los cambios que se producen luego que ha cedido la crecida y que causan, por ejemplo, la imposibilidad de trabajar los campos debido al agua estancada en ellos, especialmente en los bajos topográficos; los cambios en la dirección de los cursos de agua y en su profundidad, etc.-

También puede resultar incrementada la acumulación de aluviones y la erosión de las márgenes de los cauces, inutilizándose a algunos canales para la navegación y



obligando a realizar su dragado luego de cada creciente.-

Para realizar un proyecto de control de las inundaciones que sea verdaderamente eficaz es imprescindible disponer de información histórica sobre la magnitud y duración de las crecidas, con la mayor extensión en el tiempo que sea posible obtener. En este sentido, los principales parámetros hidrológicos a considerar son las descargas pico y las máximas alturas alcanzada por las aguas.-

Disponiendo de suficiente información se puede estimar los probables niveles de las inundaciones que pueden producirse, confeccionándose mapas de las crecidas que reflejen las diferentes alturas alcanzadas y la extensión de las superficies afectadas.-

Es muy importante poder determinar la duración del fenómeno y su volumen, así como su máxima velocidad. Finalmente, en muchas ocasiones es necesario estimar la probable precipitación pluvial máxima y el máximo flujo probable.-

Existen varias herramientas para controlar este problema, que ya han sido aplicadas en distintos lugares y situaciones, con resultados generalmente satisfactorio, ellos son:

- Construcción de reservorios que almacenen las aguas de las crecidas. Ya nos ocupamos de ellos.-
- Derivar el exceso de flujo a otra cuenca que esté en condiciones de recibir este aporte sin mayores problemas. En algunos casos excepcionales dicha derivación puede realizarse durante el período de aguas bajas del río receptor, incrementándose su escasa descarga.-
- Volcar el exceso de la descarga en reservorios naturales, tales como pantanos o sectores bajos ubicados aguas arriba de la zona que se desea proteger. Lo ideal es poder devolver luego el agua al río, aguas abajo del sector comprometido. En este caso se produce una redistribución del flujo en función del tiempo.-
- Mejoramiento de los canales de desagües, aumentando su eficiencia hídrica.-

Puede realizarse de la siguiente manera:

- a) Rectificación de los cauces, no construyendo canales totalmente rectos por las razones que se expuso en otra parte de este trabajo, sino dotando a los meandros de radios de curvatura mucho más amplios que los originales. Con este trabajo se procura incrementar la velocidad del flujo y reducir el pelo del agua.-
- b) Construcción de aliviaderos para conducir los excesos de escorrentía y de by-pass, en secciones críticas de los cauces.-
- Construcción de endicamentos longitudinales que restrinjan el escurrimiento al área comprendida entre ambas líneas de defensa. Se debe tener en cuenta que muy probablemente el nivel del agua pueda incrementarse aguas arriba de las obras debido a la restricción que estas realizan de su desplazamiento.-

### INESTABILIDAD DE LOS MEANDROS. MEDIDAS DE CORRECCION

La inestabilidad de los meandros se manifiesta en las migraciones transversales y longitudinales del eje de los ríos, que barren toda la llanura aluvial. Este fenómeno es fuente de serias perturbaciones en las cuencas medias y bajas, que habitualmente son las más pobladas.-

El proceso de construcción de los meandros es continuo, afectando a distintos sectores de las riberas en los que se excavan nuevos cauces, mientras los antiguos, al ser abandonados por las aguas, quedan convertidos en pantanos costeros, inútiles para la agricultura, los asentamientos poblacionales o cualquier aprovechamiento que pueda beneficiar a la comunidad.-

En distintos lugares del mundo en que existen cursos de agua muy caudalosos, con cuencas muy amplias en donde se han asentado importantes poblaciones e industrias, y donde se realiza agricultura y ganadería intensiva, hubo que realizar obras de gran envergadura con el fin de estabilizar los canales fluviales que tienen este sistema de drenaje.-

En Estados Unidos de América se hacen trabajos de rectificación de canales desde hace muchos años. Debido a los criterios ecológicos que se han adoptado, se procura que las obras/<sup>que</sup>se realizan en la actualidad tengan, además de la estabilidad, que es el requerimiento básico, un aspecto agradable, acorde con las características del medio ambiente, y que afecten lo menos posible a la fauna terrestre y acuática.-

Antes de la realización de estos emprendimientos debe estudiarse en forma cuidadosa el comportamiento hidráulico de los canales rectificados existentes en el área o en sus cercanías.-

El canal que se proyecta modificar debe ser reconocido en toda su longitud, cuan

do esto sea posible, prestándose particular atención a características tales como la profundidad, ancho, gradientes de las márgenes, sus formas, etc.-

Las secciones transversales de los valles fluviales son fuente de información sobre la resistencia que oponen a la erosión los materiales que conforman las orillas.

Debe relevarse los sitios en que se observan señales de socavamientos, hundimientos y recortes del canal.-

El tipo condición de la vegetación de las riberas y del cauce evidencian la estabilidad de los sitios en que se desarrollan, siendo además un factor de rugosidad del canal.-

Como parte importantísima de este reconocimiento se debe determinar cuales son los materiales que constituyen el lecho y las márgenes del río, así como la proporción en que se encuentran.-

Hay que tener un cuidado particular con los sectores de la cuenca formados por materiales altamente erodables, como la arena.-

Se debe presta atención a la relación existente entre el nivel del canal y los terrenos que lo rodean, Por ejemplo, puede estar colgado entre diques naturales o incendiéndolos.-

A continuación se desarrolla una somera clasificación de los sedimentos que conforman el cauce y la zona ribereña:

- a) Aluvial: estos sedimentos generalmente forman gruesos depósitos compuestos principalmente de arenas y gravas, que las aguas del río están continuamente arrancando de su lugar de yacimiento, transportando y redepositando.-
- b) No aluvial: son materiales cohesivos, como arcillas y limos, que luego de ser erodados son conducidos por las aguas como carga en suspensión, que al ser abandonada sobre el lecho no forma depósitos de gran potencia. Generalmente en los canales existe un delgado estrato de estos sedimentos, superpuesto a capas de materiales

más resistentes, como arena, gravas o bloques, que son desplazados por los flujos normales.-

c) Rocas: rocas cristalinas, lutitas o arcillitas muy compactas.-

### Inestabilidad de los canales

Esta es una situación que debe ser cuidadosamente estudiada y documentada, tanto en el canal principal como en los tributarios, que pueden tener distintos niveles de degradación.-

Las medidas de corrección y protección que se pueden implementar en los cursos de agua con meandros son numerosas. Entre las más efectivas se encuentra la construcción de diques y malecones en las márgenes cóncavas, que pueden contener en gran parte la erosión que las afecta.-

Revestir las zonas que corren peligro de ser atacadas por las aguas o que están soportando esta situación con rip rap es otra de las medidas que se aplica con frecuencia. Este revestimiento se adapta por su propio peso y sistema de construcción a los terrenos que debe proteger.-

Debido a su alto costo no vamos a referirnos a las mantas de geotextiles, que en otros países se emplean con éxito.-

### Rectificación

Una de las técnicas de corrección que puede emplearse es la rectificación del canal.-

Los meandros apretados, de corto radio de curvatura, son un serio obstáculo para la navegación y una amenaza para la estabilidad de las márgenes de los ríos.-

Muchas veces durante las crecientes se forma espontáneamente un canal que rectifica el cauce, eliminando la curvatura.-

Artificialmente se realiza este tipo de canalización para prevenir el desarrollo de futuros meandros entre otros lugares en la baja cuenca del Mississippi. Estos tra-

bajos han tenido hasta el momento un aparente éxito. La rectificación se realiza dragando un canal piloto que une dos sectores enfrentados y cercanos del meandro. Posteriormente las aguas del río ensanchan ese canal piloto y cierran el antiguo cauce con los sedimentos que acumulan contra él.-

#### Remoción de obstáculos

Troncos de árboles, tocones, rocas y otras obstrucciones del canal constituyen un peligro para la navegación y promueven la acumulación de aluviones; por estos motivos es esencial su remoción.-

#### Protección del pie de las vertientes

Concepto: Es fundamental la estabilización del sector basal de las vertientes en el cual, habitualmente, los procesos erosivos son muy activos, especialmente el socavamiento que realizan las aguas que corren recostadas sobre el pie de los taludes, poniendo en riesgo de colapso a grandes sectores de las barrancas.-

En muchos casos no es necesario realizar obras de defensa en los otros sectores de la vertiente, lo que permite preservar la vegetación nativa.-

Con el fin de estabilizar esta zona pueden acumularse sobre ella materiales pétreos y gruesas granulometría; estas defensas desvían el flujo de las orillas y promueven la acumulación de aluviones atrás de su estructura. La unión de las mismas con los terrenos de las márgenes del río debe ser tan íntima que no puedan ser flanqueadas por las corrientes.-

Como ejemplo debe mencionarse que en el Río Yazzo, en Estados Unidos de América, estas obras funcionan eficazmente, excepto en dos tipos de situaciones, a saber:

- a) cuando no se corrigió la inestabilidad del canal, continuando su degradación, lo que obligó a rehabilitar toda la estructura;
- b) cuando los procesos erosivos actuaron en niveles de la vertiente superiores al emplazamiento de las obras de protección del pie; las causas fueron el escaso desa-

rollo de la vegetación y/o la alta erosibilidad de la ribera.-

### Factores que condicionan la regeneración de la cubierta vegetal

Cuando se desea reconstruir la cubierta vegetal de los sectores depredados de las cuencas hay que tomar en consideración un cierto número de factores que aseguren un buen desarrollo de la tarea.-

Muy importante entre ellos son la intensidad de la erosión y las características del flujo fluvial, que pueden impedir el desarrollo de la vegetación.-

Allen (1982), detalla los siguientes elementos a considerar:

a) flujo del río: las características hidrológicas del río condicionan el tipo de vegetación y época de plantación más adecuada. Es fundamental conocer las alturas que alcanzan las inundaciones y su duración.-

Distintos tipos de plantas deben ser colocados en los diferentes niveles de las vertientes de acuerdo a su aptitud para sobrevivir y desarrollarse durante las varias etapas de las crecidas o para disipar la energía de las ondas.-

Con relación al nivel de las aguas de las crecientes se han definido en las vertientes tres zonas, que son:

1.- Zona de salpicadura: es el sector comprendido entre el nivel de flujo de las aguas altas y el de las aguas bajas normales. Puede sufrir varias inundaciones durante el año.-

Esta zona está sujeta frecuentemente a la acción de las olas, de las corrientes erosivas, del hielo y al desprendimiento de escombros desde los niveles superiores. La afectan también ciclos de humedad-sequedad y de hielo-deshielo; es por lo tanto una zona de grandes tensiones.-

2.- Zona de margen o de ribera: permanece casi siempre sobre el nivel de las aguas altas. Por definición, es la parte de la ribera que resulta inundada menos de 60 días cada 2 ó 3 años.-

Los trastornos en esta zona incluyen periódicas exposiciones a la acción del oleaje, de las corrientes erosivas del río, movimientos de caída de derrubios y de hielo y desplazamiento de animales y hombres.-

3.- Terrazas: es la parte superior de las vertientes, y la más alejada del lecho del río, por lo que habitualmente no sufre la acción erosiva de las aguas.-

Muchos proyectos de sistematización incluyen la excavación de esta zona con el fin de conseguir una pendiente estable de la vertiente.-

Debido a la infrecuente de las inundaciones esta zona está sujeta a períodos de sequía, en que su humedad depende de las lluvias.-

4.- Configuración de las márgenes. Su topografía: Las riberas erodadas y recortadas por la acción de las aguas no resultan aptas para el desarrollo de la vegetación.-

Los sectores más abruptos deben ser rebajados porque en ellos es difícil el arraigo y desarrollo de una buena cubierta vegetal. Se considera que los terrenos más aptos para este fin son aquellos cuyo gradiente es inferior a  $1,5V : 1H$ . Esta relación varía con el tipo de suelo. En el río Winooski, en Vermont, Estados Unidos de América se estableció los siguientes valores:

<u>Tipo de suelo</u>	<u>Gradiente</u>
Arcilla compacta	1v : 1H a 1V : 4H
Textura media	1v : 3H a 1V : 2H
Arena o gravilla	1v : 2H a 1V : 4H

5.- Preparación del sitio de plantación: Las plantas requieren de un medio de cultivo que proporcione soporte, nutrientes y agua. Si este no existe en el lugar que se desea reforestar se debe cubrir el área con una capa de suelo rico en materias orgánicas o mejorar las condiciones del existente por medio del agregado de yeso o fertilizantes.-

6.- Tipos de vegetación: Varía desde especies herbáceas a grandes árboles. Todas ellas deben caracterizarse por la tolerancia a las inundaciones.-



Como ya se dijo es conveniente emplear plantas adecuadas a los distintos niveles de crecida.-

### Vegetación adecuada a los diferentes sectores

Las distintas zonas de las márgenes de los ríos descriptos en los renglones precedentes permiten el desarrollo de varias comunidades vegetales, condicionadas principalmente por las fluctuaciones diarias y estacionales de las corrientes.-

a.- Zona de salpicadura: Debido a que está frecuentemente inundada, en ella no se puede sembrar semillas.-

Durante los períodos de aguas bajas se puede plantar especies acuáticas; tallos, estacas, rizomas o arbustos pueden plantarse directamente o se puede realizar el trasplante de plantines que se colocan en zanjas excavadas paralelamente al cauce. El área de plantación se cubre con alambre tejido retenido con estacas, estos medios de fijación deben mantenerse hasta que las plantas estén bien arraigadas y comiencen su desarrollo.-

b.- Zona marginal o de ribera: En ella pueden usarse hierbas, arbustos y árboles. En las zonas inferiores, expuestas a la acción de las olas, cuando estas son suaves, se puede implantar especies herbáceas resistentes a las mismas,-

Hasta el arraigo definitivo de las plantas, se debe afianzar el área con alambres tejidos sujetos por estacas.-

Donde la erosión adquiera características severas hay que recurrir al empleo de estructuras de soporte; además de las mallas de alambre se puede recubrir el suelo con varillas de sauce o colocar fajinas.-

- En la construcción del enrejado de varillas de sauce, graficado en lámina n° se emplean ramas que se colocan perpendicularmente al canal, en una excavación somera que luego se cubre con una delgada capa de tierra; se las ata con alambre o se las entrelaza con otras varillas flexibles. Luego de cierto tiempo estas varillas brotan, que

dando consolidada la defensa.-

- Las fajinas se construyen también con varillas, en este caso atadas con alambre formando un rollo que puede tener de 3 a 6 metros de largo y de 1,20 a 1,50 m. de diámetro. Se las entierra paralelamente al canal, retenidas en el lugar por estacas.-

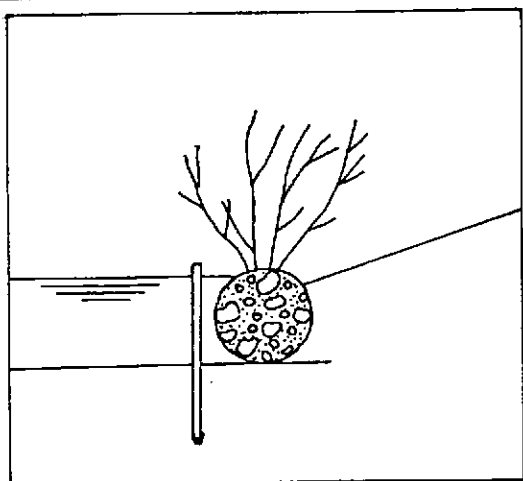
En los sectores bajos, expuestos a la acción de las corrientes, las fajinas pueden ser colocadas diagonalmente a la dirección del flujo.-

Las distintas líneas de fajinas se colocan en la vertiente con un distanciamiento de 0,90 a 1,20 metros.-

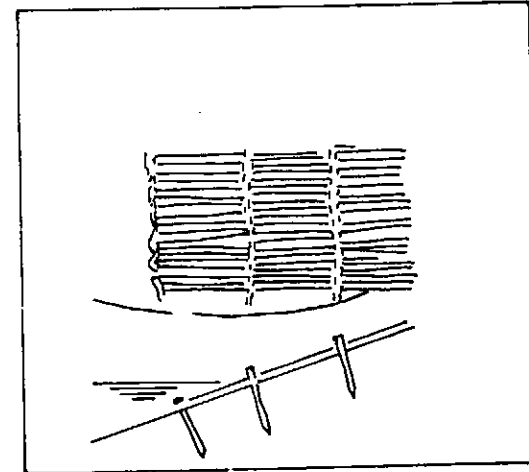
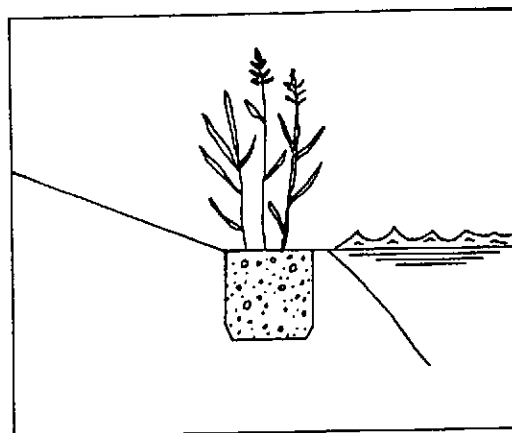
Estas defensas son muy efectivas en el control de los distintos procesos de remoción en masa causados por las corrientes de agua que descienden por las laderas, los resultantes de la acción del viento y de la actividad del ganado y de los animales salvajes.-

c.- Terrazas: Aunque esta zona no sufre la acción erosiva de las aguas, salvo en crecidas excepcionales, frecuentemente debe ser reforestada como consecuencia de los trabajos de sistematización realizados en la cuenca o de la actividad humana.- En los trabajos a realizar en esta zona pueden emplearse árboles y arbustos. Hasta que éstos se desarrollen se puede sembrar pasto, lo que proporciona en breve plazo una cubierta vegetal.-

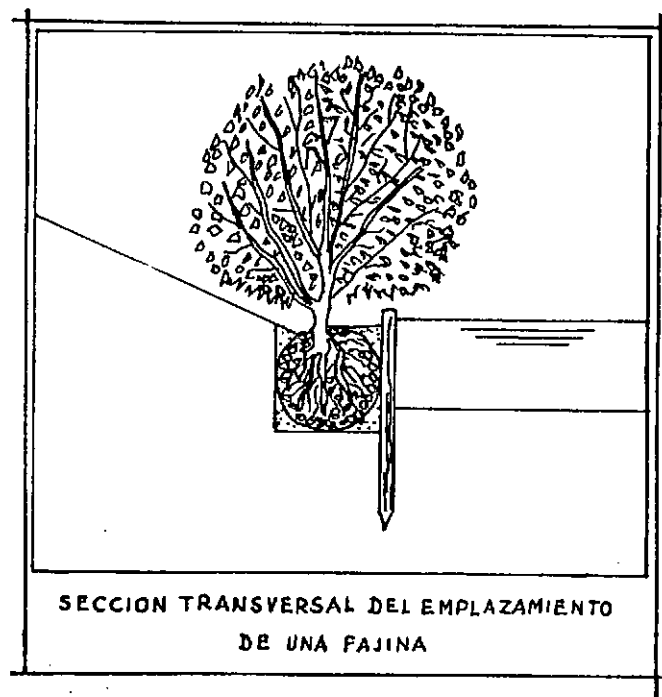
Las zonas de terraza con pendiente inferior a 1V: 5H pueden ser plantadas sin ningún tratamiento previo, en cambio los sectores con gradientes del orden de 1V: 3H o mayores, requieren medidas adicionales de control de la remoción.-

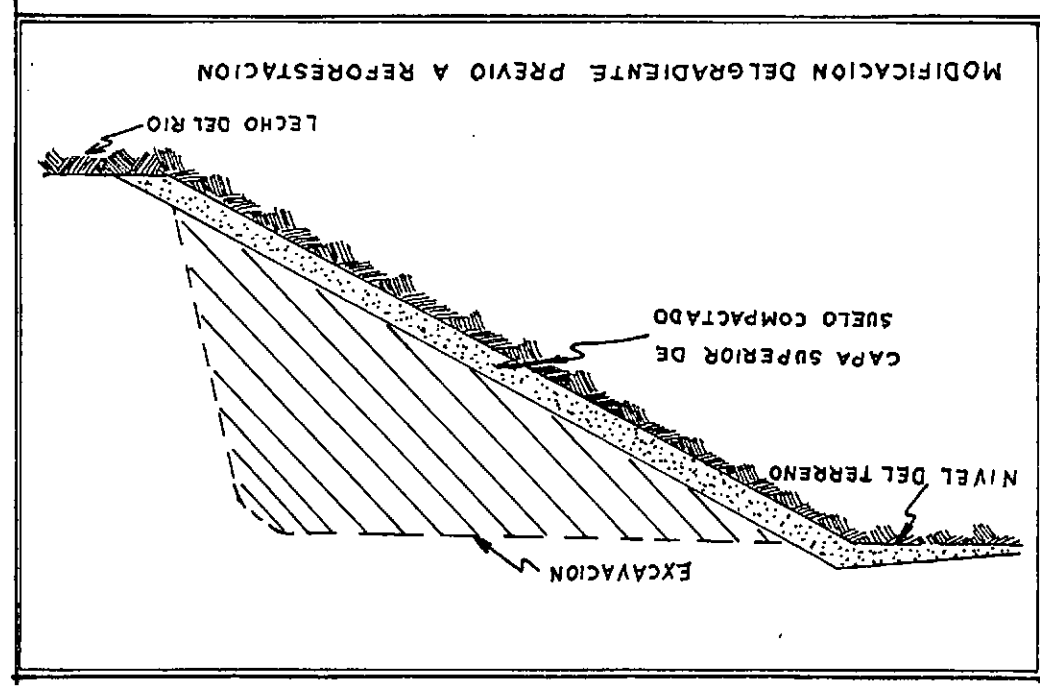


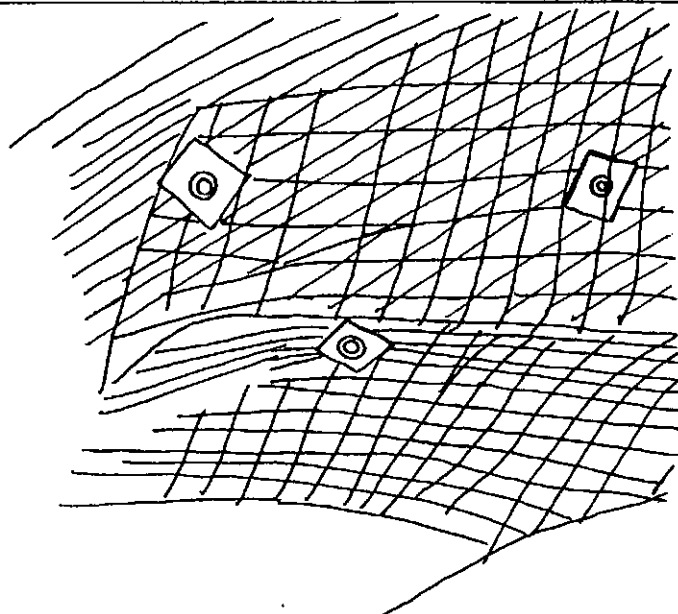
COLOCACION DE ROLLOS CON VEGETACION ACUATICA PARA DEFENSA DEL PIE DE LAS VERTIENTES



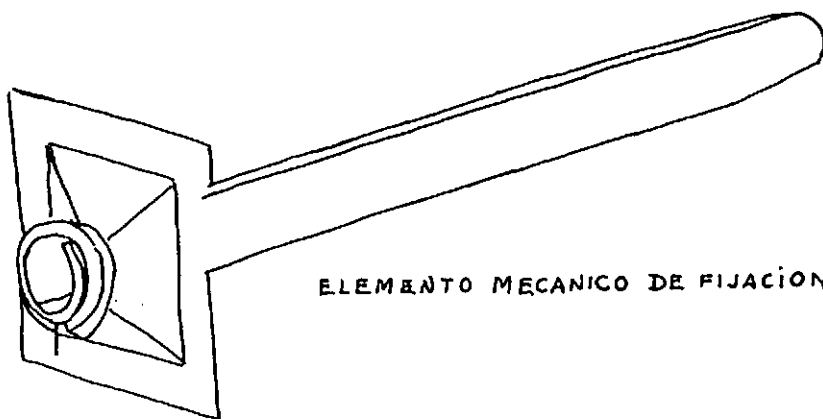
DEFENSA FORMADA POR VARILLONES DE SAUCE



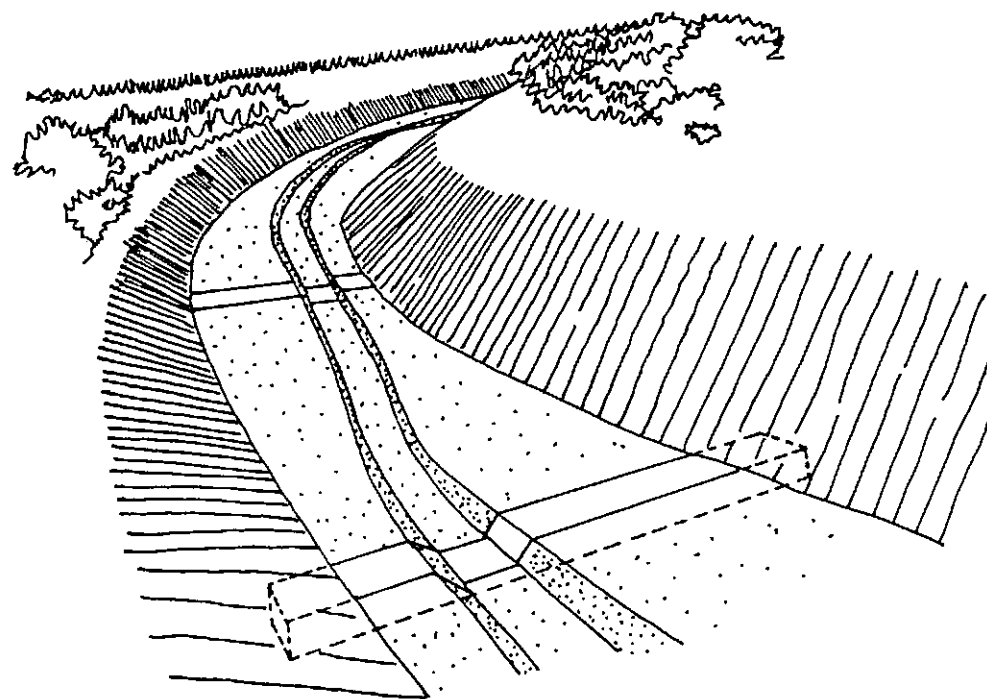




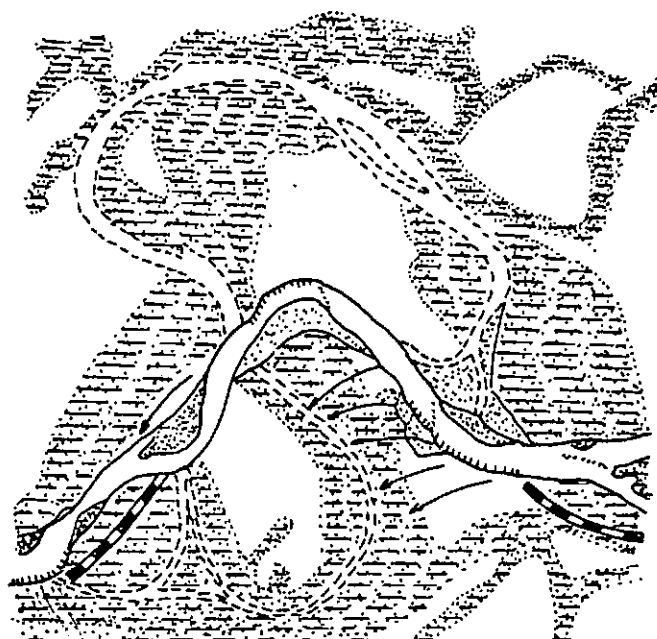
CONSOLIDACION DE UNA PARED ROCOSA INESTABLE  
CON ELEMENTOS DE FIJACION Y ALAMBRE TEJIDO



ELEMENTO MECANICO DE FIJACION



USO DE UMBRALES RECORTADOS PARA CONTROLAR LA TENDENCIA A CONSTRUIR MEANDROS DE LAS AGUAS BAJAS. ESTABILIZAN ESTE FLUJO Y PREVIENEN LA EROSION DE LAS MARGENES DE SUS CANALES



Formación de nuevos meandros en el emplazamiento de meandro recortado



Orilla socavada



Canal con umbral  
aluvial



Antiguo lecho



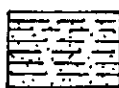
Corriente de  
crecida



Acumulaciones  
aluviales actuales

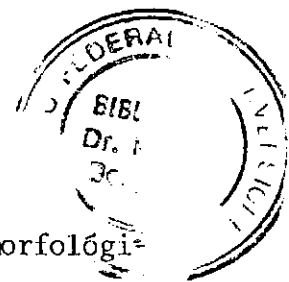


Dique



Bosque





### MODIFICACIONES DE LOS LECHOS DE INUNDACION

Las secciones transversales, las pendientes y demás características morfológicas de una canal natural y su capacidad de flujo están determinadas por procesos naturales acordes con leyes físicas.-

Henderson (1966) resumió de esta manera el resultado de los estudios de la capacidad natural de dos cursos de agua:

- a) Los canales naturales colman su capacidad como resultados de eventos de características similares, con intervalos de 6 o más meses.-
- b) Un canal natural puede aumentar su eficiencia hidráulica como consecuencia de modificaciones de su estructura, reduciéndose la frecuencia de inundaciones que desborden de los cauces.-
- c) La capacidad del canal puede incrementarse por el ensachamiento de su sección transversal y la velocidad del flujo por el aumento del gradiente longitudinal.-
- d) Donde las riberas son altas, el canal puede ser rectificado, con lo que mantendrá altas velocidades reduciendo su ancho.-
- e) La reducción de la frecuencia y/o duración de las crecidas como consecuencia de las modificaciones introducidas al canal, permite cultivar o desarrollar las planicies de inundación con menores riesgos.-
- f) El resultado de estos trabajos será de corta duración si el nuevo canal es extremadamente inestable o se permite que la vegetación lo invada.-

### Impactos adversos que provoca las modificaciones de los canales de inundación

El tipo y la magnitud de estos impactos varía de lugar a lugar. Una categorización de ellos es la siguiente:

- a) habitats acuáticos: las pérdidas o cambio de sus características producen un efecto

to negativo en la producción, diversidad, densidad y composición de las comunidades acuáticas.-

- b) habitats terrestres y de zonas pantanosas: la misma situación que se describe en el ítem a).-
- c) inestabilidad de los canales: pueden producirse sensibles incrementos de los procesos erosivos y acumulativos de sedimentos, en forma de turbidez y socavamiento de las márgenes, agradación y degradación del canal, recortes de las márgenes, etc.
- d) estética: degradación de los valores estéticos del río y de las áreas de riberas.
- e) calidad del agua: disminuye la calidad del agua, principalmente por aumento de su temperatura y de su concentración de sedimentos.-
- f) hidrología: los cambios en las condiciones hidrológicas incluyen descenso del nivel freático, drenaje de áreas pantanosas, grandes variaciones en las descargas, disminución de los derrames como consecuencia de las crecidas, incremento de las inundaciones en las bajas cuencas, flujo intermitentes y mayor uniformidad de la profundidad y velocidad del flujo.-

# LA CUBIERTA VEGETAL EN RELACION CON LAS OBRAS DE DEFENSA

CATEGORIA	AREA PROTEGIDA	RELACION CON EL MEDIO AMBIENTE	RESTRICCIONES A LA VEGETACION
I			
(Alto valor-Alto riesgo)	Estructuras públicas y privadas de gran valor estratégico (puentes, carreteras, viviendas)	La obra de defensa está bajo el ataque de las aguas del río. Las estructuras están demasiado cercanas para protección en el caso de colapso de la defensa.	No se debe permitir el desarrollo de vegetación que obstaculice las tareas de inspección o ponga en peligro la estabilidad de las obras.
II			
(Alto valor-Bajo riesgo)	Areas de importancia económica, con estructura desarrollada.	Las defensas sufren el ataque de las aguas. Las estructuras están a unos 45 m o más detrás de la cresta de las obras, dando tiempo suficiente para reparaciones de emergencia.	No permitir vegetación que impida la inspección aérea. Favorecer al desarrollo de pasto y plantas herbáceas, arbustos dispersos de bajo porte y algunos árboles de las mismas características.
III			
(Escaso valor-Bajo riesgo)	Tierras agrícolas, parques y otras áreas naturales.	Las defensas expuestas al ataque de las aguas del río.	No permitir vegetación que obstaculice la inspección terrestre. Usar pasto y plantas herbáceas. Arbustos y árboles de desarrollo medio.
IV			
(Escaso valor-Sin riesgo)		Defensas protegidas del ataque directo de las aguas por migración del canal o acumulación de aluviones ocurridas con posterioridad a su construcción	Ninguna. Se permite el libre desarrollo de la vegetación.

## PEQUEÑAS PRESAS DE TIERRA - SU ESTUDIO Y SU CONSTRUCCION

### Introducción

Bajo este título nos ocuparemos de pequeños dique de tierra, así llamados por- que su altura es inferior a la decena de metros y en su construcción se emplean se- dimentos arcillosos, suficientemente compactados como para asegurar su estanqueidad.

### Presas de Tierra

El fin primordial de estas obras es la irrigación. A pesar de su escaso tamaño debe ser cuidadosamente programadas y construídas; de no hacerse así puede perturbar- se seriamente el sector de la cuenca en que están asentadas, llegándose, en casos ex- tremos, a imposibilitar su uso. Cuando almacenan volúmenes importantes de agua su co- lapso puede afectar a la seguridad pública.-

Cuando se encara la construcción de una presa de este tipo se debe examinar cui- dadosamente los siguientes puntos:

- volumen: para que la obra se justifique desde el punto de vista económico la rela- ción entre el volumen de agua a embalsar y el del material que se ocupe en la cons- trucción debe ser superior a 5; en el caso de obras destinadas a irrigación.-
- alimentación: los aportes de la cuenca deben ser suficientes como para asegurar el el llenado anual de la presa.-
- crecidas: para evitar la sumersión y probable destrucción de la obra, es necesario dotarlas de obras de evacuación capaces de evacuar las crecidas más importantes.

En este sentido, una gran cuenca obliga a construir costosos aliviaderos.-

- estabilidad: los terrenos de fundación poco resistentes pueden afectar la estabili- dad de la presa.-
- estanqueidad: se debe verificar en el vaso y en el muro.-

- zonas de préstamo: los materiales necesarios para la construcción del reservorio deben encontrarse en proximidades de la obra.-

Estudios: su amplitud depende de las características de los terrenos.-

Topografía: un relevamiento a escala 1:500 o 1:1000 permite calcular los volúmenes, determinar la superficie inundada, localizar los trabajos de reconocimiento, especialmente del sector de emplazamiento de la obra y las zonas de préstamo.-

Hidrología: los estudios hidrológicos son complejos y requieren la intervención de organismos especializados; se basan en medidas y comparaciones con cuencas vecinas y en métodos de cálculos teóricos.-

Los parámetros que se mencionan a continuación pueden aplicarse a pequeñas cuencas de llanura, de superficie inferior a 500 hectáreas; se los menciona a título indicativo.-

- el aporte anual que permite llenar el embalse en la mayor parte de los años secos, puede ser estimado en cerca del 10% de la pluviometría media anual, valor que puede estar comprendido entre 500 y 1.500 metros cúbicos por hectárea de la cuenca.-
- el aliviadero de crecidas deben permitir el flujo de avenidas con períodos de retorno de 100 a 1000 años. Las observaciones efectuadas muestran que las posibilidades máximas para una cuenca de 100 has. pueden estar en el orden de una decena de metros cúbicos por segundo.-

#### Geología y geotecnia:

Los estudios geológicos tienen los siguientes fines:

- cuantificar la resistencia y estanqueidad de la fundación;
- determinar la estanqueidad del vaso y de las vertientes;
- evaluar la disponibilidad del material adecuado para la presa (1,5 a 2 veces el volumen necesario para la construcción).-

## Proyecto

Este tipo de obras se realizan generalmente con un solo tipo de material arcilloso compactado.-

El nivel normal de las aguas se fija en función de las necesidades, la topografía y el potencial de la cuenca.-

El volumen máximo de crecida retenida, el efecto de la lámina líquida y del tipo de aliviadero construido, determinan el nivel de las más altas aguas. El análisis de la acción y alcance del oleaje permite fijar la altura del coronamiento de la presa.-

## Perfil y estructura

En este ítem solo consideramos las presas homogéneas, de materiales finos arcillosos, que tengan problemas particulares de estanqueidad o estabilidad.-

Los principales elementos a considerar en el proyecto son los siguientes:

- función: es indispensable eliminar la tierra vegetal existente en el sitio de la fundación hasta una profundidad aproximada de 0,50 m.-

La profundidad de la clase de estanqueidad, destinada a reducir las infiltraciones a través de la fundación, depende de la naturaleza geológica de los terrenos; se preconiza una profundidad igual al menos a un tercio de la altura.-

- pendiente de los taludes: resultan de estudiar la estabilidad, considerando el valor de la resistencia al cizallamiento de los terraplenes y de la fundación, y las condiciones de escurrimientos del agua de infiltración.-

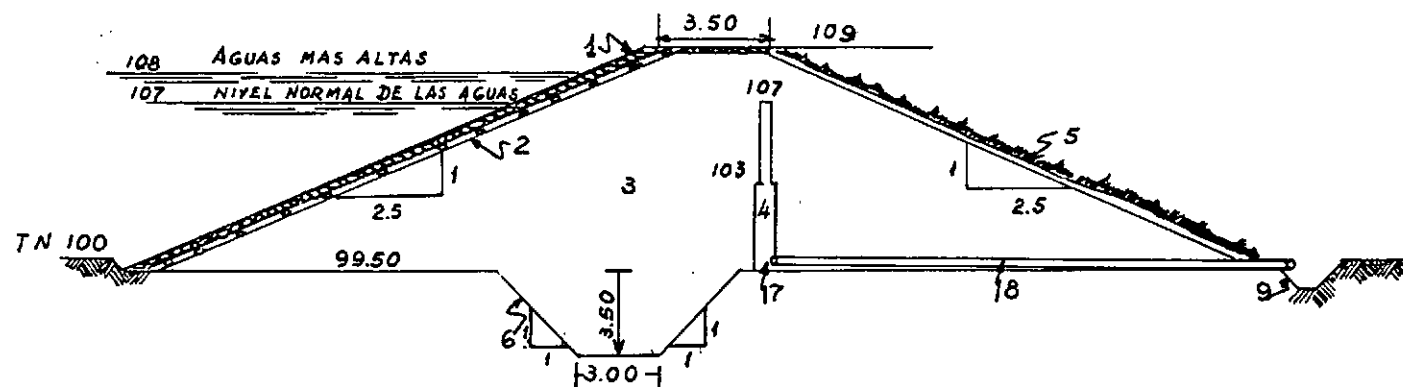
En general estas pendientes varían entre 1:2 y 1:3 el ancho mínimo de la coronación es de 3 metros.-

- dispositivos drenantes: tienen por fin evitar que las aguas de infiltración atraviesen el terraplén y desaguen a través del parámetro de aguas abajo, lo que podría deteriorar o destruir el talud. En la ilustración referente a este tema se

grafica una trinchera drenante en arena.-

- protección de los parámetros: el sistema de protección más corrientemente empleado contra la acción de la olas consiste en realizar un rip rap, con bloques de dimensiones a calcular: una capa de transición debe separarlo de los materiales finos compactos.-

La protección del parámetro de aguas abajo contra la erosión causada por la concentración de aguas pluviales puede prevenirse con una capa de tierra vegetal cubierta de césped.-



- 1: 0.40 m de enrocamiento 100-400 mm. ( $d_{50} = 250$  mm)
- 2: 0.20 m de grava de 0-100 mm.
- 3: material fino, arcilloso, compactado
- 4: trinchera para drenaje rellena de arena 0-5 mm
- 5: 0.10-0.20 m. de tierra vegetal

- 6: cierre de estanqueidad
- 7: colector plástico perforado,  $\phi$  ext. 125 mm.
- 8: colector plástico ciego,  $\phi$  ext. 75 mm.  
pendiente 1:100 (4 colectores, en total)
- 9: trinchera al-pie.

EJEMPLO DEL CORTE TRANSVERSAL DE UNA PRESA DE TIERRA



## B I B L I O G R A F I A

- DE LA VEGA, E., 1982. "Geología e Hidrogeología del Faldeo de la Sierra de Aconquija entre Famaillá y Monteros (Dpto. Famaillá y Monteros)". Seminario Inédito.-
- D'URSO, C., 1990. "Características hidrogeológicas del baldeo oriental de la Sierra de La Ramada entre la localidad homónima y Las Cejas, Dpto. Burruyacu, Tucumán".-
- GARCIA, J., 1987. "Geología y estratigrafía del sector comprendido entre Villa Padre Monti y el Valle del río Nío, Dpto. Burruyacu, Tucumán". Seminario Inédito.-
- IBÁÑEZ PALACIOS, G., 1989. "Características hidrogeológicas del borde oriental de la Sierra de La Ramada entre las localidades del El Barco y Gobernador Piedrabuena, Departamento Burruyacu, Tucumán". Seminario Inédito.-
- LAZARTE, J.E., 1984. "Geología de la Sierra del Nogalito, Dpto. Burruyacu, Tucumán". IX Congreso Geológico Argentino, Tucumán. Tomo I, 270 - 285.-
- LINARES, R. y SUAYTER, L.E., 1986. "Sobre la colmatación del Dique El Cadillal, Provincia de Tucumán". Revista "Arquitectura y Construcción", N° 52, Tucumán.
- MON, R. y URDANETA, A., 1972. "Introducción a la Geología de Tucumán". Revista de la Asociación Geológica Argentina.-
- NAVAS, B., 1988. "Geología e hidrogeología de la cuenca del río Colorado, Provincia de Tucumán". Seminario Inédito.-
- NEDER NEMEC, L., 1983. "Geología y geomorfología de la cuenca baja del río Medina, Dpto. Burruyacu, Tucumán". Seminario Inédito.-
- RATTO, L., 1983. "Geología y geomorfología de la cuenca del río Nío, Dpto. Burruyacu, Tucumán". Seminario Inédito.-

SAYAGO, J.M., 1984. "Capítulo geomorfológico". Publ. esp. Colegio de Geólogos.-

SARUDIANSKY, R.; SUAYTER, L.E.; GAILLARDOU, R.; RODRIGUEZ, B. y ZABALA, J., 1985.

"Diagnóstico Minero de la Provincia de Tucumán". Edit. Consejo Federal de Inversiones.-

SUAYTER, L.E. y LINARES, E., 1987. "Zonificación sísmica de la Provincia de Tucumán".

Actas del X Congreso Geológico Argentino. Tomo I.-

SUAYTER, L.E., 1988. "Mapa Geotectónico de la Provincia de Tucumán-Escala 1:200.000".

(Revisado por la Asociación de Geología Aplicada a la Ingeniería y aprobado).-

SUAYTER, L.E., 1989. "Trama Geológico-estructural de la Llanura Tucumana". Inédito.

CONICET y Dirección Provincial de Minería.-

SUAYTER, L.E., 1984. "Relaciones entre la sismicidad y Tectónica del norte Argentino entre los paralelos 22° y 28° de Latitud Sur y los Meridianos 64° y 68° de longitud Oeste". Tesis Doctoral, Inédita. Facultad de Ciencias Naturales.

UNT.-

TOSCANO, V.G. y SUAYTER, L.E., "Efectos de la crecida del Río Famallá sobre la Población homónima". Revista "Arquitectura y Construcción", n° 68. Tucumán.-

ZUCCARDI, R.M. y FADDA, G.S., 1985. "Bosquejo Agrológico de la Provincia de Tucumán".

Miscelanea n° 86. Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de Tucumán.-

1984. "Geología de Tucumán". Colegio de Graduados en Ciencias Geológicas.-

Temas consultados:

a.- GEOLOGIA ESTRUCTURAL: Luis SUAYTER

b.- GEOMORFOLOGIA: SAYAGO, J.M.; RATTO, L. y COLLANTE, M.

c.- HIDROGEOLOGIA: TINEO, Alfredo

1974. "Plan trienal para la recuperación de Tucumán". Tomo I. Diagnóstico Global.

Secretaría de Planeamiento de la Provincia.-

1980. "Tucumán en cifras". Tomo I y II. Dirección de Estadística de la Provincia.-

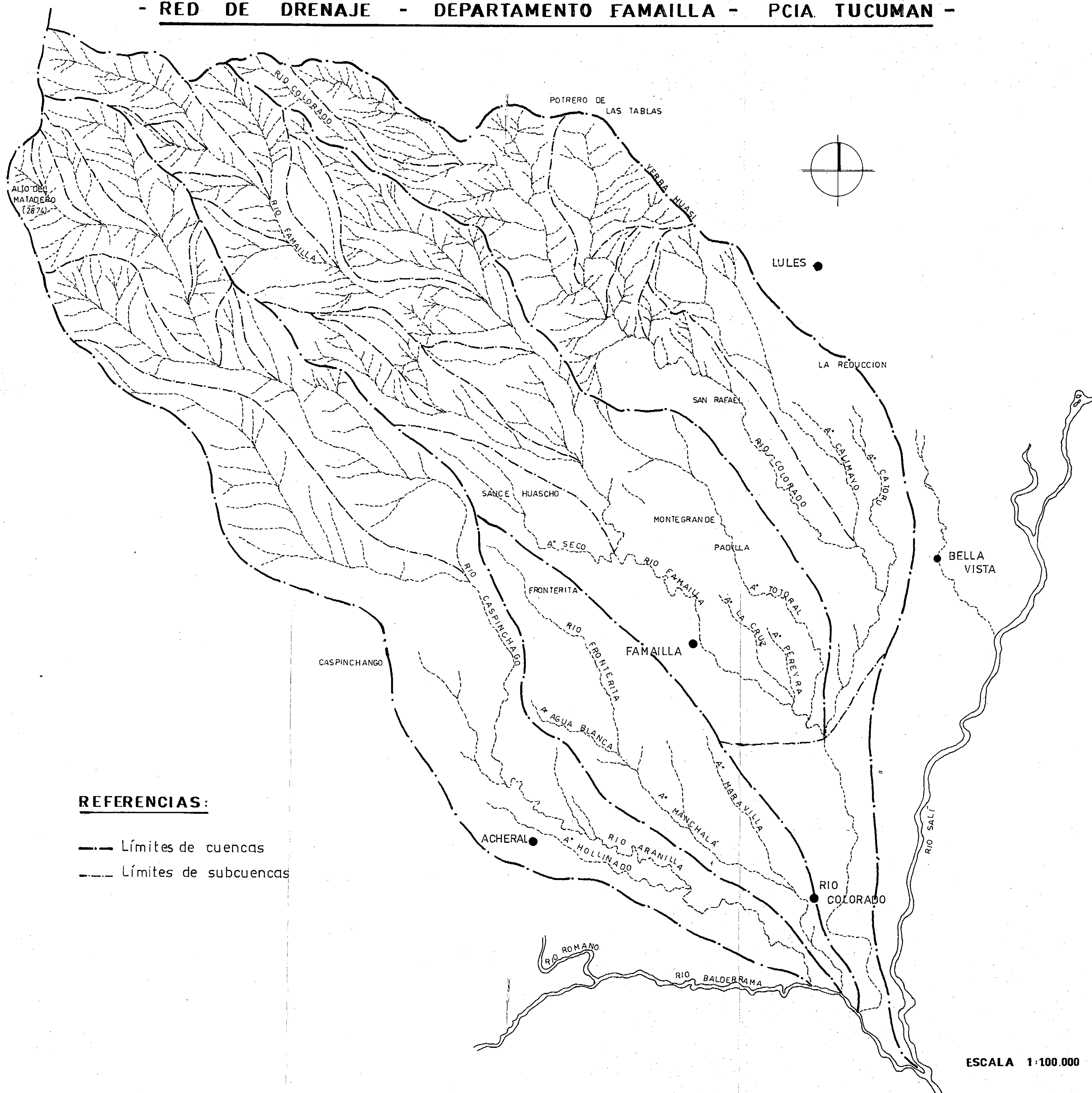
1966. "Estudio del desarrollo del área a servirse para el Dique El Cadillal".  
Primera etapa. Informe General. Italconsult Argentina. C.F.I.-

TRICART, E., 1975. "La Epidermis de la tierra". Ed. Labor

1990. "Traducciones de Revistas Francesas y Norteamericas sobre corrección de  
Torrentes".-J.P. Moreno.-

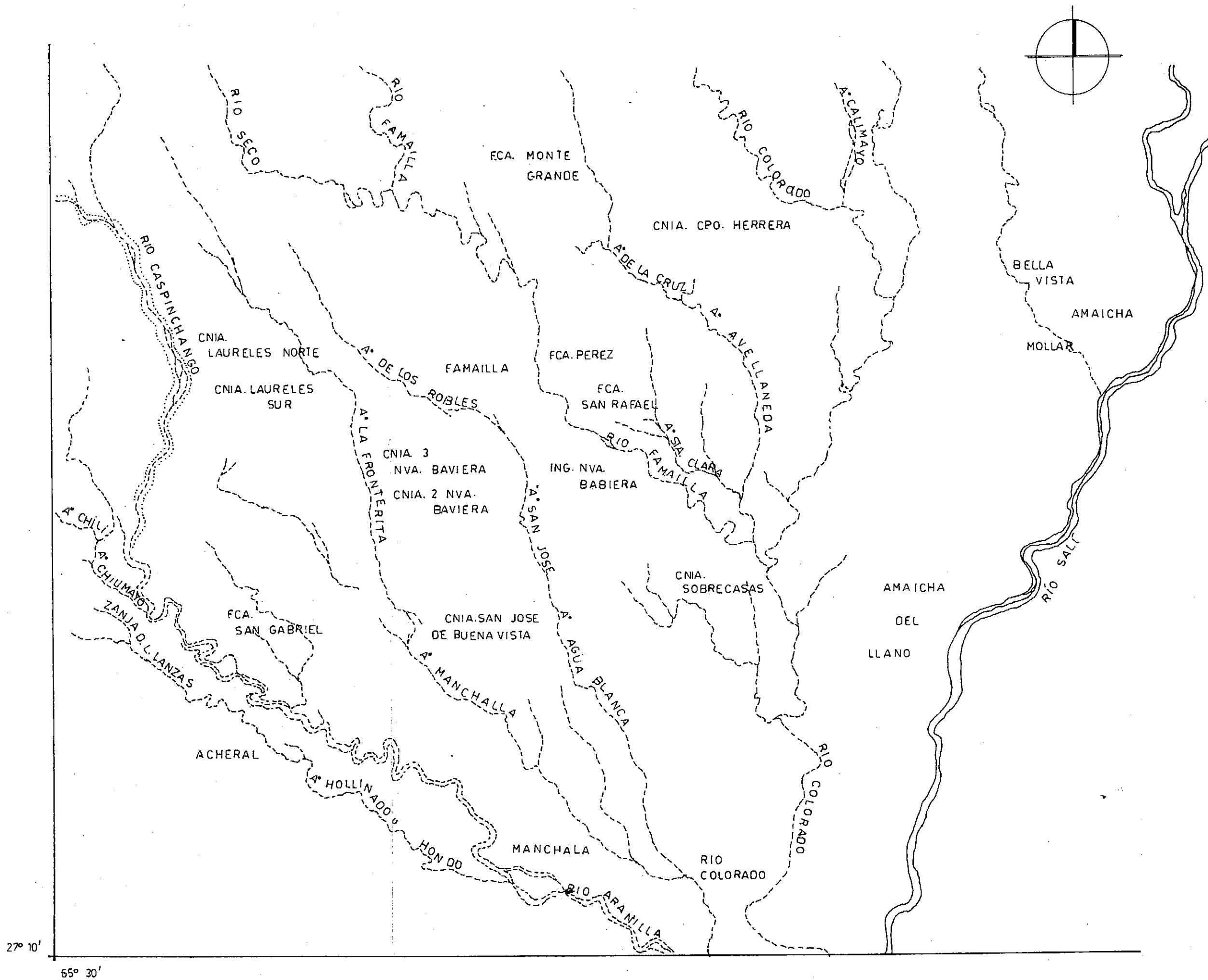
TERZHAGUI y PECK, 1970. "Mecánica de Suelo". Ed. Lumen.-

**- RED DE DRENAJE - DEPARTAMENTO FAMAILLA - PCIA. TUCUMAN -**



## RED DE DRENAJE DEL PIE DE MONTE Y LLANURA

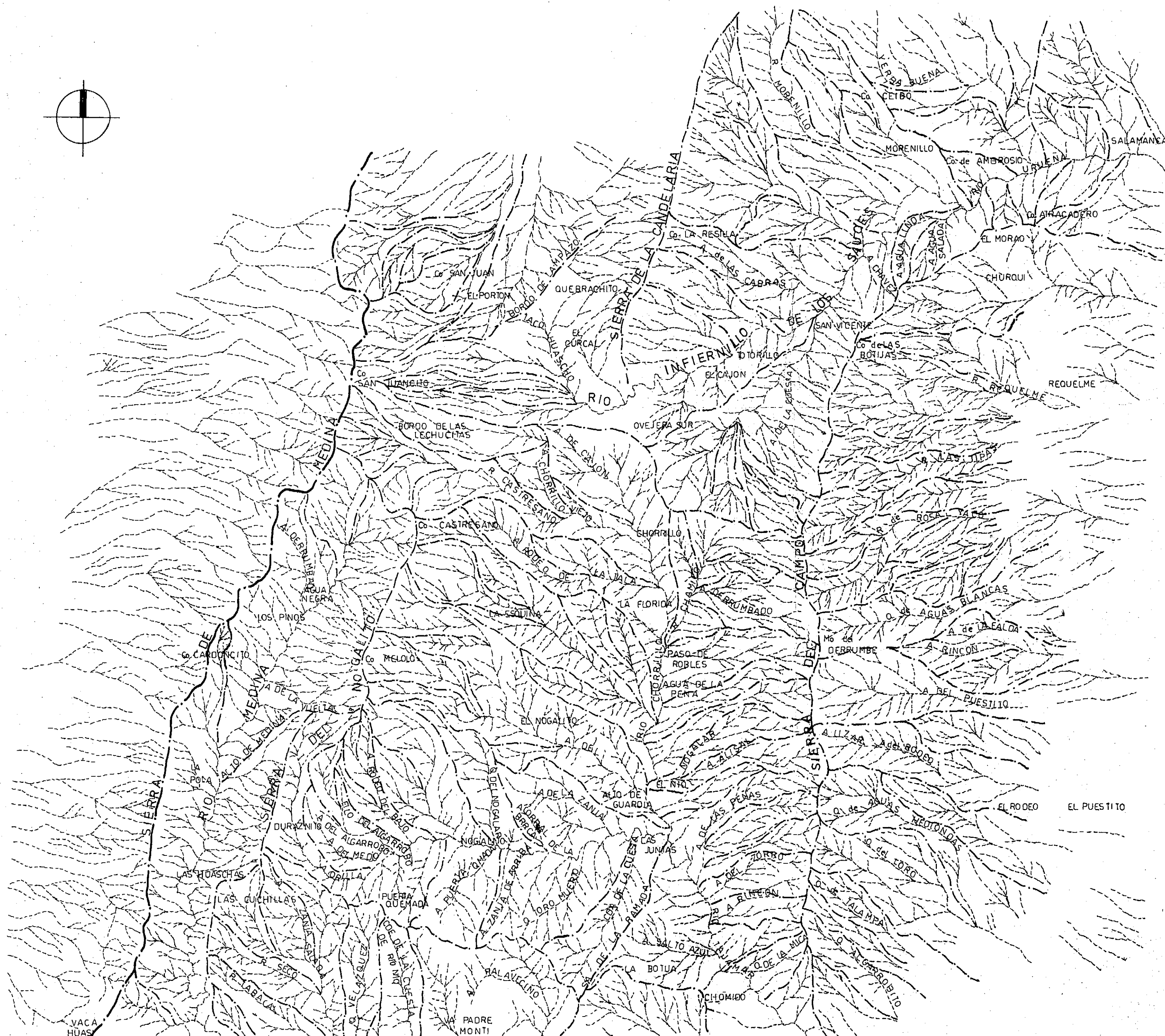
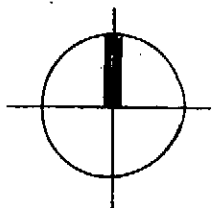
**del Departamento Familia y Sectores Vecinales**



**ESCALA 1 : 80.000**

# RED DE DRENAJE DEL DEPARTAMENTO BURRUYACU

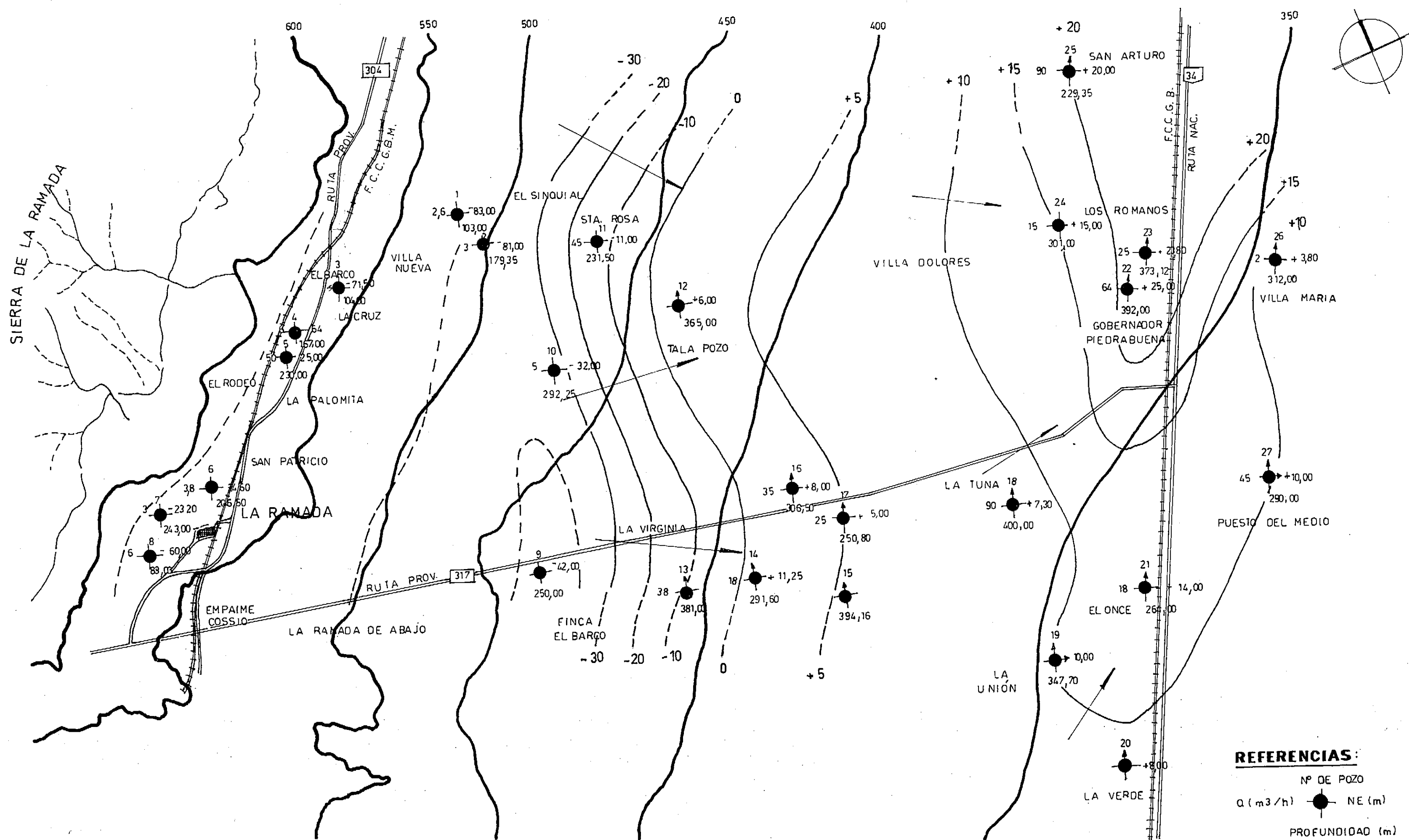
**Comprendida en Hoja 10 - Trancas**



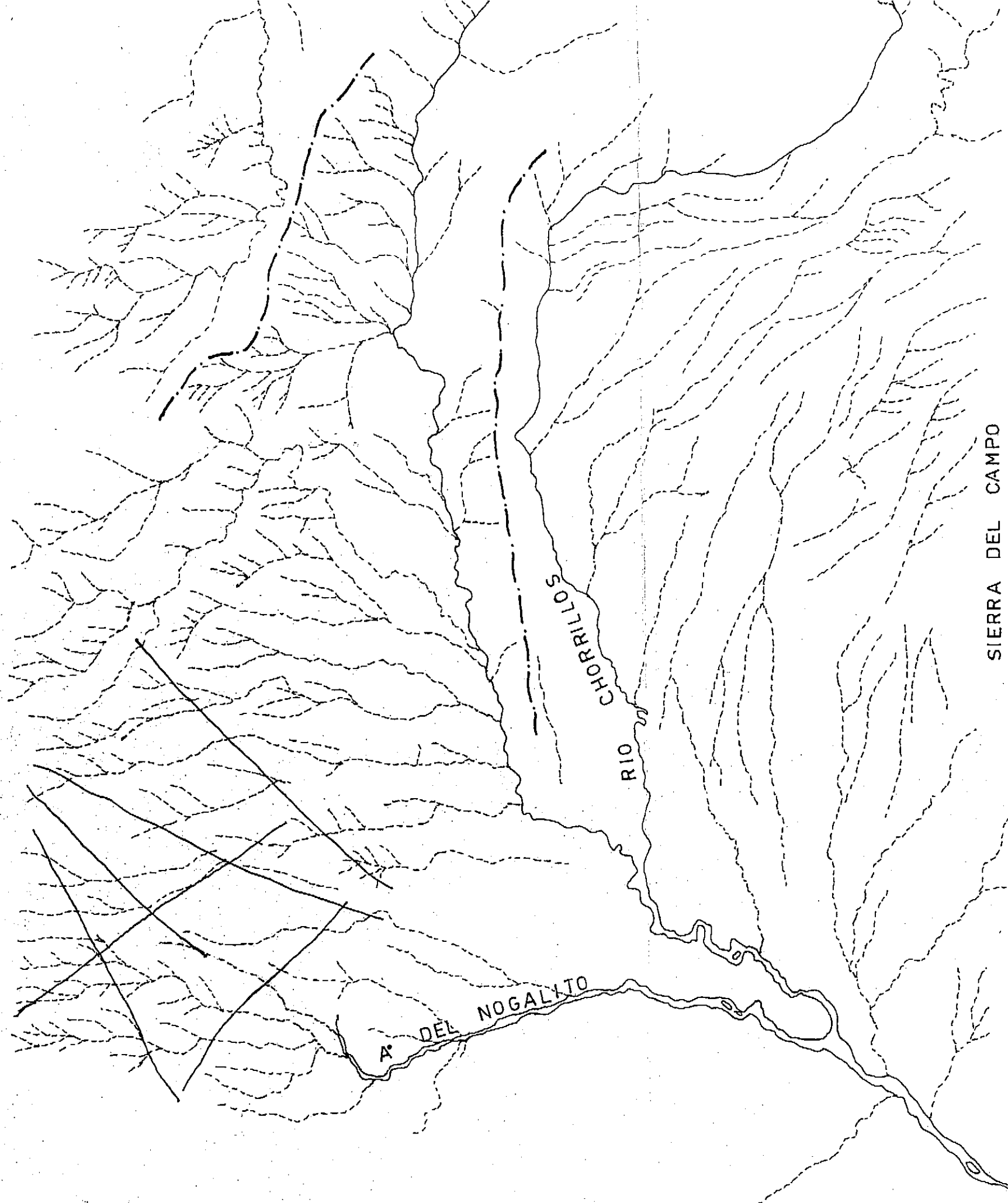
**ESCALA 1:100.000**

# CARACTERISTICAS HIDROGEOLOGICAS DEL BORDE ORIENTAL DE LA Sa DE LA RAMADA

entre las localidades de El Barco y Gobernador Piedra Buena



SIERRA DEL NOGALITO



ALTA CUENCA DEL  
RIO TAJAMAR

ESCALA 1:50.000





Comprendida entre Hoja 111 - Tucumán

