

recuperación de tierras en el proyecto norte chuquisaca



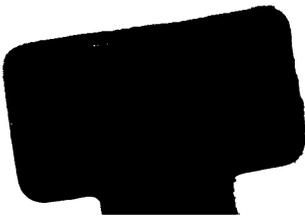
**víctor pacheco
alfredo zelada
carlos navarro**



FONDO INTERNACIONAL
DE DESARROLLO
AGRÍCOLA (FIDA)

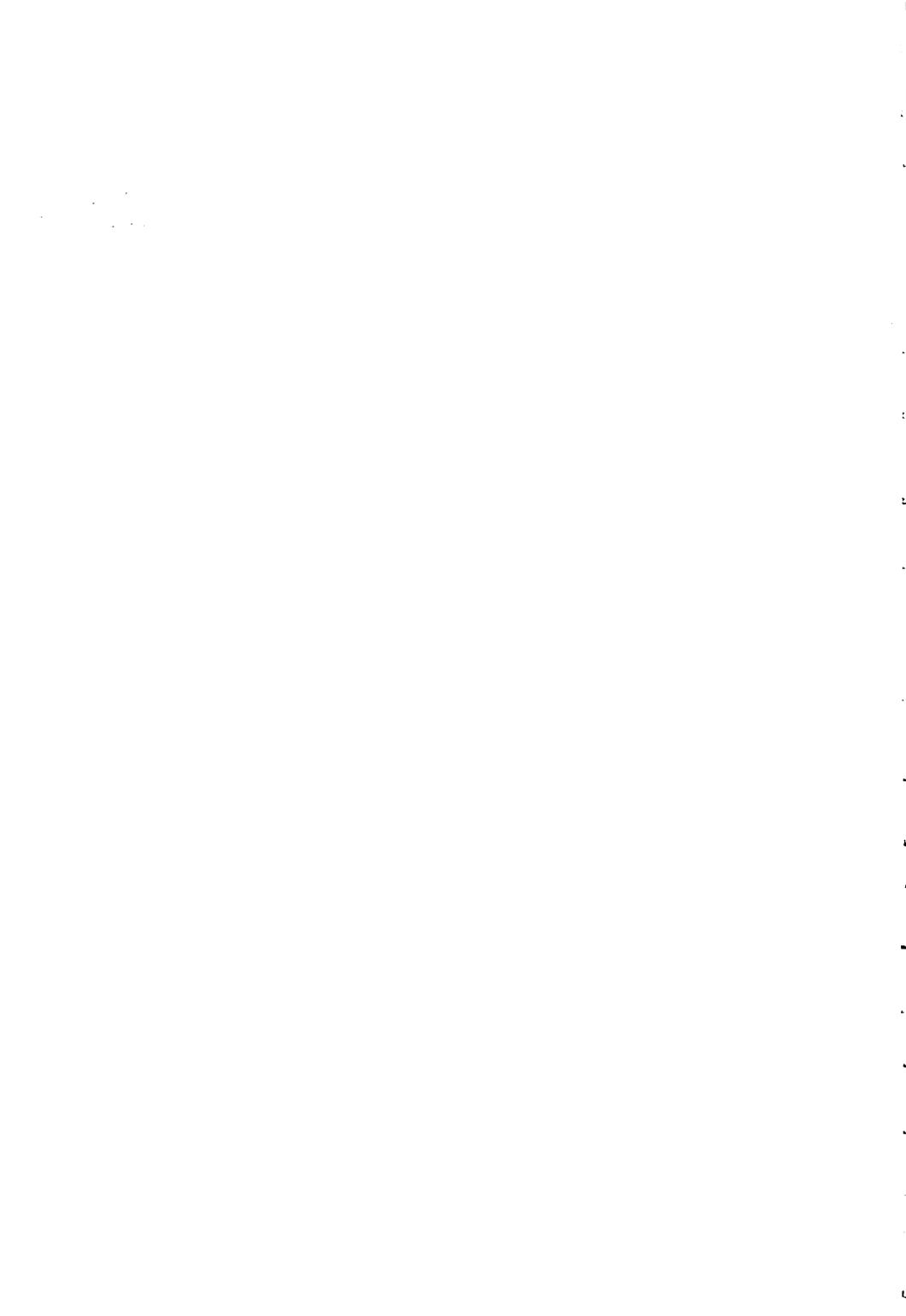


CORPORACION ANDINA DE FOMENTO



100/100

REFERENCIAL
VENEZUELA



— I I C A —
CENTRO REFERENCIAL
BIBLIOTECA

VICTOR PACHECO
ALFREDO ZELADA
CARLOS NAVARRO

RECUPERACION
DE TIERRAS
EN EL PROYECTO
NORTE CHUQUISACA

00007558

112
336
2

2

Los autores se responsabilizan por la presentación de los hechos que contiene este libro y por las opiniones vertidas en el, que no necesariamente comparten las instituciones patrocinadoras de la publicación.

© Proyecto Norte Chuquisaca
CORDECH, La Madona, Sucre, Bolivia
Telf. Nº 24100

1ª Edición : Octubre, 1992

Autores : Víctor Pacheco
Alfredo Zelada
Carlos Navarro

**Corrección
y diseño** : Germán Gálvez

**Copiado de
originales** : Sergio Ormachea

Impresión : Offset Qori Llama
Sucre, Bolivia.

Carátula : Gaviones en Río Chico

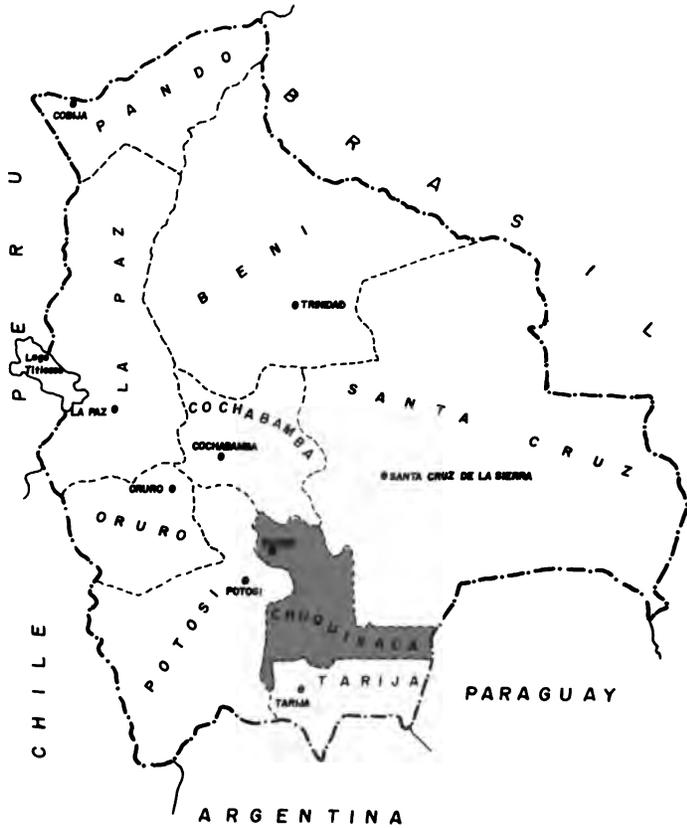
*Se autoriza la reproducción total
o parcial de la presente publicación,
citando la fuente.*

Sucre - Bolivia, Octubre 1992

A los comunarios de Río Chico, verdaderos artífices de las obras de recuperación de tierras y a los técnicos y trabajadores del proyecto.

D. L. CH. N° 50-92

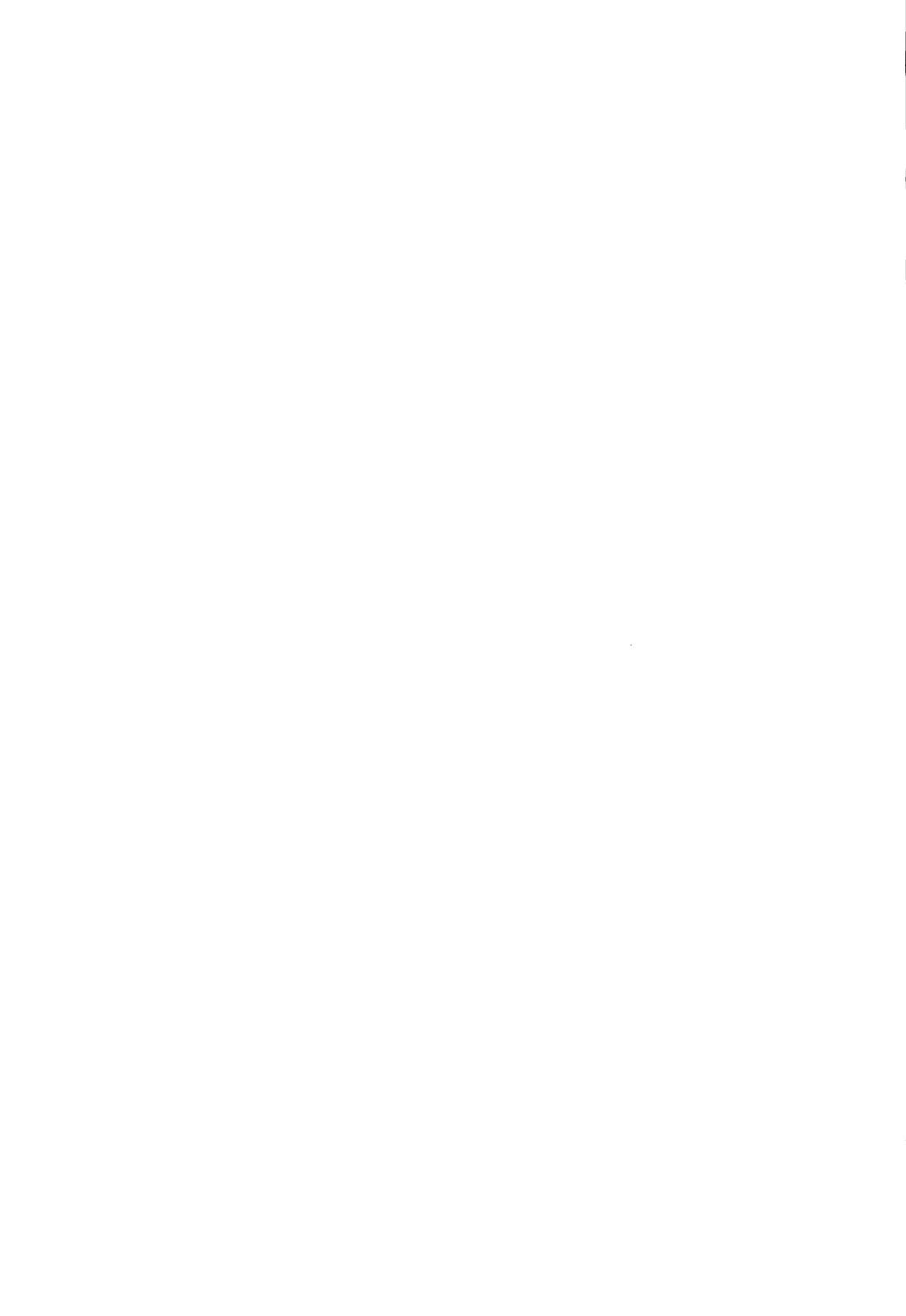
MAPA POLITICO DE BOLIVIA



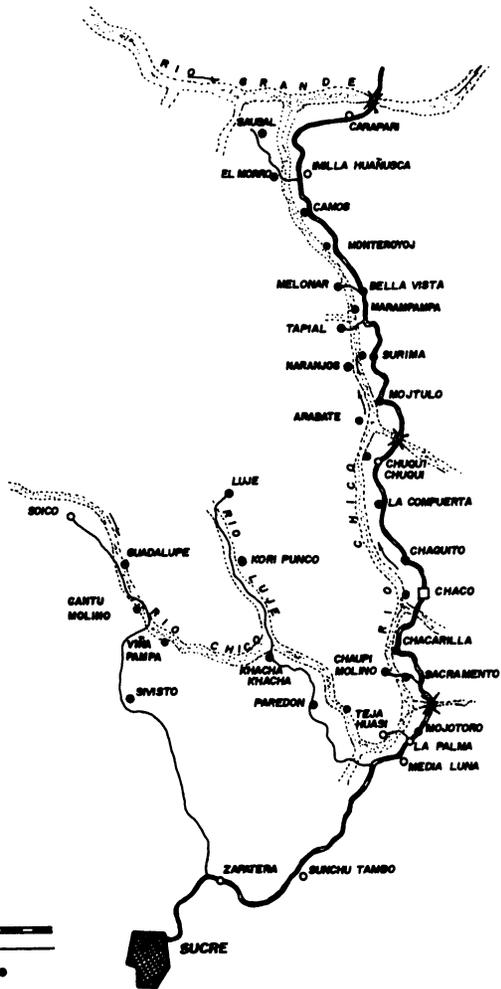
REFERENCIAS

LIMITE INTERNACIONAL
LIMITE DEPARTAMENTAL
CAPITAL DE BOLIVIA
CAPITAL DE DEPARTAMENTO





AREA DE INFLUENCIA COMPONENTE
RECUPERACION DE TIERRAS
RIO CHICO





"Parece que existe una regla general. Cuanto más rica es la organización para el desarrollo, más eficientes y económicos son sus proyectos; mientras que cuanto más pobre es la organización, menos consigue con costos exorbitantes. La razón parece ser que una organización rica, generalmente emplea a los mejores hombres disponibles para su proyecto".

Josef Zimmerman.



INDICE

Glosario	25
Presentación	27
Primera parte. Cómo ganar el respeto del río	31
1 El reto del río	32
2 Acciones del componente de recuperación de tierras	33
3 Metas y resultados obtenidos	35
4 Las variables del éxito	48
5 Enseñanzas obtenidas en la recuperación de tierras	53
6 Consolidación y transferencia	54
Segunda parte. Los aspectos técnicos	57
7 El área de ejecución de las obras: Río Chico	58
Características de Río Chico	59
Morfología geológica de Río Chico	60
Recuperación de tierras en Río Chico	62
Características de la cuenca de Río Chico	62

8	<i>Estudio hidrológico de los caudales máximos del Río Chico</i>	64
	Determinación de las avenidas máximas	64
	Origen de las avenidas	65
	Métodos de estimación de las avenidas máximas	66
	Pluviometría del Río Chico	70
	Cálculo del tiempo de concentración	76
	Cálculo del caudal máximo para el Río Chico	77
	Método empírico de la U.S. Conservation Service	78
	Estimación de los caudales de avenida en base a lluvias.	81
9	<i>Cálculo de los tirantes máximos y alturas de socavación</i>	83
	Características hidráulicas	83
	Relaciones geométricas	84
	Tirantes máximos y anchos permisibles	87
	Profundidad de socavación	88
10	<i>Obras longitudinales para recuperación de tierras</i>	94
	Descripción	94
	Selección del tipo de defensivo	96
	Presentación de los gaviones	98
	Descripción básica de los gaviones	98
	Dimensiones de la malla y especificaciones	99
	Recubrimiento y calidad del alambre	100
	Ejecución de estructuras gavionadas	102
	Material de relleno	102
	Armado e instalación	103
	Propiedades de las estructuras con gaviones	106

11 <i>Diseño de espigones con estructuras gavionadas</i>	108
Principios básicos de construcción	108
Deformabilidad de la obra	108
Capacidad de soporte del suelo	110
Estabilidad de los gaviones	110
Estabilidad al vuelco	113
Estabilidad al deslizamiento horizontal	114
Solicitaciones en el suelo de fundación	114
Construcción de la base antisocavante en gaviones	117
Diseño de espigones en Río Chico	117
12 <i>Recomendaciones constructivas</i>	127
Técnicas de recuperación de tierras	127
Recomendaciones prácticas	128
Anexos	131
I. Resumen sobre el método de la U.S Soil Conservation Service para el cálculo de la lluvia en exceso.	131
II. Métodos de cálculo para la capacidad de soporte del suelo.	140
III. Cuadro de materiales por orden de alterabilidad.	144
Fotos de las acciones de recuperación de tierras en Río Chico.	
Bibliografía	

INDICE DE CUADROS

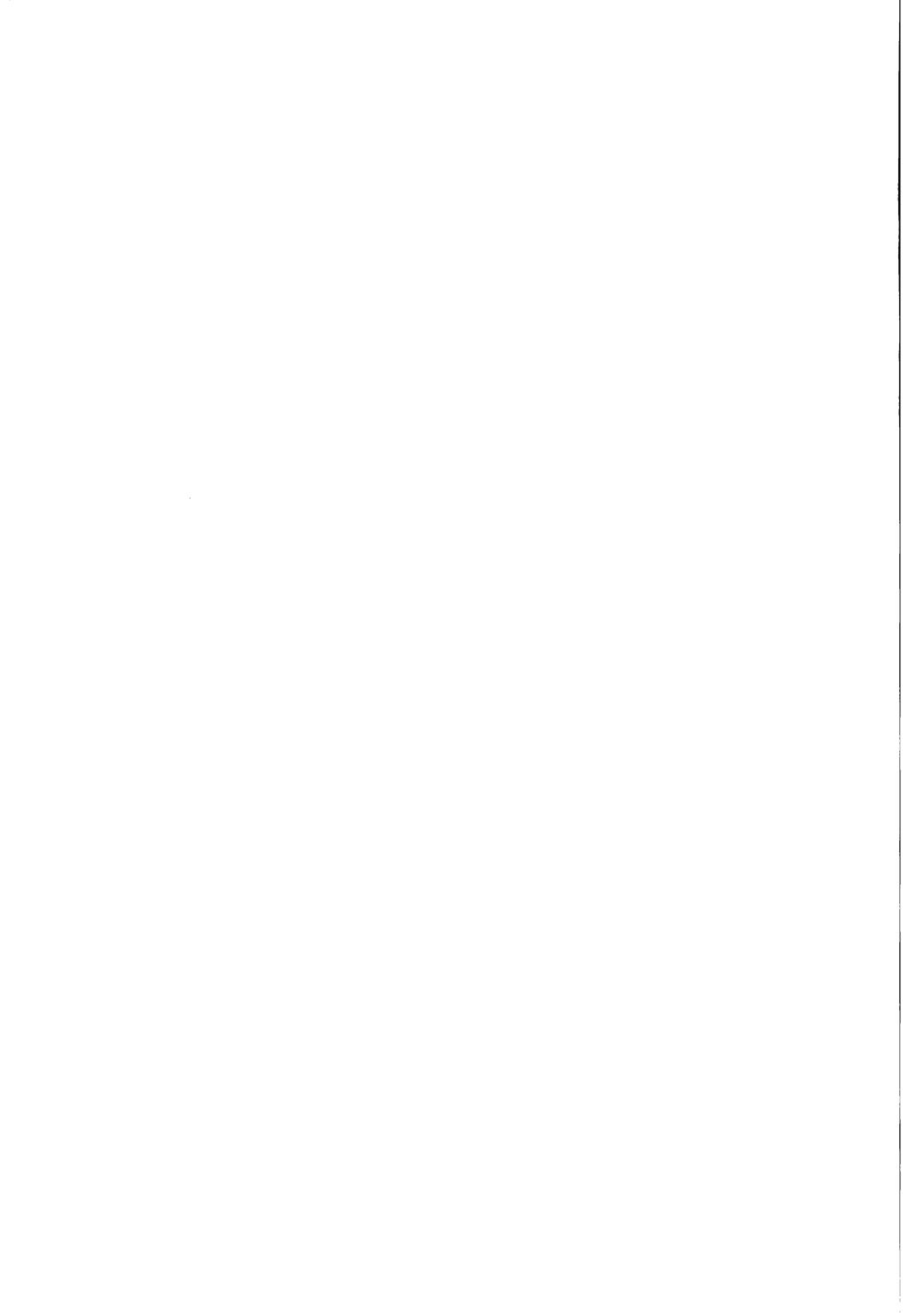
Nº	CUADRO
1	FINANCIAMIENTO DEL COMPONENTE RECUPERACION DE TIERRAS
2	NUMERO DE HECTAREAS RECUPERADAS Y PROTEGIDAS 1985 - 1991
3	FAMILIAS BENEFICIADAS POR ACCIONES DE RECUPERACION Y PROTECCION DE TIERRAS 1985 - 1991
4	TIERRAS DISTRIBUIDAS POR FAMILIA EN RIO CHICO
5	TIERRAS DISTRIBUIDAS POR FAMILIA EN OTRAS ZONAS
6	COMPOSICION DEL GASTO DEL COMPONENTE
7	NUMERO DE JORNALES CAMPESINOS 1985 - 1991
8	ALTURAS MAXIMAS DE PRECIPITACION CHUQUI - CHUQUI
9	AJUSTE DE GUMBEL PARA DATOS DEL RIO CHICO

- 10 VALORES DE Y_n Y σ_n EN FUNCION DE n
- 11 DESVIACION ESTANDAR REDUCIDA σ_n
- 12 "Y" EN FUNCION DEL PERIODO DE RETORNO
- 13 INTENSIDAD AJUSTADA PARA RIO CHICO
- 14 ELEMENTOS CARACTERISTICOS DE LA CUENCA DEL RIO CHICO
- 15 GASTO UNITARIO EN FUNCION DEL TIEMPO DE CONCENTRACION
- 16 ESTIMACION DE CAUDALES POR EL METODO S.C.S.
- 17 ESTIMACION DE CAUDALES EN BASE A LLUVIAS
- 18 VALORES DE Q_{20} DETERMINADOS POR AMBOS METODOS
- 19 VALORES PARA K_s
- 20 DETERMINACION DEL TIRANTE Y ANCHO PERMISIBLE DEL ALVEO
- 21 COEFICIENTE B PARA SOCAVACION
- 22 TABLA DE VALORES $X - 1/(X+1)$
- 23 DETERMINACION DE LA PROFUNDIDAD DE SOCAVACION
- 24 EFECTO DE CORROSION
- 25 CUADRO DE VIDA UTIL DEL RECUBRIMIENTO
- 26 PRESION ADMISIBLE
- 27 ELEMENTOS CARACTERISTICOS DE DISEÑO
- 28 NUMEROS DE LA CURVA DE ESCURRIMIENTO PARA LOS COMPLEJOS HIDROLOGICOS SUELO - COBERTURA

- 29 EQUIVALENCIAS DEL NUMERO N
- 30 TABLA DE PESOS ESPECIFICOS Y ANGULOS DE FRICCION INTERNA DE SUELOS
- 31 COEFICIENTES DE CAPACIDAD DE SOPORTE DE TERZAGHI
- 32 TABLA VALORES TIPICOS DE q
- 33 CUADRO DE MATERIALES POR ORDEN DE ALTERABILIDAD MATERIALES SEDIMENTARIOS

INDICE DE FIGURAS

Nº	FIGURA
1	PERFIL TRAPEZOIDAL
2	COMO COLOCAR LOS GAVIONES
3	DETALLE DE ARMADO DE INSTALACION
4	DEFORMABILIDAD DE LOS GAVIONES
5	ESQUEMA DE FUERZAS
6	FUERZA VERTICAL Y MOMENTO VOLCANTE
7	DIAGRAMA DE TENSIONES
8	BASES ANTISOCAVANTES
9	ESTABILIZACION BASES ANTISOCAVANTES
10	ZONAS DE DISEÑO MURO DE GAVIONES
10 A.	DETERMINACION DE LAS FUERZAS ACTUANTES
11	MURO TIPO 1 ZONA GUADALUPE
12	MURO TIPO 2 ZONA MOJOTORO
13	MURO TIPO 3 ZONA CAMOS
14	TECNICAS DE RECUPERACION DE TIERRAS



GLOSARIO

- C.A.F.** : Corporación Andina de Fomento.
- C.E.E.** : Comunidad Económica Europea.
- C.N.R.A.** : Consejo Nacional de Reforma Agraria.
- CORDECH** : Corporación Regional de Desarrollo de Chuquisaca.
- F.I.D.A.** : Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola.
- F.S.E.** : Fondo Social de Emergencia.
- I.I.C.A.** : Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.
- MACCAFERRI** : Oficinas Maccaferri de Bologna (Italia).

- O.N.G.** : Organismo no Gubernamental.
- P.A.C.** : Programa de Autodesarrollo Campesino.
- PIL** : Planta Industrializadora de Leche.
- PLAN** : Plan Internacional de Padrinos.
- P.M.A.** : Programa Mundial de Alimentos.
- P.N.CH.** : Proyecto de Desarrollo Agropecuario del Norte de Chuquisaca.
- PCSJO** : Proyecto Cotagaita San Juan del Oro.
- PCHS** : Proyecto Chuquisaca Sur.
- PRODEPA** : Proyecto de Consolidación de Colonias de Pequeños Agricultores en el Departamento de Santa Cruz.
- PROAGRO** : Promotores Agropecuarios.
- S.C.S.** : U.S. Soil Conservación Service.

PRESENTACION

El componente de recuperación de tierras del proyecto Norte Chuquisaca fue uno de los componentes más exitosos de este importante proyecto de desarrollo rural.

Sus acciones eran decisivas para los campesinos, pues estaban orientadas a revertir el proceso de pérdida de tierras y controlar la acción erosiva de los ríos, que en el área del proyecto había afectado severamente los terrenos bajo cultivo, pues estos se habían reducido al diez por ciento de los terrenos originalmente en producción, obligando a los campesinos a desplazarse tierra adentro o a emigrar.

Luego de varios años de intenso trabajo, el componente de recuperación de tierras logró habilitar 703 hectáreas bajo riego (en una zona donde sólo 1,030 hectáreas contaban con riego) y protegió 168 hectáreas adicionales.

En la primera parte del presente libro se describen algunos episodios de esta verdadera batalla contra el río y se muestran los importantes resultados obtenidos por el proyecto.

En la segunda parte se abordan los aspectos técnicos, pues uno de los logros más importantes de estas obras de infraestructura fueron los diseños y estudios de ingeniería hidráulica que se realizaron y adaptaron a la zona de ejecución del proyecto.

Es oportuno mencionar que el proyecto Norte Chuquisaca es pionero en la ejecución de obras de recuperación de tierras en Bolivia y muchas instituciones estatales, privadas y proyectos financiados por la cooperación internacional, se han beneficiado con la difusión de sus experiencias.

El libro ha sido escrito por tres destacados profesionales bolivianos (ingenieros civiles), que ocuparon durante muchos años puestos de responsabilidad en el proyecto Norte Chuquisaca (director ejecutivo, jefe técnico y supervisor de obras), y tuvieron la responsabilidad de la ejecución del componente de recuperación de tierras.

Como ellos, los técnicos, operarios y campesinos, que participaron en la ejecución de las obras fueron ciudadanos bolivianos, que sabían que estaban incursionando en una actividad inédita en el país, pero se entregaron a su realización con el entusiasmo y la decisión necesaria para concretarla con éxito.

Aunque se trata del primer texto que se publica sobre esta especialidad en Bolivia, sin duda será el punto de partida para nuevos estudios y publicaciones.

Es necesario insistir en la participación campesina en la ejecución de este componente. Miles de campesinos hombres, mujeres y niños, realizaron largas y agotadoras faenas bajo el sol ardiente de Río Chico, para ganarle al río tierras para la producción agrícola.

Sin ellos, sin su generoso esfuerzo y vibrante entusiasmo, no se habrían conseguido los resultados obtenidos.

El FIDA, Organismo Internacional que financió el proyecto, y la CAF, Institución Cooperante encargada de la administración del mismo, han sido los principales promotores de esta publicación y de otras que le seguirán, destinadas a sistematizar la valiosa experiencia adquirida en la ejecución de este importante proyecto, en el que CORDECH desempeñó el papel de Organismo Ejecutor.

Los campesinos beneficiados con la posesión y propiedad de nuevas tierras, no olvidarán fácilmente al Proyecto Norte Chuquisaca, porque las tierras recuperadas al río que les sirven de sustento y les ofrecen cobijo, son el resultado de una experiencia memorable, en la cual técnicos y campesinos lograron hacerse respetar con el río.

Germán Gálvez
CONSULTOR INTERNACIONAL
DEL I.I.C.A..



PRIMERA PARTE COMO GANAR EL RESPETO DEL RIO

Los campesinos del área del proyecto Norte Chuquisaca donde se realizaron acciones de recuperación de tierras, consideran que estas obras les han permitido ganarse el respeto del río, porque anteriormente no habían podido evitar que este destruyera la mayor parte de sus tierras de cultivo.

Los campesinos señalan con mucha cautela que han "ganado el respeto" y no "vencido" al río, porque conocen muy bien su fuerza destructora y saben que si no se continúa con las acciones de protección, se puede perder todo lo ganado.

En esta primera parte del libro se ofrecen detalles sobre las acciones del componente de recuperación de tierras del proyecto Norte Chuquisaca y las metas y objetivos conseguidos.

1. EL RETO DEL RIO

Un video realizado por el proyecto Norte Chuquisaca muestra a un campesino en el momento que es entrevistado acerca de los resultados obtenidos por el componente de recuperación de tierras. El campesino responde enfáticamente: "nos hemos hecho respetar con el río".(1)

Esta opinión sintetiza admirablemente no sólo el impacto de las acciones del componente, sino el sentimiento de los campesinos beneficiarios del proyecto respecto al trabajo efectuado. Luego de años de arduo combate con el río, peleando con cemento y cal y canto para evitar la pérdida de sus tierras de cultivo, los campesinos venían perdiendo la batalla.

En el valle de Río Chico, zona eje de la acción del componente, la tierra cultivada se había reducido al 10% de la tierra originalmente en producción. Sólo este dato permite comprender el orgullo y satisfacción implícito en la respuesta del campesino entrevistado.

Finalmente habían logrado hacerse respetar con el río y recuperar una parte considerable de las tierras perdidas por el mal manejo de las riberas, que había aumentado significativamente la presión humana sobre la tierra cultivada, llegando a extremos de familias que vivían cultivando 2.000 m² de tierra y otras que habían perdido totalmente sus tierras de cultivo.

Este problema originó además una fuerte migración de la población joven de las comunidades campesinas de Río Chico, hacia otras zonas del país (Santa Cruz, Cochabamba, etc.).

El valle de Río Chico, escenario de esta lucha titánica con el río, tiene una gran importancia económica para el departamento de Chuquisaca, y en especial para la ciudad de Sucre, ya que constituye prácticamente su despensa de alimentos. A pesar de sus escasas tierras cultivables, el valle de Río Chico produce el 95% de todo el tomate

(1) Video sobre el programa de recuperación de tierras del PNCH, Video Producciones, 1990.

consumido en Sucre y por lo menos el 30% de cualquier otro producto hortofrutícola.

Es cierto que cuenta a su favor con un microclima particularmente suave, que permite el cultivo de todos los productos tropicales, subtropicales y templados (cebolla, betarraga, zanahoria, camote, repollo, etc.), una altitud que oscila entre 1.500 y 2.000 m.s.n.m y precipitaciones medias anuales de 550 mm, entre diciembre y marzo, que han hecho del valle una región muy fértil.(2)

También ha beneficiado al valle de Río Chico la ubicación de la carretera Sucre - Cochabamba, que se desarrolla a lo largo de la parte más productiva del mismo, facilitando el abastecimiento de insumos y el transporte de los productos a los mercados.

Pero los pobladores de esta zona que cuenta con tantas condiciones favorables para la agricultura, instalados en aproximadamente 50 comunidades campesinas que congregan más de 6.500 habitantes, son protagonistas del drama de vivir en una zona fértil y de condiciones inmejorables para la producción agrícola, sin tener tierras para cultivar o sufriendo la pérdida de las escasas tierras que poseen por la inclemente acción del río.

2. ACCIONES DEL COMPONENTE DE RECUPERACION DE TIERRAS

Concientes de la importancia que tendrían sus acciones para las comunidades campesinas, los técnicos del componente de recuperación de tierras del PNCH, iniciaron sus actividades en 1984, pero problemas relacionados con la adquisición de maquinaria pesada, obligaron a portergar la ejecución de obras hasta 1985. La comunidad campesina de Mojtufo fue el escenario donde se iniciaron las obras de recuperación de tierras.

(2) Texto tomado del libro de memorias del proyecto.

Fue ésta la primera comunidad que creyó que el proyecto podía dar solución al problema que enfrentaban cada año, cuando el río en sus crecidas inundaba las parcelas. No es fácil obtener la confianza de los campesinos, como lo demuestra el hecho que hasta 1987 sólo se habían construido 12 defensivos en la zona de Río Chico.

Hay que tener en cuenta que el proyecto Norte Chuquisaca fue pionero en sistemas de recuperación de tierras en Bolivia, pues este tipo de trabajo no se había realizado anteriormente en el país, y los campesinos no conocían las bondades de esta nueva tecnología de defensa con gaviones, a los que bautizaron con el nombre quechua de "chipas".

Los primeros dos años de ejecución del componente se trabajó exclusivamente con gente oriunda de Río Chico (los que se habían quedado después de un fuerte proceso migratorio), y los trabajos estuvieron sobre todo destinados a defender los huertos existentes y recuperar algunas tierras.

Pero la tenacidad puesta en el trabajo y la relación de mutua confianza que gradualmente establecieron técnicos y campesinos, a partir del estricto cumplimiento de los compromisos contraídos, además de los primeros resultados de las obras ejecutadas que ya se podían apreciar, cambiaron radicalmente la situación inicial.

Entre 1987 y 1989 se pasó de 12 defensivos construídos a 38, en lo que constituye el "boom" del trabajo del componente de recuperación de tierras, que ha permitido lograr un promedio de construcción de 8 defensivos por año.

De aquí en adelante, las obras se ejecutaron en un 60% con mano de obra de campesinos que empezaron a bajar de las zonas altas alejadas a Río Chico, con el propósito de obtener terrenos bajo riego a la ribera del río, engrosando de esta manera la población del valle.

Fue tan bueno el desempeño del componente de recuperación de tierras, que en el documento de Reorientación del proyecto (1988), se le asignaron mayores recursos e incluso se reprogramó la participación

del Programa Mundial de Alimentos (PMA), de Naciones Unidas, que venía entregando como apoyo para la ejecución de las obras, raciones alimenticias para los campesinos que participaban en las faenas.

CUADRO N° 1

FINANCIAMIENTO DEL COMPONENTE RECUPERACION DE TIERRAS

FINANCIAMIENTO INICIAL 1981 \$US		FINANCIAMIENTO REORIENTACION 1988 \$US		INCREMENTO %
FIDA	953.200	FIDA	1,521.000	60%
LOCAL	287.299	LOCAL	271.000	-
PMA	110.200	PMA 1	135.000	23%
TOTAL	1,350.699	TOTAL *	1,927.000	43%

* *Los recursos del componente representan el 9.41% del presupuesto programado y el 13% del total ejecutado por el proyecto al 31/12/91.*

3. METAS Y RESULTADOS OBTENIDOS

Originalmente se había establecido como meta para el componente de recuperación de tierras, habilitar 800 hectáreas en Río Chico y proteger alrededor de 200 hectáreas en el mismo valle (Documento Misión de Preparación, 1981).

Entre 1985 y 1991, el componente logró recuperar un total de 509 Has. en Río Chico. Las características geomorfológicas del río hicieron que fuera materialmente imposible (dentro de costos razonables), la recuperación de mayor cantidad de tierras en esta área.

Los estudios iniciales fueron demasiado optimistas y el efecto previsto para los muros diseñados originalmente, que pretendía recuperaciones longitudinales al eje del río, consideraba resultados mucho mayores que los realmente posibles.

Por ejemplo, inicialmente se había previsto construir 28 defensas o muros de 200 mts. Sin embargo, el componente logró construir 40 muros de 250 mts., recuperando un total de 703 Has., en los ríos Chico, Pilcomayu, Tomoyo, Zudáñez y Cachimayu demostrando que la pretensión inicial de recuperar 800 Has. con 28 defensas, era impracticable.

Algunos técnicos todavía recuerdan la época en que se iniciaron las acciones del componente, cuando vivían en las comunidades campesinas y el sereno tenía instrucciones de tocar la campana de la iglesia para avisarles el momento en que llegaba el río en su avenida.

De esta manera, a las tres o cuatro de la mañana, despertados a campanazos, se vestían y corrían hasta el río para comprobar el comportamiento de los gaviones frente a la riada.

Como se ha señalado anteriormente, inicialmente el comportamiento de los gaviones no fue bueno y se perdieron o deterioraron algunas estructuras, lo que obligó a los técnicos a modificar el diseño original, obteniendo con estas adaptaciones excelentes resultados.

La imposibilidad de recuperar más tierras en Río Chico, decidió a los directivos y técnicos del PNCH a extender las acciones del componente a otras áreas del proyecto, logrando recuperar de esta manera 194 hectáreas de tierras en los ríos Tomoyo, Pilcomayu, Cachimayu y Zudáñez (ver detalle en el cuadro N° 5). También se realizaron obras de protección en la antigua vega de la ribera de Río Chico, logrando 168.680 Has. de tierras protegidas.

CUADRO N° 2

**NUMERO DE HECTAREAS RECUPERADAS Y PROTEGIDAS
1985 - 1991**

CONCEPTO	PREVISTO (1981)	EJECUTADO (1985 - 1991)	CUMPLIMI- ENTO (%)
RECUPERACION DE TIERRAS	800 Has. RIO CHICO	509 Has. RIO CHICO 194 Has. OTROS 703 Has.	88 %
PROTECCION DE TIERRAS	200 Has. RIO CHICO	168 Has. RIO CHICO	84 %
TOTAL Has.	1.000 Has.	871 Has.	87 %

Fuente: Responsable del componente de recuperación de tierras.

Los porcentajes de ejecución que aparecen en el cuadro anterior se pueden considerar excelentes, si se tiene en cuenta las restricciones que existieron para recuperar más tierras, y un factor que analizaremos más adelante, que es el costo de las obras, que resultó mayor al previsto en relación a las hectáreas recuperadas, aunque el volumen de obra ejecutada (m³ de gavión), duplicó lo previsto originalmente.

Para tener una idea de lo que representan las hectáreas recuperadas en el área del proyecto, es necesario señalar que el grupo objetivo estaba constituido por familias con unidades de producción menores a 5 hectáreas, de manera que una hectárea o media hectárea adicional de terreno cultivable bajo riego, tiene gran impacto en su economía.

Este impacto es aún mayor en el caso de los campesinos sin tierra o que cultivan en parcelas de 2.000 m². Hay que considerar también los aspectos cualitativos implícitos en incorporar 509 Has. bajo riego en el fértil valle de Río Chico, donde en 40 Has. se cultiva el 95% de

la producción de tomate de la región y en 140 Has. frutales que corresponden al 30% de lo producido en la zona.(3)

No se puede dejar de mencionar tampoco la importancia que tiene la ampliación de la frontera agrícola en 703 Has. bajo riego, si aceptamos los datos de la Misión de Preparación de 1981, que señalaba que el área del proyecto disponía sólo de 1.030 Has. bajo riego (lo que implicaría que se produjo un incremento de 68% en las zonas con riego en el área del proyecto).(4)

Pero sobre todo hay que pensar en los impactos en la producción, productividad y el ingreso campesino que tendrán todas las tierras recuperadas cuando entren en plena producción.

No será por ejemplo igual el impacto del programa de recuperación de tierras en los pobladores de las alturas, que en los pobladores del valle, pues aquellos cultivan en zonas de secano con rendimientos muy bajos, y el acceso a tierras bajo riego, que permiten 3 cosechas anuales, representará sin duda un incremento significativo de su producción, productividad e ingreso.(5)

A la fecha se ha distribuido a los campesinos el 80% de las tierras recuperadas (562 Has.). El 40% de estas tierras ya se encuentran en producción (281 Has.), sobre todo con cultivos tolerantes a suelos en etapa de formación.

El resto de las tierras distribuidas se encuentran en la fase de formación de suelo. Desde 1990 se volcaron recursos del componente de microriego al área de Río Chico, para dotar a todas las tierras recuperadas de acequias completamente estables y permanentes, para permitir captar tanto el agua con turbidez elevada, para colmatar los terrenos de

(3) Misión de Preparación 1981, documento matriz, pág. 38.

(4) En Bolivia, de un millón trescientos mil hectáreas cultivadas, solamente un 4% está bajo riego y sólo el 10% del agua disponible para riego es aprovechada (Miguel Urioste, Participación campesina en el desarrollo rural, FAO, 1988).

(5) Corresponderá a la evaluación ex post determinar con precisión los efectos e impactos del componente.

manera más eficiente, así como el agua necesaria para garantizar el riego regular a lo largo de todo el año.

Los trabajos de recuperación de tierras ejecutados a lo largo de 90 kilómetros de la ribera de Río Chico, están permitiendo orientar el cauce del río sin cambiar su régimen hidráulico, logrando de esta manera asegurar el cauce principal.

Ya se han podido detectar superficies, que aún sin la protección de un muro de gaviones, tienen ahora características de terreno rescataado y susceptible de cultivo. Debido a este efecto, se piensa que el número total de 703 Has. recuperadas podría incrementarse en un futuro inmediato en por lo menos un 10%, aunque se trata obviamente de terrenos bajo riesgo.

Familias beneficiadas.

En lo correspondiente a familias beneficiadas por el componente, estaba previsto que las 800 Has, que se recuperaría en Río Chico debían beneficiar a 800 familias, pues se pretendía distribuir una hectárea por familia. El componente logró beneficiar con las 509 Has., recuperadas en Río Chico a 1.190 familias, es decir que cumplió 49% más de la meta prevista.

Pero también hay que incorporar a este cálculo, las 194 Has., recuperadas en otras zonas del proyecto, que beneficiaron a 276 familias, con lo cual se alcanza un total de 1.466 familias beneficiadas por las actividades de recuperación de tierras. En este rubro el proyecto logró un incremento de 83% respecto al objetivo propuesto inicialmente.

Por otra parte, comparando las familias beneficiadas con la población de cada área, en el caso de Río Chico, que tiene una población total de 1.300 familias, se logró beneficiar al 92% de esa población (80% de las comunidades campesinas existentes). Respecto a la población total del área del proyecto, que es de 20.100 familias, el componente logró beneficiar al 9% de ellas que es un porcentaje considerable, si tenemos en cuenta que las acciones de recuperación de tierras estuvieron centralizadas en Río Chico.

CUADRO N° 3

**FAMILIAS BENEFICIADAS POR ACCIONES DE
RECUPERACION Y PROTECCION DE TIERRAS
1985 - 1991**

	BENEFICIARIOS PREVISTOS	BENEFICIARIOS EFECTIVOS	INCREMENTO %
RECUPERACION DE TIERRAS	800 Flias.	1.466 Flias.	83 %
PROTECCION DE TIERRAS	200 Flias.	350 Flias.	75 %
TOTAL	1.000 Flias	1.816 Flias.	82 %

Fuente: Responsable del componente de recuperación de tierras.

En lo que corresponde a las acciones de protección de tierras, se lograron proteger 168 Has., y beneficiar a 350 familias.

Como se observa en el cuadro N° 4, con menos hectáreas recuperadas se benefició a mayor número de familias que las previstas, como consecuencia de lo cual, cada familia recibió menos tierra que la esperada. Al distribuir 703 Has., entre 1.466 familias, el promedio de tierra que recibió cada familia fue de 0.5 Ha. (5.000 m²).

La propuesta del diseño del proyecto, de repartir 800 Has, entre 800 familias, a una hectárea por familia, era bastante ideal, porque la recuperación de tierras no es uniforme. En cada zona de acción del componente se recupera distinto hectáreaaje, y necesariamente éste tiene que distribuirse entre el número de familias que hayan participado en la ejecución de las obras.

En ocasiones se recuperan muy pocas hectáreas y sin embargo hay que repartirlas entre las numerosas familias campesinas que participaron en las acciones de recuperación.

Como se observa en el cuadro N° 4, se produjo una gran variación en la cantidad de tierras distribuidas según sectores de trabajo. En comunidades como Marampampa, cada familia recibió 1.8 Has., mientras en comunidades como Ckacha Ckacha, cada familia recibió 656 m²., aunque también hay que considerar que de 40 comunidades beneficiadas en Río Chico, sólo 10 recibieron lotes menores a 2.000 m² por familia.

CUADRO N° 4

TIERRAS DISTRIBUIDAS POR FAMILIA EN RIO CHICO

OBRA N° COMUNIDAD	HECTAREAS RECUPER.	HECTAREAS PROTEG.	FAMILIAS BENEFIC.	TIERRA POR Fha. M ²
1. CKACHA CKACHA	5.384	10.000	82	656.00
2. HORNO PAMPA	19.352	0.850	62	3.121.00
3. TRANCA MAYU	16.912	2.000	86	1.966.00
4. MOJOTORO	6.920	8.000	28	2.471.00
5. CHAUI MOLINO	2.548	7.500	20	1.274.00
6. CHACARILLA	14.256	0.630	36	3.960.00
7. LA COMPUERTA	12.076	15.000	48	2.515.00
8. CHUQUI CHUQUI	30.512	9.000	40	7.628.00
9. MOJTULO	6.864		18	3.813.00
10. SURIMA	15.760	13.000	18	8.755.00
11. EL TAPIAL	27.820	7.000	35	7.948.00
12. MARAMPAMPA	29.280		16	18.300.00
13. MELONAR	11.712	12.500	25	4.685.00
14. MONTEROYOJ	45.232		42	10.679.00
15. SEVENCANI	6.760		20	3.380.00
16. TACOYOJ	11.344	0.500	18	6.302.00
17. CAMOS	5.744	5.300	20	2.872.00
18. EL MORRO	12.328	3.000	31	3.977.00
19. SAUSAL	12.896	5.500	13	9.920.00
20. GUADALUPE	7.020		37	1.897.00
21. LUJE	8.000	0.800	29	2.759.00
22. CANTU MOLINO	4.720		24	1.967.00
23. SIVISTO	4.000	2.000	40	1.000.00
24. CKORI PUNCKU	21.000		30	7.000.00
25. EL CHAQUITO	17.800	13.500	12	1.483.00
26. MOJTULO II	13.040	3.000	28	4.657.00
27. BELLA VISTA	6.152	4.500	5	12.304.00
28. PUCA PAMPA	2.000		18	1.111.00
29. VIÑA PAMPA	18.700	2.000	38	4.921.00
30. NARANJOS I	28.000	3.600	32	8.750.00
31. NARANJOS II	8.884		16	5.552.00
32. ARABATE	12.200	1.500	28	4.286.00
33. PERAS PAMPA	5.000	5.000	23	2.174.00
34. EL CHACO	16.500	10.000	31	5.322.00
35. SACRAMENTO	8.920	5.000	24	3.717.00
36. SURIMITA	9.864		17	5.802.00
37. MOJOTORO II	5.000	10.000	28	1.786.00
38. CKASA HUASA	1.500	2.500	12	1.250.00
39. CHACARILLA II	10.000	3.000	35	2.857.00
40. QUIÑAL	7.000	2.000	25	2.800.00
TOTAL	509.000	168.180	1.190	4.277.30

Fuente: Responsable del componente de recuperación de tierras.

CUADRO N° 5

TIERRAS DISTRIBUIDAS POR FAMILIA EN OTRAS ZONAS

OBRA N°	COMUNIDAD	HECTAREAS RECUPERADAS	FAMILIAS BENEFICIADAS	PROMEDIO POR FAMILIA
1.-	ZONA RIO TOMOYO: TOMOYO	24,512	33	7.428.00 m ²
2.-	YOROCA	33,952	52	6.529.00 m ²
3.-	SACOPAYA	14,520	50	2.904.00 m ²
	SUB - TOTAL	72,984	135	5.406.00 m ²
1.-	ZONA RIO ZUDAÑEZ: COILOLO	23,016	45	5.115.00 m ²
	SUB - TOTAL	23,016	45	5.115.00 m ²
1.-	ZONA RIO PILCOMAYU: TASAPAMPA	15,000	33	4.546.00 m ²
2.-	TAYGATA	60,000	28	21.429.00 m ²
	SUB - TOTAL	75,000	61	21.429.00 m ²
1.-	ZONA RIO CACHIMAYU: VILLA SANTA ROSA	23,000	35	6.571.00 m ²
	SUB - TOTAL	23,000	35	6.571.00 m ²
	TOTAL GENERAL	194,000	276	7.029.00 m ²

Fuente: Responsable del componente de recuperación de tierras.

Al analizar las acciones del componente de recuperación de tierras, la Misión de Evaluación de Mediano Plazo del FIDA (informe N° 0099 BO, Febrero 1998, pág, 85), había detectado que como consecuencia de la desproporción entre el número de beneficiarios atendidos y el número de hectáreas recuperadas, se distribuirían parcelas con

un tamaño por familia de menos de 0.4 Has., y alertó sobre las dificultades que podía ocasionar el manejo económico de parcelas tan reducidas, recomendando la aplicación de modelos de cultivo comunal o cooperativo.

La Misión de Evaluación también mostró preocupación por los problemas de mercado que podía ocasionar la producción adicional que generarían las tierras recuperadas, más aún si ésta se concentraba en pocos productos (caso tomate), por lo cual recomendaron prever un fuerte apoyo en comercialización para este componente.(6)

Compartiendo la preocupación de la Misión de Evaluación, la Gerencia de Proyectos de CORDECH, ordenó la preparación de un estudio sobre la manera más adecuada de operar en estas tierras recuperadas, incluyendo la problemática de comercialización.

Sin embargo, a pesar que el manejo económico de las tierras recuperadas es un tema de interés, tuvo en realidad segunda prioridad para el proyecto, pues la mayor parte de las tierras ganadas al río deben ser todavía habilitadas para el cultivo, y por ello la actividad que mayor atención reclama es el uso y manejo de los suelos recuperados.

Se ha constatado que los rendimientos agrícolas en la comunidad de Mojtulo, que fue donde se recuperaron las primeras tierras, fueron menores a los esperados, y ello se debe a la falta de nutrientes que presentan estas nuevas tierras, por lo cual requieren un manejo bastante cuidadoso. Los técnicos de la división agropecuaria del proyecto están implementando una serie de acciones para enfrentar estos problemas, como son incentivar la siembra de cultivos como el maní, que tiene buen rendimiento y provee de nutrientes al suelo, lo mismo que la alfalfa, que es utilizada para la producción lechera. Actualmente la PIL ejecuta en las tierras recuperadas por el proyecto un programa lechero, que está teniendo gran acogida entre los campesinos.

(6) Los campesinos entrevistados en el área del proyecto mostraron preferencia por utilizar las tierras recuperadas en el cultivo de hortalizas y frutales. En el caso del tomate, por sus altos rendimientos por área cultivada, lotes de 0.4 Has., son suficientes para cultivar con buen resultado económico.

Queda mucho por hacer también en la sistematización del riego. Se han estudiado por ejemplo los turbiones del río para determinar cuál trae más sedimentación, qué tipos de sólidos conduce y poder decidir qué turbión conviene manejar para colmatar los suelos.

Entre los campesinos de la zona no existe experiencia en la incorporación de materia orgánica por sedimentación, pero existe amplia experiencia sobre este procedimiento entre los campesinos de Cochabamba, por lo que se ha llevado a cabo cursos de capacitación, invitando a Río Chico a los campesinos cochabambinos para que enseñen y entrenen en las técnicas que ellos dominan a sus compañeros de Chuquisaca.

Las acciones dirigidas a habilitar plenamente las áreas recuperadas como tierras de cultivo, requerirán por lo menos tres años de trabajo adicional y constituyen parte del proceso de consolidación del componente de recuperación de tierras.

Finalmente, en lo que concierne al tema de la migración, habría que señalar que aunque no existen datos o indicadores precisos, quienes vienen trabajando desde el inicio de las actividades del componente, señalan que era visible entonces la ausencia de gente joven en la zona, mientras que ahora, en su contacto diario con las comunidades campesinas, predomina justamente la presencia de comunarios jóvenes, lo que haría pensar que se ha cumplido uno de los objetivos centrales del proyecto, que era detener la migración de la población joven de Río Chico a otras locaciones de Bolivia.

Costo por hectárea recuperada y protegida.

El documento de la Misión de Preparación de 1981, preveía que el costo medio de cada hectárea recuperada sería de aproximadamente 1.300 dólares.

En los contratos celebrados por CORDECH con las comunidades participantes en el programa de recuperación de tierras, los campesinos beneficiarios se comprometieron a pagar 1.600 dólares por hectárea recuperada (80 dólares por 20 años) y 1.680 dólares por concepto de

mantenimiento (80 dólares por 21 años), es decir que asumieron una deuda total de 3.280 dólares por hectárea recuperada (sin considerar intereses).

Si tenemos en cuenta que se han recuperado y protegido un total de 871 Has., con una inversión total de US\$ 1.986.100, el costo medio de recuperar o proteger una hectárea es de 2.280 dólares (superior en 78% al monto previsto en el documento de la Misión de Preparación).⁽⁷⁾

La Misión de Evaluación de Mediano Plazo, en su informe de 1988, había establecido que la ejecución de este componente era relativamente cara, sobre todo teniendo en cuenta precios internacionales. Sin embargo, no es posible olvidar que en este tipo de actividades lo más relevante no es el costo directo de las obras, sino los efectos posteriores de estas actividades en la producción, productividad y en el ingreso campesino.⁽⁸⁾

Buscando explicación al costo relativamente alto de las obras, algunos técnicos manifiestan que los 1.300 dólares presupuestados en los documentos iniciales (1981), no se ajustaban a los costos reales de ejecución (1985 - 1991).

Otros piensan que es el precio que se paga por ser pioneros en una actividad nueva en el país y por el gran potencial que se ha generado en el proyecto para difundir este tipo de experiencias o otros proyectos o instituciones de Bolivia (los técnicos del proyecto Norte Chuquisaca han participado como supervisores en trabajos de recuperación de tierras para el Fondo Social de Emergencia (FSE) y como consultores en diferentes proyectos, como los PAC de la Comunidad Econó-

(7) En el cálculo de la inversión total no se considera el aporte de mano de obra campesina.

(8) ¿Es viable económicamente la recuperación de tierras? A esta pregunta trata de responder el Ing. Alonso Caballero, funcionario de la CAF, en un artículo que publicó la Revista Internacional Agricultural Development (How Stone Walls Reclaimed the land, march/april, 1989). "El costo de ejecución es alto, afirma Caballero, porque algunos materiales como las mallas tienen que ser importados. Pero la viabilidad económica no es el principal objetivo. El valor de los alimentos adicionales que están siendo cultivados en la nueva tierra para propósitos de subsistencia, no aparecerá en las estadísticas de los ingresos nacionales, pero para las familias que se benefician comiendo más, el provecho es visible, en mejor salud y bienestar, lo cual es difícil de medir, pero constituye un innegable beneficio".

mica Europea, el proyecto Cotagaita San Juan del Oro y proyectos de desarrollo rural de Cochabamba).

Analizando por rubros la composición del gasto en el componente recuperación de tierras, se constata que este se distribuyó porcentualmente de la siguiente manera:

CUADRO N° 6

COMPOSICION DEL GASTO DEL COMPONENTE

GASTOS DE OPERACION	28.4	%
GASTO EN GAVIONES	41.5	%
ADQUISICION DE EQUIPO Y MAQUINARIA	21.5	%
RACIONES ALIMENTICIAS	7.0	%
OTROS	1.6	%
TOTAL	100.0	%

Fuente: Responsable del componente de recuperación de tierras

Como se puede apreciar, la mayor incidencia en el gasto total corresponde a la adquisición de gaviones (importados) y a los costos de operación, que juntos absorben el 70% de la inversión. En relación a la maquinaria, que ocupa el tercer lugar en magnitud en los gastos del componente, hay que considerar que quedará disponible para su utilización después de la terminación del proyecto, con un tercio de su vida útil.

En relación a los costos, es interesante comparar el precio de la tierra en el mercado local con lo que ha costado al proyecto recuperar cada hectárea. Una hectárea de tierra de la vega antigua, se vende en el mercado local a 3.000 dólares, mientras que las tierras recuperadas por el componente tienen un costo de 2.280 dólares por hectárea, esto quiere decir que las nuevas tierras tienen costos expectantes.

4. LAS VARIABLES DEL ÉXITO

a) Participación campesina

Los resultados obtenidos por el componente de recuperación de tierras son atribuibles sobre todo al éxito de la organización campesina.

La participación campesina en la ejecución de las obras de recuperación de tierras fue masiva. En Río Chico participó el 90% de la población, incluyendo mujeres y niños. La participación de la mano de obra campesina constituye el 99% del total de mano de obra empleada. El personal del componente se redujo a 9 personas entre ingenieros, técnicos y operarios.

Si bien es cierto que los campesinos que participaron en las obras recibieron raciones alimenticias del PMA, éstas no se entregaron como pago equivalente a un jornal, sino como un incentivo u apoyo que brindaba el programa. Los campesinos han manifestado muchas veces que ellos no trabajaban por las raciones alimenticias, sino por su necesidad e interés en que se realicen las obras de recuperación de tierras.

Por otra parte, si valorizamos las raciones alimenticias entregadas, y las descontamos del valor de los 150.000 jornales que aportaron los campesinos, obtendríamos un remanente de 170.000 dólares de mano de obra campesina no remunerada, que representa el 9.4% de la inversión total del programa. Si no descontamos las raciones alimenticias, el aporte campesino alcanzaría a 340.000 dólares o al 18% de la inversión total realizada por el componente (ver cuadro N^o 7).

La participación campesina en las acciones de recuperación de tierras fue posible por la organización comunal. En las comunidades campesinas de la zona existe una división entre las actividades privadas, que son responsabilidad de la familia, y las públicas o colectivas, que son responsabilidad de la comunidad campesina en su conjunto. Las actividades relacionadas con la producción agropecuaria son de carácter privado, mientras que la ejecución de infraestructura de servicios es una actividad que asume la comunidad en forma colectiva.

La autoridad máxima de la comunidad es la Asamblea General, en la que participan todos los jefes de familia (la esposa o el hijo, si el varón está impedido). En la Asamblea se informa, evalúa y decide todo lo que sea de interés común. Las decisiones son tomadas por consenso, y los comunarios destinan todo el tiempo que sea necesario para lograrlo.

Para efectos de relacionarse con la organización comunal, el componente de recuperación de tierras contó con el valioso apoyo de un promotor que era invitado a participar en la Asamblea General durante la elección del comité de obras. Los campesinos para elegir a los integrantes del comité de obras consideraban los méritos personales de los postulantes, su disponibilidad de tiempo y su sujeción a un mecanismo de rotación permanente.

El comité de obras tenía como función principal organizar al grupo de comunarios que iban a trabajar en las faenas de recuperación de tierras, y era el interlocutor permanente del proyecto para la realización de estas actividades. El comité se encargaba también de todos los trámites relacionados con la dotación de raciones alimenticias (P.M.A.), asumía la responsabilidad de la distribución de tierras y programaba todos los trabajos que se iban a realizar, con el promotor de obras.

Participar en el comité de obras constituye un servicio a la comunidad, ya que los cargos no son remunerados. Un comité que no ha cumplido correctamente su función o que ha transgredido normas de comportamiento establecidas, puede ser destituido. En la Asamblea General se determina las sanciones a los comunarios que no cumplieron con el trabajo comprometido a la comunidad. La sanción puede llegar hasta su expulsión del grupo que trabaja en las obras de recuperación de tierras.

La propiedad de las tierras recuperadas se mantiene con el carácter de colectiva hasta que concluyen los trabajos de colmatación. La distribución de la tierra se hace por sorteo, tocándole a cada comunario que participó en las obras una parte alícuota del total de tierra recuperada en la zona.

CUADRO N° 7
NUMERO DE JORNALES CAMPESINOS
1985 - 1991

Nº COMUNIDAD	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	TOTAL
ZONA RIO CHICO:								
1. CKACHA CKACHA		3860	2540	2540				8940
2. HORNO PAMPA		3599	1240	1220				6059
3. TRANCA MAYU		2640	3010				444	6094
4. MOJOTORO		1960	1680		1708			5348
5. CHAUPI MOLINO	621	1280	400	600	760			3661
6. CHACARILLA	1062	720	2840	1080				5702
7. LA COMPUERTA	1525	3340	1500					6365
8. CHUQUI CHUQUI			2420	760	1260			4440
9. MOJTULO	1086	1200		703				2989
10. SURIMA			800	2150	255			3205
11. EL TAPIAL		700	2800	1050				4550
12. MARAMPAMPA			1160	972	640			2772
13. MELONAR	690	2718	480	1500	1000			6388
14. MONTEROYOJ	495	1635	2100		429			4659
15. SEVENCANI			1920	600	680			3200
16. TACOYOJ			740		540	570		1850
17. CAMOS		1930	440	1030	1155	525		5080
18. EL MORRO			1660	2480		504		4644
19. SAUSAL			660	1310				1970
20. GUADALUPE			1855	1480				3335
21. LUJE			2420	1015				3435
22. CANTU MOLINO		455	880	1512				2847
23. SIVISTO		750	1600	800				3150
24. CKORI PUNCKU			1920	2400				4320
25. EL CHAQUITO				2120				2120
26. MOJTULO II			1620	840				2460
27. BELLA VISTA			880	460				1340
28. PUCA PAMPA			720	360				1080
29. VIÑA PAMPA			1520	2015				3535
30. NARANJOS I			620	800	2112	1188		4720
31. NARANJOS II				960	1092			2052
32. ARABATE				3164	1456	896		5516
33. PERAS PAMPA					943	575		1518
34. EL CHACO		270			1311	868		2449
35. SACRAMENTO					1288	2280		3568

Nº COMUNIDAD	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	TOTAL
36. SURIMATA					1475	768		2243
37. MOJOTORO						924		924
38. CKASA HUASA						540	679	1219
39. CHACARILLA II						1190	392	1582
40. QUINÁL							1279	1279
ZONA CACHIMAYU:								
1. VILLA S. ROSA							1400	1400
ZONA TOMOYO:								
1. TOMOYO					1224	680	218	2122
2. YOROCA					1451	1428		2879
3. SACOPAYA					680	960		1640
ZONA PILCOMAYO:								
1. TASA PAMPA						1758		1758
2. TAYGATA						1000	520	1520
ZONA ZUDAÑEZ:								
1. COILOLO							2815	2815
2. MANDINGA							883	883
3. SAN ANTONIO							696	696
TOTAL					JORNALES			158321

Fuente: Responsable del componente de recuperación de tierras

Costo una ración de PMA US\$ 1.00

Costo real de un jornal US\$ 2.11

Costo raciones alimenticias US\$ 158.321,00

Costo real de los jornales US\$ 334.057,00

APORTE LOCAL POR MANO DE OBRA NO CALIFICADA US\$ 175.736,31

b) Selección del tipo de defensa:

La selección del tipo de defensa es el otro factor que fue decisivo para el éxito del programa de recuperación de tierras. La mayor parte del suelo que caracteriza el lecho de Río Chico, tiene baja capacidad de soporte, lo que encarece enormemente los costos de fundación de obras tradicionales (estructuras de tipo rígido). El uso de gaviones soluciona este problema ya que permite obras de tipo flexible, reduciendo considerablemente los costos y el tiempo de ejecución.

Para los trabajos de encauzamiento de Río Chico, cuyo propósito fundamental era la recuperación de tierra para uso agrícola, se escogió un tipo de estructura que fuera capaz de cumplir con las exigencias mencionadas anteriormente, denominándose a esta estructura defensa longitudinal gavionada.

Otras ventajas que determinaron la utilización de este tipo de estructura, por la participación campesina en el programa, son las siguientes:

La existencia de materiales locales: es fácil conseguir con la participación de los campesinos los materiales locales necesarios para construir los defensivos.

La facilidad de ejecución e implementación: los gaviones se colocan fácil y rápidamente y pueden ser ejecutados tanto en lugares secos como en presencia de agua.

Utilización de mano de obra no calificada: este tipo de estructuras facilitan la participación de los campesinos que se benefician con el programa.

Los defensivos longitudinales se componen de dos partes: el muro propiamente dicho que está expuesto a solicitaciones de estabilidad, vuelco y deslizamiento y la base antisocavante, que en el río Chico se calculó debía tener una dimensión de por lo menos dos veces la altura de socavación, para garantizar la estabilidad del muro (5 metros).

5. ENSEÑANZAS OBTENIDAS EN LA RECUPERACION DE TIERRAS

Uno de los aspectos más importantes para enfrentar trabajos de recuperación de tierras, es el conocimiento del río que se pretende regular. La información contenida en los documentos de hidrología que formaban parte del diseño del proyecto, fue insuficiente, y no existía una adecuada correspondencia entre estos estudios y el diseño de los muros de defensa.

Tampoco se habían analizado aspectos tales como la influencia de la salinidad del agua en la vida útil de los gaviones, lo que trajo como consecuencia que un año después de colocados los primeros defensivos, estos presentarían una oxidación considerable, y se tuvo que optar por el uso de mallas con revestimiento de PVC en algunos casos.

También habría facilitado la ejecución del componente la realización de un programa sostenido de promoción en las comunidades beneficiarias, para explicar los objetivos del proyecto y lo que se esperaba de la participación campesina.

Esta acción previa a la ejecución del componente, habría permitido un trabajo sistemático y ordenado, y se podría haber realizado la regulación del río en forma continua en una u otra dirección, y no como se realizó, alternando sectores, lo que indudablemente genera problemas técnicos, atenta contra la eficiencia y aumenta el costo de las obras.

Lamentablemente esta metodología no se pudo implementar porque la promoción del componente de recuperación de tierras demandó mucho esfuerzo y tiempo. Al principio los campesinos no creían que el componente obtendría resultados, pues la experiencia de las comunidades con el río era muy mala y habían perdido todas las batallas emprendidas para defender sus tierras.

Otro problema que se presentó durante la ejecución de las obras fue que no se disponía en los documentos de diseño, de información respecto al uso y manejo de los suelos recuperados: qué tipo de suelo debía conformarse, qué plantaciones se harían, cómo se explotaría, etc.

En la preparación de nuevos proyectos, es recomendable tomar en cuenta estas observaciones, para evitar que se repitan los problemas experimentados por el proyecto Norte Chuquisaca. Los directivos del proyecto coinciden en señalar que no hubiera sido posible ejecutar exitosamente este componente, si no se realizaban cambios en los diseños originales, si no se hubiera contado con la creatividad de los técnicos del proyecto y de los campesinos, y con la flexibilidad y comprensión de la Institución Cooperante (CAF) y el FIDA.

6. CONSOLIDACION Y TRANSFERENCIA

Las acciones de consolidación del componente están relacionadas con la habilitación plena de las tierras recuperadas como tierras de cultivo bajo riego, mientras la transferencia está más vinculada al mantenimiento de los defensivos. Actualmente, aunque los técnicos de la división agropecuaria del proyecto han realizado algunas acciones relacionadas con el uso y manejo de las tierras recuperadas, se trata de un trabajo que durará por lo menos tres años y tendrá que ser asumido íntegramente por CORDECH al término del financiamiento externo.

El mantenimiento de los defensivos y la realización de nuevas obras de recuperación de tierras, están relacionados con el pago de las tierras recuperadas y la titulación de las mismas.

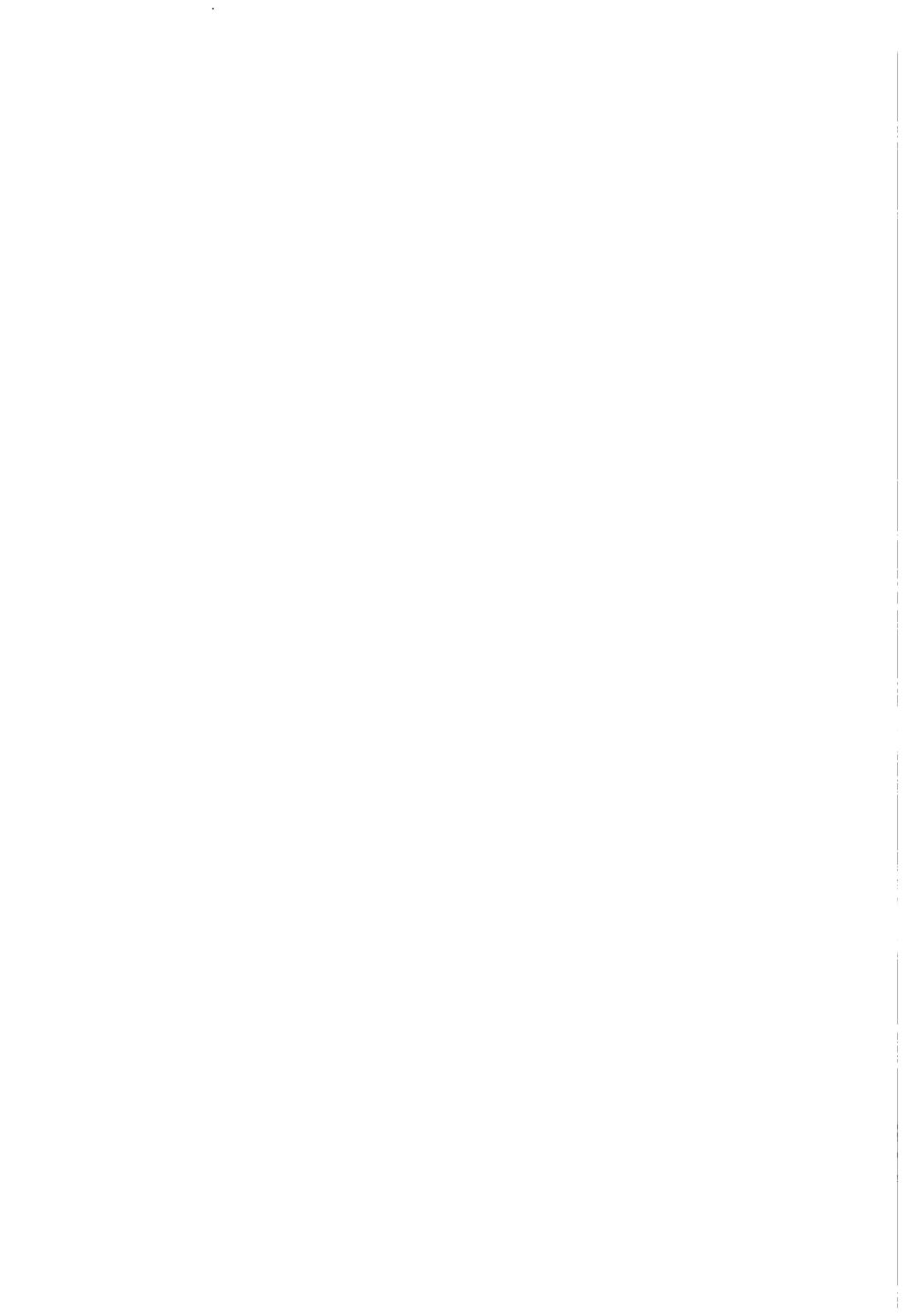
Así como la recuperación exitosa de tantas tierras plantea problemas de orden económico (producción, comercialización, etc.), también genera problemas de carácter administrativo y legal. Dos son los problemas de mayor envergadura en este campo: la titulación de las tierras recuperadas y el pago por la recuperación y el mantenimiento de las mismas.

Respecto al primer problema, se ha cumplido con distribuir a los campesinos las tierras recuperadas y se les ha entregado la posesión. Además el proyecto ofreció el apoyo de un asesor jurídico, que ha cumplido con presentar ante el Juez agrario móvil de la capital, más de cincuenta demandas de dotación de tierras recuperadas en favor de diferentes comunidades campesinas. Se espera que antes que termine el año 1992, los campesinos cuenten con sus títulos agrarios ejecutoriales individuales

Sin embargo, el problema más preocupante es el del pago de las acciones de recuperación de tierras realizadas que debería dar lugar a la constitución de un fondo común administrado por CORDECH, con el cual se garanticen las acciones de mantenimiento de los defensivos y la ejecución de nuevas obras, luego de la terminación del proyecto. Preocupa, porque a la fecha no se ha cobrado por este concepto y aunque las obras realizadas tienen una vida útil de hasta 15 años sin mantenimiento, si oportunamente no se obtienen los recursos para financiar estas acciones se corre el riesgo de perder todo el trabajo de recuperación de tierras efectuado.

Los directivos del PNCH vienen estudiando con los funcionarios de CORDECH los mecanismos más adecuados para la transferencia y replicabilidad del componente, utilizando como base la organización campesina.

Los campesinos se sienten orgullosos por los resultados obtenidos conjuntamente el proyecto Norte Chuquisaca, aunque saben que todo lo ganado puede perderse sino se continua con las acciones de mantenimiento y protección. Señalan también, que los beneficios de contar con nuevas tierras para cultivar no son sólo para ellos, "porque vemos la utilidad del trabajo para nosotros, para el futuro de nuestros hijos, y para el pueblo, porque no vamos a ser los únicos que vamos a comer los alimentos que produzcamos en estas tierras".



SEGUNDA PARTE LOS ASPECTOS TÉCNICOS

La implementación de defensivos o muros de gaviones para proteger y recuperar tierras agrícolas está sustentada en estudios y diseños de ingeniería hidráulica que se realizaron en la fase de preparación del proyecto.

Sin embargo, fue necesario que los técnicos del proyecto Norte Chuquisaca, realizaran ajustes y adaptaciones en estos diseños, para obtener buenos resultados en las acciones de recuperación de tierras.

Otros proyectos (como por ejemplo el Cotagaita San Juan del Oro o el PAC de Potosí), han utilizado las propuestas técnicas del PNCH para la implementación de sus propias obras, de recuperación de tierras con resultados satisfactorios.

En esta segunda parte del libro, se brinda información detallada sobre los aspectos técnicos de la ejecución de este componente, con el propósito de que pueda ser aprovechada por otros proyectos de desarrollo rural.

7. EL AREA DE EJECUCION DE LAS OBRAS: RIO CHICO

Hasta fines de la Edad Media, a diferencia de la hidrostática, la hidráulica careció de toda base físico - matemática. Los grandes sistemas hídricos de los valles del Nilo y del Eufrates, del Tigris, el Indo y el Huang Ho, así como las numerosas represas de la antigüedad y las amplias construcciones de aprovisionamiento de agua de los romanos, no se hicieron en base a cálculos matemáticos, sino más bien utilizando un concepto intuitivo del proceso de los flujos, la fuerza creativa y la experiencia. Se recurrió pues a cualidades más relacionadas con el campo de la creación artística que con la técnica.

Lo curioso, sin embargo, es que en la era de las computadoras y del cálculo abstracto, subsista un campo de la ciencia que todavía necesita de la intuición y la experiencia. Este campo es la REGULACION DE LOS RIOS.

Los cálculos matemáticos no son suficientes para solucionar todos los problemas que se presentan en el manejo de una cuenca, es necesario apelar en algunos casos al conocimiento empírico que tienen los pobladores de la zona, que conocen mejor que nadie el comportamiento del río.

Para elegir los métodos y elementos de regulación hay que tener en cuenta que es necesario lograr o mantener un equilibrio con un mínimo gasto técnico y económico. Esto se logró en el caso de Río Chico, porque mediante la construcción de defensivos longitudinales se consiguió una regulación por tramos, donde fueron indispensables los conocimientos de los técnicos y de los habitantes de la zona sobre la formación del lecho del río, y observaciones continuas referidas especialmente a la estructura hidromecánica de los recodos, aluviones, material de acarreo y otras características que permiten diseñar o hacer modificaciones en las estructuras previstas para recuperar tierras en el lecho de un río.

El componente de recuperación de tierras ha logrado mantener el régimen del río Chico, sin alterarlo, en condiciones estables, por un tiempo de ocho años hasta la fecha y a largo plazo se espera lograr un equilibrio en el lecho del río.

El objetivo de estas obras es la defensa de las terrazas y de las riberas, ante la acción erosiva del agua, permitiendo al mismo tiempo una recuperación de tierras en el lecho del río para su utilización en actividades agropecuarias.

Dependiendo de la finalidad que se persigue, la naturaleza del alveo y de las riberas, se utilizan en estas acciones diversos materiales y tipos de construcción. Para la zona de defensa ribereña de Río Chico se propuso en el documento original del proyecto la utilización de ESTRUCTURAS GAVIONADAS, acompañadas con acciones de colmatación de suelos, aprovechando el arrastre de sedimentos en las crecidas, que en la región suelen ser de corta duración (3 a 4 meses).

La época de estiaje, en que no hay crecidas, los técnicos y beneficiarios del componente la aprovechan usualmente para afianzar los márgenes del río e iniciar la construcción de defensas longitudinales o reforzar las existentes. La preparación de las estructuras o defensivos para la época de lluvia es de vital importancia, porque los gaviones soportan los mayores esfuerzos con las primeras crecidas, donde interactúa la piedra colocada en los gaviones y los sedimentos finos transportados por el flujo, para consolidar de esta manera la estabilidad del muro protector.

Características de Río Chico

La cuenca hidrográfica del Río Chico abarca 2.130 Km² y comprende buena parte del área del proyecto de desarrollo agropecuario Norte Chuquisaca.

El valle de Río Chico tiene una fuerte importancia económica para todo el departamento de Chuquisaca. La parte más productiva de este valle se desarrolla a lo largo de la carretera Sucre - Cochabamba, kilómetro 30 al 90, lo que facilita la comunicación para el abasteci-

miento de insumos y el mercadeo de productos. Este sector del valle se encuentra ubicado entre 2.000 m.s.n.m. y 1.500 m.s.n.m., en su confluencia con el río Grande.

El valle tiene un microclima particularmente suave, que permite el cultivo de una amplia gama de productos agrícolas.

Estas particularidades han favorecido la constitución de numerosas comunidades, tales como: Sivisto, Guadalupe, Cantu Molino, Viña Pampa, Ckacha Ckacha, Luje, Kori Puncu, Paredón, Peras Pampa, Tejahuasi, La Palma, Media Luna, Mojotoro, Sacramento, Chaupi Molino, Chacarilla, El Chaco, Chaquito, Compuerta, Chuqui Chuqui, Arabate, Mojtulo, Naranjos, Surima, El Tapial, Marampampa, Bella Vista, Melonar, Sevencani, Monteroyoj, Tacoyoj, Camos, El Morro y Sauzal.

Estas comunidades albergan aproximadamente 6.500 habitantes, que constituyen el 9.18 % de la población de la provincia Oropeza, del departamento de Chuquisaca y son los directos beneficiarios del programa de recuperación de tierras del PNCH.

Morfología geológica de Río Chico

Las sierras que definen la cuenca de Río Chico son todas de origen tectónico, con pliegues estratigráficos compuestos principalmente por areniscas, con materiales ligantes arcillosos y a veces calcáreos, arcillas laminares, conglomerados con cantos de variados orígenes, incluso ígneos, con material ligante areno-arcilloso, y calizas especialmente en algunas cumbres.

Los afloramientos son de muy variada edad, desde el ordovísico silúrico hasta el mesozoico y cuaternario. Debido a la existencia de varias fallas, se encuentran contactos entre estratificaciones del paleozoico con estratificaciones del terciario.

Una característica de la zona es que las sierras están compuestas de pliegues uniformes de estratificaciones sumamente impermeables, cubiertas en el último estrato de suelo areno - arcilloso o de conglomerados de origen aluvial.

Las precipitaciones meteóricas, penetrando en el estrato permeable, han creado un frente freático sobre las estratificaciones impermeables. Este fenómeno ha provocado un deslizamiento al valle de todo el material sobrepuesto. (ESTUDIO DE RECURSOS NATURALES SUB REGION I).

Por esta razón las cumbres de varias sierras aparecen completamente esquilgadas con rocas lisas sin ninguna posibilidad de vegetación.

El material deslizado forma terrazas bastante más altas que el terreno cultivable actual, pero con un espesor de fondo muy profundo, compuesto de material extremadamente plástico. Sobre este valle fluye el agua del río Chico, provocando una incisión siempre más profunda a pesar del derrumbe de las laderas.

De esta forma, en los últimos ocho mil años, se han establecido equilibrios y desequilibrios en cuatro valles sucesivos, el último de los cuales, en un estado de aparente equilibrio, fue el valle encontrado por los españoles, puesto en cultivo por diversas concentraciones humanas.

El poco conocimiento del manejo de las riberas y la acción antropógena en las laderas, ha acelerado el último desequilibrio. El agua encontró la base lítica del valle y no pudiendo profundizar el álveo, tuvo que ensancharse, encontrando las riberas más plásticas que el fondo. Esto provocó un segundo fenómeno: las aguas al producirse un álveo más ancho, perdieron su potencialidad de arrastre del material detrítico proveniente de las erosiones en las cuencas de cabecera y terminaron por aumentar el nivel de su álveo. Este fenómeno ocasionó inundaciones en las vegas laterales y aumentó su consiguiente destrucción.

El análisis de la morfología del río Chico fue fundamental para implementar las acciones de recuperación de tierras, porque los defensivos constituyen obras rígidas de ribera y obligan a la corriente del río a definir un álveo más estrecho y una mayor concentración de la masa fluida, con el consiguiente aumento de su potencialidad de transporte de material detrítico, lográndose un régimen de río controlado.

Recuperación de tierras en Río Chico

El álveo es en realidad todo el espacio plano del valle que antes constituía la vega del río. Restos de esta vega todavía existen y corresponden a las zonas que se encuentran bajo cultivo actualmente. Una parte de estos cultivos han sido protegidos con muros y otros con contrafuertes naturales o conos de deyección de algunas quebradas. Las obras que ejecutó el proyecto Norte Chuquisaca no solo permitieron la recuperación de tierras, sino también ayudaron a preservar de la destrucción lo que queda de la vega antigua.

La zona de acción del componente de recuperación de tierras abarca desde Sivisto, en la quebrada de Gallegos, hasta la confluencia con el río Grande y se desarrolla a lo largo de más de 80 Km.

El lecho del río actualmente tiene en algunos puntos un ancho de más de quinientos metros, mientras que su máxima avenida puede ser encauzada en sólo cien metros de ancho, con un tirante de 2.50 m.

Considerando que la recuperación de tierras abarca en promedio trescientos metros de ancho en su longitud total, teóricamente se podría recuperar cerca de dos mil hectáreas. Sin embargo el proyecto se vio obligado a adaptar las estructuras a la geomorfología de la zona, para aprovechar mejor las condiciones naturales de cada lugar y recuperar las tierras con una menor inversión. Como consecuencia, el total de tierras recuperadas en Río Chico fue de 509 hectáreas, y se lograron proteger cerca de 170 hectáreas.

Características de la cuenca de Río Chico

El río Chico es afluente del río Grande y como tal pertenece a la hoya Amazónica. En su desarrollo forma una especie de zeta orientada de norte a sur. Nace en el cerro Pintur Orkho, a cota 3.520 m.s.n.m., con el nombre de río Cuinaca y a partir de su unión con el río Porras, recibe el nombre de río Chico.

En su desarrollo inicial, hasta la hacienda Guadalupe, ubicada a cota 2.050 m.s.n.m., tiene como característica principal la de ser un río

encajonado, que corre en el fondo de las laderas empinadas de los montes que lo circundan.

Desde Guadalupe hasta la confluencia con el río Grande, reduce notablemente su pendiente y cambia completamente su morfología. En su largo recorrido se van alternando tramos, en los cuales el lecho del río resulta a veces encajonado y a veces muy ancho. Al expandirse deja amplias zonas de playa que no son inundadas ni siquiera con las mayores avenidas. En estos tramos anchos el río excava su cauce ocasional de avenida, pudiendo variar del todo al pasar de una crecida a otra.

El río Chico puede definirse como un clásico torrente de montaña, porque está sujeto a un régimen torrencial, determinado por el carácter estacional de las precipitaciones.

En la estación de lluvia, entre noviembre y marzo, el caudal del río va progresivamente elevándose y presenta las máximas avenidas con ocasión de las precipitaciones de máxima intensidad. La fuerte pendiente de las laderas y el elevado grado de impermeabilidad, hacen que un enorme porcentaje de la lluvia se convierta en escorrentía superficial.

El agua se presenta entonces muy turbia por el lavado de la cuenca alta, que estando prácticamente descubierta de manto vegetal, está expuesta a la degradación de agentes meteóricos. Por otra parte, la fuerte pendiente ocasiona que el río Chico realice un elevado transporte sólido de sedimentos.

En la época seca, en cambio, se dispone de un caudal medio de 900 lt/seg, proveniente de manantiales que entregan constantemente el agua conservada.

8. ESTUDIO HIDROLOGICO DE LOS CAUDALES MAXIMOS DE RIO CHICO

Las obras de sistematización que se emprendieron para la recuperación de tierras en el lecho del río Chico, requirieron para su correcto diseño, de un conocimiento exacto de todas las características hidrológicas de este río.

No es posible realizar estas obras sin contar con un estudio global de los parámetros climáticos, geomorfológicos e hidrológicos, que han determinado y determinan sus características actuales. Muchos de estos parámetros son resultado de la evaluación directa, como por ejemplo las características geomorfológicas. Otros parámetros, como los caudales máximos de avenida, pueden determinarse solamente recurriendo a criterios de similitud hidrológica, teniendo en cuenta que no se dispone de series históricas significativas.

Todos estos estudios fueron elaborados por la Misión de Preparación del Proyecto y constan en los estudios originales. Sin embargo, fueron actualizados y ampliados por los técnicos del proyecto.

Determinación de las avenidas máximas

En general, la aplicación de la hidrología superficial en el diseño, construcción y operación de una obra hidráulica, se reduce a encontrar respuesta a las siguientes preguntas:

- 1^º Qué cantidad de agua se dispone en la corriente, sus propiedades físicas, químicas y bacteriológicas.
- 2^º Cuánto volumen de material sólido transporta la corriente.
- 3^ºCuál es la magnitud de las avenidas o crecidas y cuándo se presentan.

La tercera pregunta es la más difícil de contestar, la que mayor información requiere para ser evaluada y quizás, la más importante, especialmente en obras o estructuras hidráulicas cuyo fin es dar paso o controlar el agua proveniente de tales avenidas.

Estas estructuras son generalmente muy costosas y su inadecuada utilización puede causar graves daños materiales, e incluso la pérdida de vidas humanas.

Por otra parte, los terrenos de las vegas de los ríos, generalmente fértiles, han sido utilizados por la población para el cultivo y para construir viviendas en ellos, ignorando o despreciando el riesgo de inundación y destrucción por las avenidas del río. Para evitar estos problemas es conveniente delimitar rigurosamente los cauces de avenida y construir obras de defensa.

Un análisis amplio y racional de las avenidas máximas del río Chico, es indispensable para la seguridad de la obra.

Origen de las avenidas

En términos generales, las avenidas máximas se pueden clasificar de acuerdo a las causas que las generan, de la siguiente manera:

1. Avenidas máximas de precipitaciones líquidas.
2. Avenidas máximas de precipitaciones sólidas.
3. Avenidas máximas mixtas u originadas por otras causas.

Las avenidas máximas del primer grupo son las más comunes y tienen su origen en lluvias de gran intensidad, duración y extensión. Al segundo grupo corresponden las avenidas cuyo origen se debe a la fusión de la nieve. Dentro del tercer grupo están las avenidas que se engendran por efectos simultáneos de las avenidas antes descritas y las originadas principalmente por la ruptura de presas naturales o artificiales, y/o por la mala operación de las compuertas de un embalse.

Métodos de estimación de las avenidas máximas

Para la estimación de una avenida máxima se dispone de varios métodos de cálculo, los mismos que pueden ser agrupados en términos generales, de la siguiente manera:

1. Métodos empíricos.
2. Métodos históricos.
3. Métodos de correlación hidrológica de la cuenca.
4. Métodos directos o hidráulicos.
5. Métodos estadísticos o probabilísticos.
6. Métodos hidrológicos o de relación lluvia escurrimiento.

Estos métodos de estimación de las avenidas se describen a continuación, señalando sus principales ventajas e inconvenientes, así como los resultados de su utilización.

1. METODOS EMPIRICOS.

El más común de estos métodos lo constituyen las llamadas "Fórmulas Empíricas", que en la actualidad son muy poco utilizadas, debido principalmente a la existencia de otros procedimientos de estimación de las avenidas máximas, que utilizan mayor información y toman en cuenta un gran número de factores.

Sin embargo, ante la escasez de datos para estimar la avenida máxima en cuencas de pequeña extensión y poco pobladas, la aplicación de las fórmulas empíricas permite conocer, de una manera rápida, el orden de magnitud de la avenida, sin tener que recurrir a la recopilación de datos directos o esperar varios años para disponer de información hidrométrica. Se recomienda el uso de la fórmula empírica cuando:

- a) Los datos han sido contrastados con datos reales en una determinada cuenca o región.
- b) Se desea representar de una manera fácil los resultados obtenidos con estudios racionales de avenidas en un río o cuenca. Se entiende por estudio racional de avenidas máximas, el que

utiliza suficientes datos reales de avenidas o aplica diversos criterios de estimación para que en base a los resultados obtenidos, se deduzca el probable hidrograma de la avenida que se estima.

2. METODOS HISTORICOS.

Los métodos históricos consisten en la investigación y recopilación de datos sobre las avenidas ocurridas en un río o en un embalse. En realidad, los métodos históricos, aunque permiten conocer las características de una gran avenida ocurrida muchos años atrás, no permiten prever la proporción de una avenida mayor a la máxima conocida, aún cuando existen muchas posibilidades de que esta se presente.

Por otra parte, los métodos históricos tienen que vencer dos grandes dificultades para poder suministrar información útil:

- 1º La carencia e insuficiencia de datos (registros históricos).
- 2º El cálculo numérico de la avenida a partir de los datos recabados, referido generalmente a niveles y no a gastos.

Para enfrentar la segunda dificultad, se utilizan los llamados métodos directos o hidráulicos, que se describen más adelante.

3. METODOS DE CORRELACION HIDROLOGICA DE CUENCAS.

Cuando en una cuenca bajo estudio no se cuenta con datos hidrométricos y pluviométricos, la estimación de la avenida máxima puede intentarse mediante la correlación con los datos de gastos máximos de una cuenca próxima, cuyas características climáticas (régimen de precipitaciones, vientos, etc.), topográficas (magnitud, pendiente, altitud, orientación y formas de la cuenca), geológicas (zonas permeables, impermeables, rocas, etc.), edafológicas (tipo de suelos, espesores, etc.) y de cobertura vegetal, sean lo más similares posibles a la cuenca en estudio y que en la cuenca vecina su registro hidrométrico sea amplio.

La ventaja de este método es que permite una mejor utilización de la información hidrométrica y la estimación racional de la avenida en cuencas con escasez de todo tipo de datos (hidrométricos y de lluvias máximas).

La desventaja primordial del método es la dificultad de realizar un análisis y ponderación de todos los factores citados, en la búsqueda de la analogía existente, para establecer los coeficientes de correspondencia entre las dos cuencas.

4. METODOS DIRECTOS O HIDRAULICOS.

La aplicación de los métodos hidráulicos o directos (ya que utilizan fórmulas de hidráulica), no debe omitirse nunca, pues aunque no cuenten con una metodología hidrológica, la mayoría de las veces permiten obtener información bastante útil y garantizada. Sobre todo, debido a la posibilidad de fijar con buena precisión las alturas o niveles alcanzados por el agua en tiempos pasados y algunas veces, incluso remotos. A partir de estos datos es posible determinar el gasto máximo instantáneo en cualquier momento.

En resumen, este método consiste en fijar, en un tramo del río bien definido y característico, las elevaciones máximas alcanzadas por las aguas y calcular, a partir de ellas, el gasto máximo que las produjo.

El cálculo del gasto máximo de la avenida por los métodos directos, es de gran utilidad, al menos, para ofrecer una idea del orden de magnitud de ésta.

5. METODOS ESTADISTICOS O PROBABILISTICOS.

Estos métodos consisten, en síntesis, en estimar la magnitud de la avenida máxima, a partir de un registro (serie) de gastos máximos anuales instantáneos conocidos, por su extrapolación, mediante su probable distribución en diversos períodos de retorno.

Por otra parte, aunque la extrapolación esté dentro de los límites recomendados, se pueden presentar los dos casos extremos siguientes:

- 1º Suponiendo que se dispone de un registro bastante aceptable, por ejemplo de 50 años y que en tal período de tiempo las avenidas registradas han sido moderadas o de baja magnitud, entonces, al extrapolar a un período de retorno de unas cinco veces el registro, lo más probable es que el valor concluido resulte por defecto, es decir, bajo.
- 2º Si por el contrario, en el lapso de los 50 años se han presentado avenidas extraordinarias correspondientes a períodos de retorno mayores a 50 años, la extrapolación mostrará un gasto bastante grande, ya que se partió de la consideración de que la avenida máxima registrada corresponde a un período de retorno de 50 años.

Entre los dos casos extremos citados, pueden suceder todos los intermedios posibles, por lo cual se concluye, que la extrapolación excesiva puede conducir a exagerar o infravalorar la avenida que se calcula.

6. METODOS HIDROLOGICOS.

Estos métodos tienen como objetivo la reconstrucción matemática del proceso o fenómeno de la formación de la avenida. Se estiman precipitaciones pluviométricas de duración y período de retorno determinado y dentro de lo probable, se calcula el escurrimiento que se genera en un punto de la corriente estudiada, hasta llegar a dibujar el probable hidrograma.

Estos métodos tienen la ventaja de que permiten reproducir aceptablemente el fenómeno, en base a la estimación de diversos parámetros, como son las precipitaciones máximas y las características físicas de la cuenca.

Pero la utilización de las precipitaciones máximas como parámetro es también una desventaja en los casos en que se tiene que

extrapolar algunas de sus variables, ya que sus errores, debido a la irregularidad de las lluvias en la cuenca (sobre todo en cuencas montañosas), y la determinación de la parte de la lluvia que absorbe el suelo, pueden distorsionar la estimación de la determinación de las avenidas a partir de las lluvias.

Sin embargo, en cuencas pequeñas, poco pobladas y sin datos hidrométricos, la determinación de los posibles hidrogramas de avenidas a partir de precipitaciones probables, es en general, el mejor procedimiento a utilizar.

Los métodos hidrológicos se subdividen en:

- a) Método del hidrograma unitario, que comprende los triangulares, sintéticos, adimensionales, instantáneos y S.
- b) Método de las Isocronas (Racional).
- c) Método de las Isoyetas

Dentro de los métodos hidrológicos del hidrograma unitario, están comprendidos la totalidad de métodos hidrológicos que se utilizan actualmente, como por ejemplo los siguientes:

- I Pai Wu, Chow, Snyder, Gray, U.S. Bureau of Reclamation y U.S. Soil Conservation Service.

Pluviometría del río chico

Determinación de la precipitación de diseño

Para calcular el caudal máximo de avenida para un período determinado, se toma como referencia las alturas máximas de precipitación diaria que cayeron sobre la cuenca en los últimos 15 años de observación, datos que han sido obtenidos del Servicio Nacional de Hidrología y Meteorología, en la estación situada en Chuqui Chuqui, que es la más representativa de la cuenca.

CUADRO N° 8
ALTURAS MAXIMAS DE PRECIPITACION
CHUQUI - CHUQUI

AÑO	PRECIPITACION EN mm.
1977	78.00
1978	43.00
1979	62.00
1980	40.20
1981	32.00
1982	42.00
1983	51.00
1984	45.00
1985	35.50
1986	40.80
1987	43.50
1988	40.00
1989	62.30
1990	40.00
1991	46.70

Fuente: Servicio Nacional de Hidrología y Meteorología

El valor máximo que la altura de lluvia puede alcanzar en un tiempo "t", para un período asignado de T_r , en un punto ubicado en una altitud igual a la altitud media H de la cuenca, se calcula por el método de la curva asintótica o ajuste de Gumbel. De los datos X de las precipitaciones máximas diarias encontradas, obtenemos los datos que aparecen en el siguiente cuadro.

CUADRO N° 9

AJUSTE DE GUMBEL PARA DATOS DEL
RIO CHICO

AÑOS	X_i	m	$(n+1)/m$	$X_i - \bar{X}$	$(X_i - \bar{X})^2$
1977	78.00	1	16.00	31.20	973.44
1978	43.00	8	2.00	3.80	14.44
1979	62.00	3	5.33	15.20	231.04
1880	40.20	11	1.45	3.40	11.56
1981	32.00	15	1.07	-14.80	219.04
1982	42.00	9	1.78	4.80	23.04
1983	51.00	4	4.00	4.20	17.64
1984	45.00	6	2.67	-1.80	3.24
1985	35.50	14	1.14	-11.30	127.69
1986	40.80	10	1.60	-6.00	36.00
1987	43.50	7	2.29	-3.30	10.89
1988	40.00	12	1.33	-6.80	46.24
1989	62.30	2	8.00	15.50	240.25
1990	40.00	13	1.23	-6.80	46.24
1991	46.70	5	3.20	-0.10	0.01
					2000.76

Donde:

- n : Número de años de registro
 m : Número de orden correspondiendo $m = 1$ al valor máximo
 X_i : Valores observados
 \bar{X} : Valor medio aritmético

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n} = 46.80$$

CUADRO N° 11

DESVIACION ESTANDAR REDUCIDA σ_n

10	0.950	0.968	0.983	0.997	1.010	1.021	1.032	1.041	1.049	1.056
20	1.063	1.070	1.075	1.081	1.086	1.092	1.096	1.100	1.105	1.108
30	1.112	1.116	1.119	1.123	1.125	1.128	1.131	1.134	1.136	1.138
40	1.141	1.144	1.146	1.148	1.150	1.152	1.154	1.157	1.158	1.159
50	1.161	1.162	1.164	1.166	1.167	1.168	1.170	1.172	1.172	1.173
60	1.175	1.176	1.177	1.178	1.179	1.180	1.181	1.182	1.183	1.184
70	1.185	1.186	1.187	1.188	1.189	1.190	1.191	1.192	1.192	1.193
80	1.194	1.195	1.195	1.196	1.197	1.197	1.198	1.199	1.199	1.200
90	1.201	1.201	1.202	1.203	1.203	1.204	1.204	1.205	1.205	1.206
100	1.207									

Finalmente, la ecuación para determinar el valor máximo probable para un período determinado es:

$$X_i = X + \frac{\sigma_x}{\sigma_n} (Y - Y_n) \quad (1)$$

Los valores de Y se obtienen en función del período de retorno T_r según el cuadro siguiente.

CUADRO N° 12**"Y" EN FUNCION DEL PERIODO DE RETORNO**

Y	Tr
0.000	1.58
0.367	2.00
0.579	2.33
1.500	5.00
2.250	10.00
2.970	20.00
3.902	50.00
4.600	100.00
5.296	200.00
6.000	403.00

Del cuadro N° 10, para $n = 15$ se obtiene:

$$\sigma_n = 1.010$$

$$Y_n = 0.5120$$

Se calcula $1/a$:

$$\frac{1}{a} = \frac{\sigma_x}{\sigma_n} = \frac{11.960}{1.010} = 11.84$$

Para un $T_r = 20$ años del cuadro N° 11, se obtiene:

$$Y = 2,970$$

Aplicando la fórmula del (1) se obtiene:

$$X_{,20} = 46.80 + 11.84 (2.970 - 05120)$$

$$X_{,20} = 75.90$$

Considerando una intensidad de lluvia de 6 horas, obtenemos en el cuadro Nº 13, un factor porcentual, que multiplicado por X,20, nos da la intensidad ajustada para las características de la cuenca del río Chico.

CUADRO Nº 13

INTENSIDAD AJUSTADA PARA RIO CHICO

HORAS	%
24	100
18	90
12	80
6	60
3	45
2	40
1	35

La intensidad ajustada será:

$$h_{6,20} = 75.90 * 0.60$$

$$h_{6,20} = 45.54$$

Cálculo del tiempo de concentración

Para calcular el tiempo de concentración, nos remitimos al cuadro Nº 14, donde se indica:

La superficie A en Km².

La longitud L en Km, medida a lo largo del cauce principal.

La cota del fondo del cauce Y msnm en la zona indicada.

La altitud media H msnm en la zona indicada.

La altitud media H_z en m. de cada cuenca respecto a la cota Y.

En base a estos datos ha sido posible deducir la dimensión que puede asumir el TIEMPO DE CONCENTRACION T_c , en cada cuenca considerada, mediante la formula de GIANDOTTI, aplicable para cuencas con superficies similares a las del área del proyecto y que además fué utilizada en el cálculo del proyecto original:

$$T_c = \frac{4A + 1.5L}{0.80 \text{ Hz}}$$

CUADRO N° 14

ELEMENTOS CARACTERISTICOS DE LA CUENCA DEL RIO CHICO

Zona	A (Km ²)	L (Km)	Y (msnm)	H (msnm)	Hz (m)	T _c (Hr)
Guadalupe	896	72,69	2.020	2.840	820	10,00
Mojotoro	1.452	84,13	1.930	2.730	800	12.25
Camos	2.072	116,47	1.590	2.720	1.130	13.30
Desemboc.	2.130	124,80	1.530	2.680	1.150	13.71

Cálculo del caudal máximo para el río Chico

En el caso del río Chico, la magnitud hidrológica que es necesario evaluar con mucha atención, es el caudal máximo de pico de avenida "Q", que se puede presentar con un período de retorno "Tr", igual a 20 años.

Para la estimación de los caudales máximos en el río Chico, se utilizaron dos métodos empíricos:

- 1º Método de la U.S. Soil Conservation Service.
- 2º Estimación de Caudales de Avenida por similitud hidrológica (Prof. Fabio Rossi).

Método empírico de la U.S. Soil Conservation Service

Este método para el cálculo de las avenidas máximas fue desarrollado por la U.S. Soil Conservation Service, utilizando criterios ya establecidos por esta, como el cálculo de la lluvia en exceso en base al parámetro N o número de curva de escurrimiento.

La parte medular del método radica en la utilización del cuadro N° 15, que es resultado de una serie de estudios llevados a cabo por el SCS, sobre las intensidades, duraciones y cantidades de lluvia que deben ser empleadas al calcular el gasto máximo de una avenida en determinado período de retorno.

El citado cuadro fue calculado para una duración de lluvia de 6 horas y relaciona el tiempo de concentración, con el llamado gasto unitario (q), cuyas unidades son: $m^3/sg/mm/km^2$.

Los rangos de aplicación del método del SCS se deducen del cuadro N° 15, sobre todo para tiempos de concentración de hasta 24 horas, ya que el método del SCS para la estimación de la lluvia en exceso (he) no tiene limitaciones.

CUADRO N° 15
GASTO UNITARIO EN FUNCION DEL TIEMPO DE
CONCENTRACION

T_c (Horas)	q (m³/seg/km²)	T_c (Horas)	q (m³/seg/km²)	T_c (Horas)	q (m³/seg/k²)
0.1 o menos	0.337	1.0	0.150	8	0.039
0.2	0.300	1.5	0.120	10	0.034
0.3	0.271	2.0	0.100	12	0.030
0.4	0.246	2.5	0.086	14	0.027
0.5	0.226	3.0	0.076	16	0.025
0.6	0.208	4.0	0.063	18	0.023
0.7	0.195	5.0	0.054	20	0.021
0.8	0.180	6.0	0.048	22	0.020
0.9	0.168	7.0	0.043	24	0.019

El resultado de la aplicación del método se sintetiza a continuación:

1. Se determina las siguientes características fisiológicas de la cuenca.

A = Superficie de la cuenca, km².

T_c = Tiempo de concentración en horas.

N = Número de curva de escurrimiento, para la condición media de la cuenca (ver anexo I).

2. Se calculan las lluvias con una duración de 6 horas y períodos de retorno de 20 años.

3. En base al número N de la cuenca, se calcula la lluvia en exceso para la intensidad de duración de 6 horas, para un período de retorno de 20 años, por medio de la siguiente fórmula:

$$h_e = \frac{(h_{6,20} - \frac{5080}{N} + 50.8)^2}{(h_{6,20} + \frac{20320}{N} - 203.2)}$$

Donde:

- h_e = Precipitación o lluvia en exceso, en mm.
 $h_{6,20}$ = Lluvia de duración 6 horas en mm. y determinado período de retorno ($T_r = 20$ años).

4. A partir del cuadro N° 15, y en función del tiempo de concentración, se determina el valor del gasto unitario (q), interpolando linealmente si es necesario.
5. Por último se multiplica el gasto unitario (q), la lluvia en exceso (h_e) y el área de la cuenca (A), para obtener el gasto máximo (Q), en m³/seg, esto es:

$$Q = q * h_e * A$$

Del cuadro N° 28 Anexo I para barbecho en condición II, N = 94.

CUADRO N° 16

ESTIMACION DE CAUDALES POR EL METODO S.C.S.

ZONA	A (km ²)	Tc (horas)	h 6,20 (mm)	he (mm)	q	Q (m ³ /seg)
Guadalupe	896	10.00	45.54	30.58	0.034	931.59
Mojotoro	1452	12.25	45.54	30.58	0.0296	1314.30
Camos	2072	13.30	45.54	30.58	0.0281	1780.47
Desembc.	2127	13.70	45.54	30.58	0.0275	1788.70

Estimación de los caudales de avenida en base a lluvias

Con la finalidad de comprobar la validez de los resultados obtenidos, se han deducido también los valores del caudal máximo de avenida Q 20, tomando como referencia las máximas alturas de lluvia que pueden caer sobre la cuenca definida en el río Chico.

Para este fin se han tenido en cuenta las conclusiones obtenidas en el estudio general realizado por el Prof. FABIO ROSSI de la Universidad de Nápoles.

En el citado estudio, considerando los datos hidrométricos y pluviométricos recolectados para los ríos y torrentes de Basilicata y comprobados los resultados también con datos bolivianos, se demuestra que para valores de T suficientemente grandes, una vez determinado el tiempo de retardo t_r de la cuenca, resulta:

$$Q = \frac{0.36 * h_{tr} * T_r * A}{t_r * 3.6}$$

En la fórmula, anterior h_{tr} , T_r , es el máximo valor que la altura de la lluvia h en el tiempo t_r puede asumir para un valor asignado de T_r

(período de retorno), en un punto ubicado a una altitud igual a la altitud media H de la cuenca. Así, procediendo sucesivamente para la cuenca definida por el río en estudio:

- Se considera el cálculo de t_r , T_r , para un tiempo de duración de 6 horas y un período de retorno de 20 años.
- Se calcula el tiempo de retardo t_r en función del tiempo de concentración t_c con la fórmula propuesta por el mismo ROSSI.

$$t_r = 1.63 * t_c 0.445$$

- Con los datos anteriores, se calcula Q_{20} en las zonas deseadas, como se muestra en el siguiente cuadro.

CUADRO N° 17

ESTIMACION DE CAUDALES EN BASE A LLUVIAS

ZONA	A (km ²)	L (km)	H (m)	T _c (horas)	t _r (horas)	h _{6,20} (mm)	Q (m ³ /seg)
Guadalupe	896	72.69	2840	10.00	4.54	45.54	898.76
Mojotoro	1452	84.13	2730	12.25	4.97	45.54	1330.46
Camos	2072	116.47	2720	13.30	5.16	45.54	1828.66
Desemboc.	2127	124.80	2680	13.70	5.22	45.54	1855.62

CUADRO N° 18

VALORES DE Q₂₀ DETERMINADOS POR AMBOS METODOS

ZONA	1 ^{era.} Q (m ³ /seg)	2 ^{da.} Q (m ³ /seg)
Guadalupe	931.59	898.76
Mojotoro	1314.30	1330.46
Camos	1780.47	1828.66
Desemboc.	1788.70	1855.62

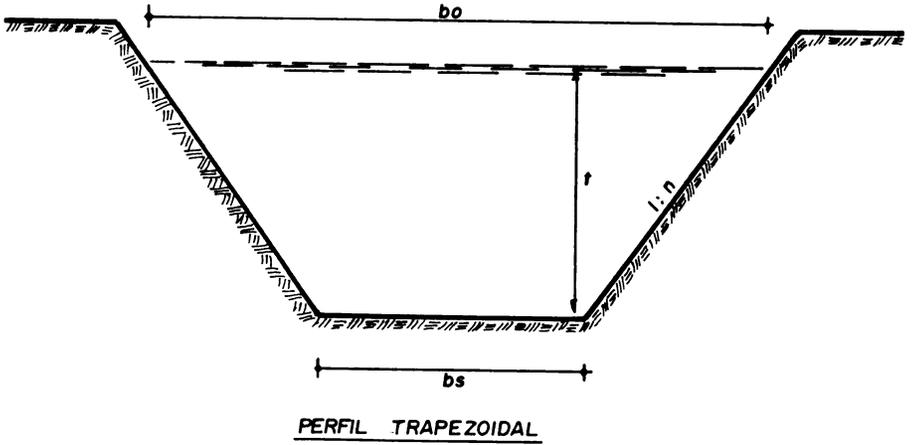
Para todos los calculos posteriores se utilizarán los caudales determinados por el segundo método.

9. CALCULO DE LOS TIRANTES MAXIMOS Y PROFUNDIDAD DE SOCAVACION

Características hidráulicas

Para obtener documentación que ofrezca las garantías necesarias para los trabajos de regulación de ríos, se realizaron levantamientos topográficos de terreno y la recopilación de datos técnicos de experiencias tanto del personal asignado al programa, como de beneficiarios de la zona para determinar lo siguiente:

1. Bajo qué condiciones hidráulicas tiene lugar el transporte de acarreos.
2. Bajo qué condiciones hidráulicas tiene lugar la erosión de fondo y de las riberas del río.
3. Bajo qué condiciones hidráulicas y geométricas del cauce puede asegurarse el estado de equilibrio en determinados tramos.

Relaciones geométricas**a. Sección trapecial sencilla,****Fig. N° 1***Fig. N° 1 Perfil trapecial*

Pendiente de los taludes:

$$n = \frac{b_0 - b_s}{2 t}$$

$$b_s = b_0 - 2 n t$$

$$b_0 = b_s + 2 n t$$

$$b_m = \frac{b_s + b_0}{2}$$

Donde:

b_0 = Ancho de la superficie (m).

b_s = Ancho en el fondo (m).

b_m = Ancho medio (m).

t = Tirante (m).

Otras relaciones son:

Area:

$$A = t * b_m$$

Perímetro mojado:

$$U = b_s + 2t\sqrt{1 + n^2} = b_0 - 2nt + 2t\sqrt{1 + n^2}$$

Radio hidráulico:

$$R = \frac{A}{U}$$

Para secciones anchas, $b_0 > 30$ m., rige:

Tirante medio

$$t_m = \frac{A}{b_0}$$

Para las cargas de acarreo rigen los valores señalados con el índice "S".

$$R_s = \frac{A_s}{b_s} = \frac{t A_s}{A} = \frac{t b_s}{U} = \frac{t Q_s}{Q}$$

$$Q_s = \frac{Q b_s}{U}$$

b. Perfil Normal (de regularización).

El perfil normal se determina sobre cálculos basados en la pendiente, las características del lecho y del caudal del río. El perfil debe ser, en primer lugar, lo suficientemente amplio para garantizar el escurrimiento de las aguas, el transporte de los acarreo y evitar la erosión del fondo del cauce. Además de estos cálculos teóricos, debe consultarse a la naturaleza y orientarse, por consiguiente, en los tramos que han alcanzado un equilibrio.

De la fórmula de MANINGG STRICKLER:

$$V_m = K_s * R^{2/3} * J^{1/2}$$

Donde:

V_m = Velocidad media (m/seg.)

R = Radio hidráulico (m)

J = Pendiente

K_s = Coeficiente de rugosidad que depende del lecho natural del río

CUADRO N° 19
VALORES PARA K_s

	K_s
• Lechos naturales de río con fondo sólido sin irregularidades	40
• Lechos naturales de río con acarreo regular	33 - 35
• Lechos naturales de río con vegetación	30 - 35
• Lechos naturales de río con derrubio e irregularidades	30
• Lechos naturales de río con fuerte transporte de acarreo	28
• Torrentes con derrubios gruesos (piedra del tamaño de una cabeza) con acarreo inmóvil.	25 - 28
• Torrentes con derrubio grueso, con acarreo móvil	19 - 22

Fuente: BRETSCHNEIDER, curso sobre regulación de ríos.

En los ríos naturales los valores K_s no son constantes, sino que dependen del caudal instantáneo. Muchas veces el fuerte movimiento de la materia sólida con la crecida, causa una nivelación de las irregularidades del fondo, por lo cual se disminuyen las pérdidas de corriente, es decir, sube el valor de K_s .

Sin embargo, generalmente se evalúa la fórmula de MANNING STRICKLER bajo las condiciones $K_s = \text{constante}$.

Tirantes máximos y anchos permisibles

Del cuadro N° 19 tomamos $K_s = 22$, por considerar al río Chico como un clásico torrente de montaña, con derrubio y acarreo móvil.

En las secciones críticas del río Chico donde se han calculado los caudales máximos, se tomaron las medidas del ancho del lecho y las pendientes correspondientes, para el cálculo de los tirantes, cuyos datos obtenidos se muestran en el cuadro N° 20.

$$V_m = K_s * R^{2/3} * J^{1/2}$$

$$Q = V_m * A$$

$$Q = b_0 * t (k_s * t^{2/3} * J^{1/2})$$

$$Q = k_s * b_0 * t^{5/3} * J^{1/2}$$

$$t = \left(\frac{Q}{k_s * b_0 * J^{1/2}} \right)^{3/5}$$

CUADRO N° 20

DETERMINACION DEL TIRANTE Y ANCHO PERMISIBLE DEL ALVEO

ZONA	Q20	Jr	b0	t
Guadalupe	898.76	0.01	140	1.90
Mojotoro	1330.46	0.01	150	2.31
Camos	1828.66	0.01	170	2.59
Desemboc.	1855.62	0.01	170	2.61

Profundidad de socavación

Para establecer la socavación, es aplicable el método propuesto por L.L. LIST VAN LEBEDIEV, orientado a cauces naturales definidos, aunque es preciso tener en cuenta los siguientes conceptos:

Es necesario evaluar la erosión máxima esperada en una sección, al pasar un gasto de diseño o de interés singular Q , al cual se le atribuye una cierta recurrencia o tiempo de retorno.

En esta teoría, la fórmula de la velocidad considerada erosiva, que es la velocidad media capaz de degradar el fondo, se expresa por:

$$V_e = 0.60 * \delta_s^{1.18} * B * t_s^x$$

Donde:

V_e = Velocidad erosiva (m/seg.)

δ_s = Densidad del suelo seco que se encuentra a la profundidad H_s en (Ton/m³)

B = Coeficiente que depende de la frecuencia con que se repite la avenida que se estudia y cuyo valor se transcribe en el cuadro N^o 24

t_s = Tirante que corresponde a la profundidad a la que se desea evaluar V_e

x = Exponente característico para material no cohesivo transcrito en el cuadro N^o 25

El mismo cuadro incluye valores de $1/(1+x)$, aplicables a las determinaciones, como extensión de estos criterios a los casos en que se alcanzan estados de equilibrio en función del diámetro D característico en granos.

CUADRO Nº 21
COEFICIENTE B PARA SOCAVACION

Probabilidad anual de que se presente el gasto de diseño.	B Coeficiente
00	0.77
50	0.82
20	0.86
10	0.90
5	0.94
2	0.97
1	1.00
0.3	1.03
0.2	1.05
0.1	1.07

Fuente: Apuntes de hidráulica fluvial. Picandet Kreimer

CUADRO N° 22
TABLA DE VALORES X - 1/(X+1)

SUELOS COHESIVOS			SUELOS NO COHESIVOS		
Pes. Especf. (T/m ³)	X	1/(x+1)	D (mm)	X	1/(x+1)
0.80	0.52	0.66	0.05	0.43	0.70
0.83	0.51	0.66	0.15	0.42	0.70
0.86	0.50	0.67	0.50	0.41	0.71
0.88	0.49	0.67	1.00	0.40	0.71
0.90	0.48	0.67	1.50	0.39	0.72
0.93	0.47	0.68	2.50	0.38	0.72
0.96	0.46	0.68	4.00	0.37	0.73
0.98	0.45	0.69	6.00	0.36	0.74
1.00	0.44	0.69	8.00	0.35	0.74
1.04	0.43	0.70	10.00	0.34	0.75
1.08	0.42	0.70	15.00	0.33	0.75
1.12	0.41	0.71	20.00	0.32	0.76
1.16	0.40	0.71	25.00	0.31	0.76
1.20	0.39	0.72	40.00	0.30	0.77
1.24	0.38	0.72	60.00	0.29	0.78
1.28	0.37	0.73	90.00	0.28	0.78
1.34	0.36	0.74	140.00	0.27	0.79
1.40	0.35	0.74	190.00	0.26	0.79
1.46	0.34	0.75	250.00	0.25	0.80
1.52	0.33	0.75	310.00	0.24	0.81
1.58	0.32	0.76	370.00	0.23	0.81
1.64	0.31	0.76	450.00	0.22	0.83
1.71	0.30	0.77	570.00	0.21	0.83
1.80	0.29	0.78	750.00	0.20	0.83
1.89	0.28	0.78	1.000.00	0.19	0.84
2.00	0.27	0.79			

Fuente: Apuntes de hidráulica fluvial. Picandet Kreimer

En la aplicación que puede referirse a las consecuencias derivadas de acciones artificiales, tales como estrechamientos de cauce, lineamientos correctivos, presencia de singularidades con alternativas locales, tales como puentes, se opera con suelos cohesivos y rugosidad uniforme, a partir de la expresión precedente y considerando un ancho contraído b_0 y tirante líquido inicial t .

$$Q = K_s * b_0 * t^{5/3} * J^{1/2}$$

$$Q = a * t^{5/3} * b_0$$

$$a = \frac{Q}{t^{5/3} * b_0}$$

La velocidad real V_r con profundidad incrementada hasta t_s disminuirá de modo que:

$$Q = V_r * t_s * b_0 = a * t^{5/3} * b_0$$

Obteniéndose de esta manera:

$$V_r = \frac{a * t^{5/3}}{t_s}$$

La erosión se detendrá cuando a una profundidad alcanzada se cumpla la condición de equilibrio:

$$V_e = V_r$$

Lo cual se verifica según la expresión

$$0.6 * \delta_s^{1.18} * B * t_{sx} = \frac{a * t^{5/3}}{t_s}$$

De donde tenemos que:

$$t_s^{(x+1)} = \frac{a * t^{5/3}}{0.6 * \delta_s^{1.18} * B}$$

Resultado de esta manera:

$$t_s = \left(\frac{a * t^{5/3}}{0.6 * \delta_s^{1.18} * B} \right)^{\frac{1}{(x+1)}}$$

La aplicación de esta teoría a suelos no cohesivos:

La velocidad de equilibrio se expresará:

$$V_e = 0.68 * D_m^{0.28} * B * t_s^{(x+1)}$$

manteniendo V_r según las expresiones anteriores resulta:

$$t_s = \left(\frac{a * t^{5/3}}{0.68 * D_m^{0.28} * B} \right)^{\frac{1}{(x+1)}}$$

Para sedimentos cohesivos, la capacidad alcanzada a través del tiempo de asentamiento en texturas plásticas, aumenta la resistencia al esfuerzo de corte.

El caso que nos ocupa pertenece a la clasificación de suelos cohesivos, luego, la profundidad de socavación será:

$$h_s = t_s - t$$

A continuación definimos en el cuadro N° 23, todos los elementos característicos para determinar la profundidad de socavación para las zonas definidas en el río Chico.

Tómese los valores siguientes: (ver anexo II)

$$\begin{aligned} \delta_s &= 1.83 \text{ T/m}^3 \text{ Grava de cantos rodados} \\ B &= 0.82 \text{ (50\% de que se presente el gasto de diseño)} \\ 1/(x+1) &= 0.83 \end{aligned}$$

CUADRO N° 23

DETERMINACION DE LA PROFUNDIDAD DE SOCAVACION

ZONA	Q20 (m ³ /seg)	t (m)	bo (m)	a	ts (m)	hs (m)
GUADALUPE	898.76	1.90	140	2.20	4.66	2.76
MOJOTORO	1330.46	2.31	150	2.20	6.11	3.80
CAMOS	1828.66	2.59	170	2.20	7.15	4.56
DESEMBOCADURA	1855.62	2.61	170	2.21	7.23	4.62

Como consecuencia del cálculo anterior, cuyos resultados se muestran en el cuadro N° 23, para el río Chico en cada una de sus zonas, se determina una longitud de base antisocavante de 4.0 m., 5.0 m., 5.0 m. y 6 m, respectivamente.

10. OBRAS LONGITUDINALES PARA RECUPERACION DE TIERRAS

Descripción

La mayor parte de la población de la zona de Río Chico está asentada en las márgenes del río y consecuentemente se encuentra amena-

zada por las inundaciones, sobre todo cuando en la crecida de las aguas, estas invaden las partes bajas. Estas poblaciones necesitan proteger sus vegas en forma económica y rápida, y las estructuras longitudinales son una buena opción.

Las obras longitudinales se constituyen sobre el margen la ribera a ser recuperada, para desviar el flujo principal, al lecho proyectado en la ribera opuesta y mantenerla en ella. Estas obras consisten en defensas o barreras construídas sobre el lecho primitivo, que en su primera fase de construcción alcanzan longitudes entre 100 y 200 metros de colchoneta, con una primera, segunda y tercera elevación según sus necesidades.

Estas obras longitudinales, generalmente en su primera fase, son estructuras que tienen agua por ambos lados, pero al estrechar la corriente se provoca el aumento de la fuerza de arrastre en el lecho y como consecuencia, se produce una profundización del fondo en la zona encauzada, razón por la cual al construir una defensa, se toma en cuenta el poder erosivo de la corriente en la base de esta.

Debido a estos efectos, las obras longitudinales deben tener cierta flexibilidad por el lado del lecho del río, a fin de que se adapten siempre al suelo de fundación y se eviten las socavaciones excesivas provocadas por la profundización de la corriente.

Al mismo tiempo que se forma el nuevo lecho, se realiza la colmatación por sedimentación de los terrenos situados detrás de la obra longitudinal. Los trabajos se organizan de tal manera que por una parte, favorezcan la entrada del agua cargada de sedimentos hacia las zonas situadas detrás del defensivo y por otra, impidan que se produzcan en él, corrientes que puedan estorbar la sedimentación. Es importante organizar los trabajos de manera que el agua misma efectúe todos los transportes de tierras.

El extremo superior de la obra longitudinal se empotra fuertemente con la antigua orilla, para favorecer la estabilidad pero al mismo tiempo se deja un espacio para ejecutar obras de riego, que favorecen la sedimentación. En el área recuperada se construyen obras transver-

sales o traviesas, para dificultar la formación de corrientes que transporten acarreo detrás del defensivo.

Si las obras transversales son desbordables, la cara posterior se construye de modo que no pueda ser socavada por el agua que por ella se precipite. Para este propósito se utilizan materiales existentes en la zona, como ramas o arbustos.

La sedimentación detrás de la obra longitudinal y entre las traviesas, se tiene que proteger contra los arrastres que podría ocasionar la formación de corrientes; esta protección se efectúa por medio de líneas de plantones de mimbre, paralelas a las traviesas y posteriormente en todo el terreno, para proteger y favorecer la sedimentación de lúgamos.

En lugares donde no es posible provocar la sedimentación por desborde de las aguas a través de la defensa longitudinal, el agua con alto grado de material en suspensión, es encauzada por canales a los diferentes sectores del área recuperada, formando lagunas de sedimentación entre el muro longitudinal, la orilla y las obras transversales.

Selección del tipo de defensivo

Para la selección del tipo de estructura y del material a ser utilizados en los defensivos, es esencial tener en cuenta las experiencias adquiridas en la utilización de estructuras para propósitos afines.

También hay que tener en cuenta el tipo de flujo donde se han usado, y la corriente que van a enfrentar, diferencias del material de arrastre, transporte de sedimentos, tipos de suelos, característica de los taludes, velocidad de descarga, fuerza de la corriente, etc. De todos estos factores dependerá la resistencia y comportamiento de la estructura, para un buen funcionamiento.

Los suelos de río Chico tienen baja capacidad de soporte, lo que encarece enormemente los costos de fundación de obras tradicionales (estructuras de tipo rígido). El uso de gaviones permite superar este problema porque se trata de estructuras de tipo flexible, que reducen considerablemente los costos.

Un factor determinante para la selección del tipo de defensivos, es la existencia de materiales locales y la facilidad para conseguirlos. También los costos de construcción son un parámetro importante, así como el tiempo disponible para construirlos.

El proyecto escogió un tipo de estructura que fuera capaz de cumplir con las exigencias mencionadas anteriormente, denominándose a esta estructura: "defensivos longitudinales gavionados".

El término "defensivos longitudinales", indica generalmente obras lineales que son dispuestas paralelamente al eje de la corriente (flujo).

Es fácil comprender porqué las estructuras de gaviones tienen un gran empleo en las obras de revestimiento en los cursos de agua, sean estos naturales o artificiales, ya que poseen, entre otras, tres características de gran utilidad para esta aplicación: la flexibilidad, la permeabilidad y la resistencia que ofrece por su conformación monolítica.

Otros factores que han determinado la selección de este tipo de estructura, por la participación campesina en el proyecto son: La facilidad de ejecución y de funcionamiento inmediato. Los gaviones son fáciles y rápidos de armar y pueden ser ejecutados tanto en lugares secos como en presencia de agua, evitando de esta manera obras secundarias como desvíos de la corriente, operaciones de bombeo, excavaciones para fundaciones, etc. Por otra parte, las obras de gaviones no requieren de mano de obra especializada y las estructuras funcionan tan pronto las diversas piezas se encuentran rellenas y unidas entre sí. Además, la obra puede ser modificada o ampliada en función de los cambios en las condiciones locales y la estructura resultante mantiene inalteradas sus características de homogeneidad y resistencia.

No hay que desestimar la repercusión que tiene la utilización de mano de obra no calificada de los campesinos adjudicatarios de las tierras recuperadas, pues ha colaborado a disminuir la migración de los beneficiarios a otras áreas fuera del Departamento.

Todos estos argumentos fueron analizados antes de tomar la decisión de utilizar estas estructuras en el programa de recuperación de tierras del proyecto de desarrollo agropecuario Norte Chuquisaca.

Presentación de los gaviones

El término gavión procede del latín Cavea, que significa jaula, cajón o canasta.

Los primeros gaviones se utilizaron entre los egipcios y chinos, que confeccionaban jaulas de mimbre y bambú rellenas con piedras, para contención del agua en las orillas de los ríos Nilo y Amarillo.

El gavión en su versión moderna, fue creado y desarrollado por la Oficina Maccaferri de Bologna (Italia), que en 1893 lo utilizó en la protección de las orillas del río Reno, obra donde hasta el día de hoy los gaviones continúan realizando su trabajo con eficacia.

Las estructuras construídas en base a gaviones son la solución ideal para mantener inalterada la ecología de cualquier región. El gavión, después de fabricado, sólo requiere ser llenado con piedras (por mano de obra no especializada) y amarrado a sus adyacentes, para constituirse en una estructura consolidada.

Descripción básica de los gaviones

El gavión galvanizado es un elemento con forma de prisma rectangular con paredes constituidas por red metálica fuertemente galvanizada, con mallas hexagonales a doble torsión, que se llena con grava o material rocoso de tamaño apropiado.

Todos los bordes, ya sea de la pieza central y de las marginales, son reforzados con alambre de hierro galvanizado de diámetro más grande.

Esta ingeniosidad, además de fortalecer notablemente la estructura metálica, facilita el empleo de los gaviones, permitiendo la confec-

ción de cajas regulares bien encuadradas y por tanto la perfecta alineación de los elementos con buen efecto estético.

Esta operación de juntar entre sí varios elementos por medio de costuras resistentes, es indispensable para volver la obra de gaviones monolítica y ponerla en condición de tolerar fuertes deformaciones sin perder nada de su eficiencia.

Los gaviones en forma de caja, en sus medidas tipo y convenientemente colocados y amarrados son idóneos para cualquier tipo de estructura hidráulica que un técnico pueda proyectar.

Características técnicas

Los gaviones se definen técnicamente por:

- Las dimensiones de la caja. Estas pueden ser $3 \times 1 \times 1$, $2 \times 1 \times 1$, $3 \times 1 \times 0.5$, $2 \times 1 \times 0.5$ o cualquier otra dimensión que requiera el proyectista, expresada en metros.
- Las dimensiones del hexágono de la malla a doble torsión.
- El diámetro y recubrimiento galvanizado del alambre expresado en milímetros.
- El diámetro del alambre de borde.

Dimensiones de la malla y especificaciones

La malla de forma hexagonal puede tener diversas dimensiones. Las más empleadas en nuestro medio son, de 100 mm x 120 mm; de 80 mm. x 100 mm; y de 60 mm x 80 mm.

La doble torsión es adoptada y recomendada por los constructores para evitar los inconvenientes detectados en el uso de la malla de gavión de torsión simple. La doble torsión evita que la malla se desarme si algún alambre se corta accidentalmente, o si es necesario cortar la malla para hacer pasar a través de ella una tubería.

Por otra parte, la cantidad de alambre de amarre que se suele utilizar, es del 6 al 8 % del peso del gavión con un diámetro igual a 2.2 mm.

Recubrimiento y calidad del alambre

El fenómeno de la corrosión reduce notablemente la vida útil de la malla de alambre, aspecto que debe tenerse siempre presente para realizar una estimación aceptable de la vida de una estructura de gaviones y su consiguiente valoración económica.

El efecto de la corrosión varía notablemente de un lugar a otro, según la agresividad del ambiente. En general se pueden establecer cuatro ambientes típicos donde se utilizan estructuras de gaviones con distintos efectos.

CUADRO N° 24
EFEECTO DE CORROSION

UBICACION	EFEECTO
AMBIENTE RURAL	BAJA CORROSION
AMBIENTE URBANO	MODERADA CORROSION
AMBIENTE MARITIMO	ALTA CORROSION
AMBIENTE INDUSTRIAL	MAYOR CORROSION

Fuente: Maccaferri

El recubrimiento disminuye con el tiempo debido a los siguientes factores:

- Ambiente en que se encuentran.
- Abrasión provocada por el material en suspensión y rodado, en la base antisocavante y las paredes del muro.
- Acción del agua.
- Tensión a la que está sometido el alambre.

Considerando estos efectos podemos estimar la vida útil del recubrimiento de zinc. A continuación presentamos información indicativa de la vida útil del recubrimiento según ambientes, que sin embargo está sujeta a variaciones.

CUADRO N° 25

CUADRO DE VIDA UTIL DEL RECUBRIMIENTO

AMBIENTE	TIPO DE MALLA (mm.)	
	60 x 80	80 x 100
• RURAL	35 AÑOS	45 AÑOS
• URBANO	15 AÑOS	18 AÑOS
• MARITIMO	11 AÑOS	13 AÑOS
• INDUSTRIAL	4 AÑOS	5 AÑOS

Fuente: Maccaferri

Cuando es posible obtener muestras de agua y analizar su PH, se puede determinar con cierta certeza cómo atacará ésta al alambre. Un agua con PH = 8.8, prácticamente no afecta a la corrosión del zinc. Si dicho PH está dentro del rango comprendido entre 5.7 y 12. 2, la corrosión del zinc será aún reducida.

En caso de existir condiciones altamente corrosivas, se debe usar un revestimiento de P.V.C. sobre el galvanizado. Este tratamiento es una solución económica para evitar el deterioro del alambre en zonas costeras y en algunas áreas industriales.

Calidad del alambre: en la malla de 80 x 100 mm, se utiliza un alambón SAE 1010 de bajo contenido de carbono, lo que da una resistencia de 45 Kg/mm².

El alambre de amarre es de 2.2 mm. de diámetro, blando, triple galvanizado y dúctil que permite mejor rendimiento en el cocido.

La galvanización es el factor de mayor importancia para la duración de los gaviones. La mínima capa de zinc en todos los alambres es de 250 gr/m². El galvanizado deberá ser resistente a la abrasión, golpes, torsión, oxidación, lo que se consigue con un galvanizado en que el zinc esté fundido en el acero para tener una buena adherencia.

Ejecución de estructuras gavionadas

Material de relleno

Por ser el gavión una estructura que actúa principalmente por gravedad, el mejor material de relleno es aquel que permitiendo la flexibilidad, asegura un máximo de peso. Además, la roca debe cumplir ciertas condiciones de durabilidad, debe ser resistente a la corrosión química, atmosférica y mecánica. No debe pues ser degradada por el flujo del agua a través del gavión ni por golpes de roca en suspensión.

Existen varios tipos de roca que cumplen las especificaciones anteriores, pero el más utilizado es el canto rodado de los ríos.

El peso específico del gavión depende del peso específico del material de relleno y del porcentaje de huecos en el interior del gavión.

La relación que nos da este valor es de la siguiente forma:

$$\delta_g = \delta_p (1 - n)$$

Donde:

δ_g = Peso específico del gavión

δ_p = Peso específico de la roca de relleno

n = % de huecos/100

Armado e instalación

Los gaviones se presentan en paquetes, marcados cada uno con colores que corresponden a una determinada dimensión. En el lugar de trabajo la estructura metálica se desdobra y se extiende en el suelo. Alzando las paredes y cosiendo las aristas verticales con el alambre apropiado se obtienen las cajas. Dichas costuras son ejecutadas en modo continuo, pasando el alambre por todos los huecos de las mallas con doble vuelta cada dos huecos.

Después de preparado un cierto número de gaviones en forma de caja y reunidos en grupos, en número que varía según las posibilidades de ejecución, se colocan en su correspondiente ubicación, según el diseño, bien atados entre sí por medio de resistentes costuras a lo largo de todas las aristas en contacto.

Para realizar la costura se coloca el alambre de forma continua por los huecos de las mallas (lasadas), con doble vuelta por cada dos huecos (anillo).

Todos los gaviones deben ir amarrados entre sí, tanto los que son adyacentes como los que están superpuestos por anillos o grampas hechas con el mismo alambre. El tamaño de las piedras será siempre mayor al de la malla. Es conveniente amarrarlos entre sí antes de rellenarlos para facilitar de esta manera la operación de costura.

Si la altura de los gaviones es de 1 metro, se deben colocar tirantes en el interior de estos, con el fin de evitar una excesiva deformación en las cajas, con el consiguiente amontonamiento de pedriscos y tener paredes lisas.

Los tirantes se colocan a 30 cm. de los bordes superior e inferior. En los gaviones de 50 cm. de altura es necesario colocar tirantes a 25 cm. del borde superior.

Los tirantes pueden ser colocados en forma horizontal o vertical, según su forma y función, de acuerdo a las necesidades en las distintas partes de la obra. Los tirantes verticales se utilizan por costumbre en los zampeados o en los revestimientos con gaviones sin diafragma altos de 0.50 mts. o 0.30 mts. mientras los tirantes horizontales se emplean, como ya se dijo, con todos los gaviones altos de 1.0 mts.

La etapa de llenado con piedras es el paso más importante en la construcción de la estructura de gaviones, pues de ella depende su estabilidad. El tamaño de la piedra está directamente relacionado con el porcentaje de huecos en el gavión y por lo tanto con el peso específico y la capacidad de soporte de cada bloque.

A mayor tamaño de las piedras de relleno es mayor el porcentaje de huecos y menor el peso específico obtenido. Por lo tanto, se recomienda que los gaviones colocados en la base de una obra (llamada colchoneta, que es el elemento que más se deforma) sean llenados con piedras más pequeñas.

Propiedades de las estructuras con gaviones

En la ejecución de estructuras gavionadas se han podido comprobar las siguientes propiedades:

1. **Flexibilidad:** El material no es rígido y adopta la forma del suelo de fundación y se adapta a las socavaciones o asentamientos provocados por erosión, sin comprometer la estabilidad de la obra.

1 Asegúrese que el gavión quede bien plano

Desdoble cada gavión sobre una superficie rígida y plana. Tire todos los irregulares, rídeles.

2 Doble los paneles de todo y de fondo para formar una caja

Une los cantos superiores con los hilos gruesos que salen de los mismos.

COMO COLOCAR LOS GAVIONES

3

Fije el hilo de amarra de la unión entre los cantos superiores de los paneles. Costure los carritos con vuelta simple y doble a cada 10 cms.

Amarre varios gaviones y colócelos en posición junto a los que ya colocados.

Los gaviones están completos.

MUY IMPORTANTE

1. 2. 3. ...

J A L E

Después de colocados varios gaviones en posición antes de llenarlos J A L E fuerte.

6 LLENAR ... EN 3 VECES

Los tirantes son fijados internamente cuando el gavión está lleno hasta 1/3 y 2/3.

Llene los gaviones hasta 1/3 de capacidad total

COMO FIJAR LOS TIRANTES

Coloque los tirantes por encima de las piedras, fijando las a los mallas del gavión, después enrollalos entre sí con una piedra para evitar el desenroscamiento.

... DESPUES ...

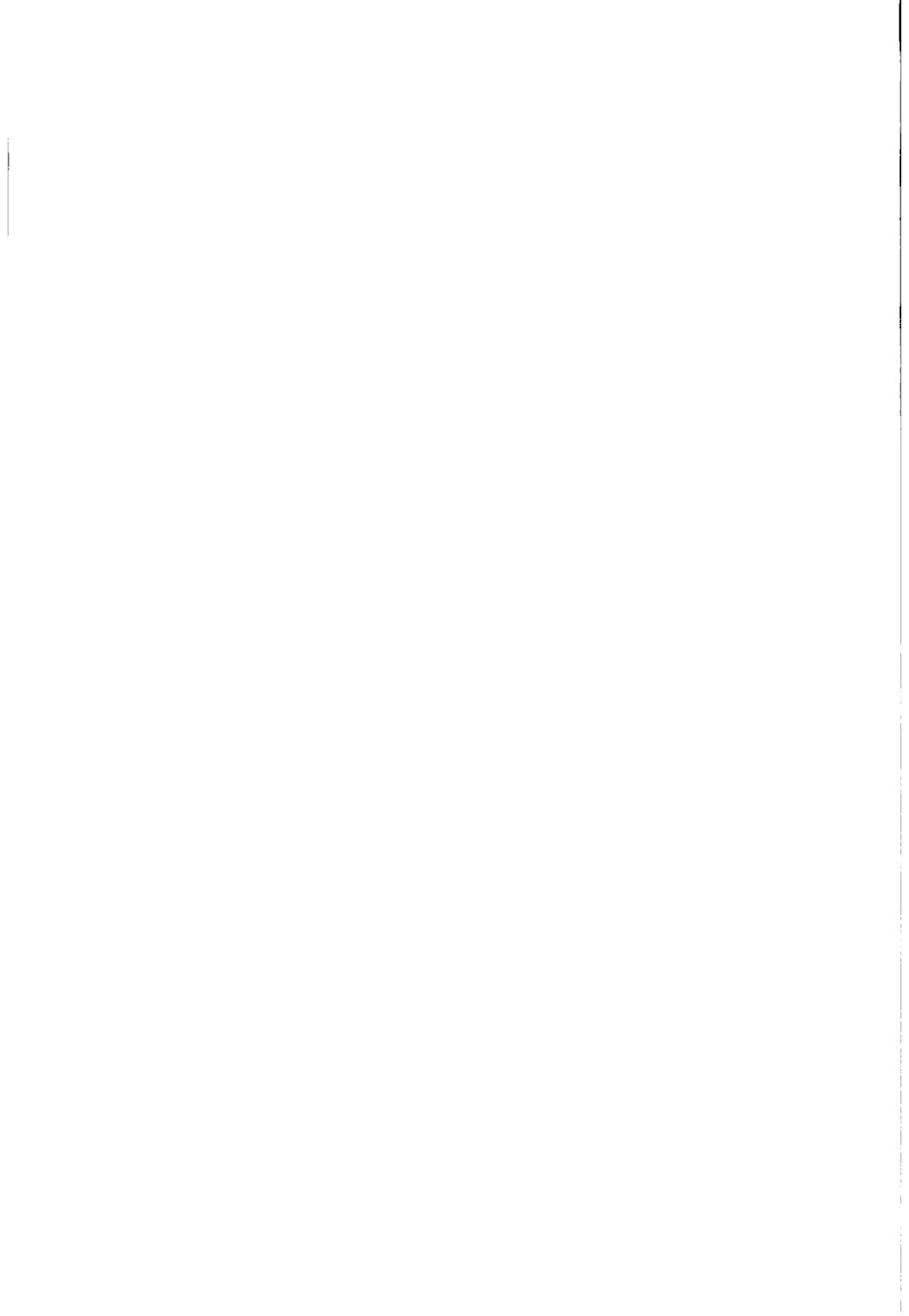
Fije los tirantes y llene hasta 2/3 de capacidad total

... DESPUES ...

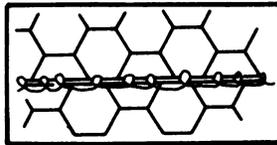
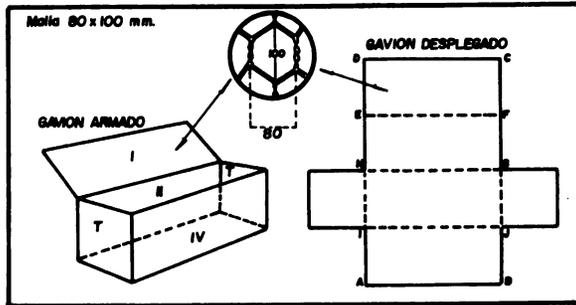
Fije otros tirantes y acabe de llenar hasta 3 x 5 cm. encima de la altura del gavión

Doble los tapos y amarre

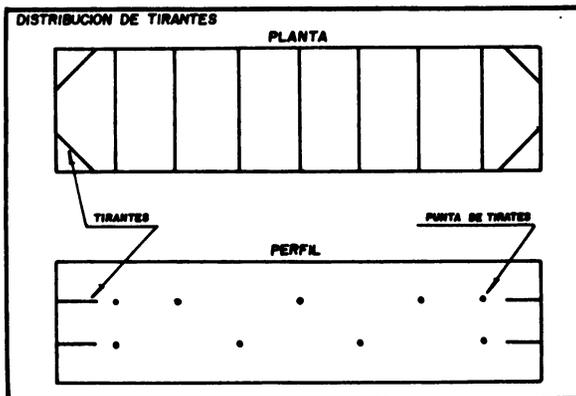
Los Gaviones están completos

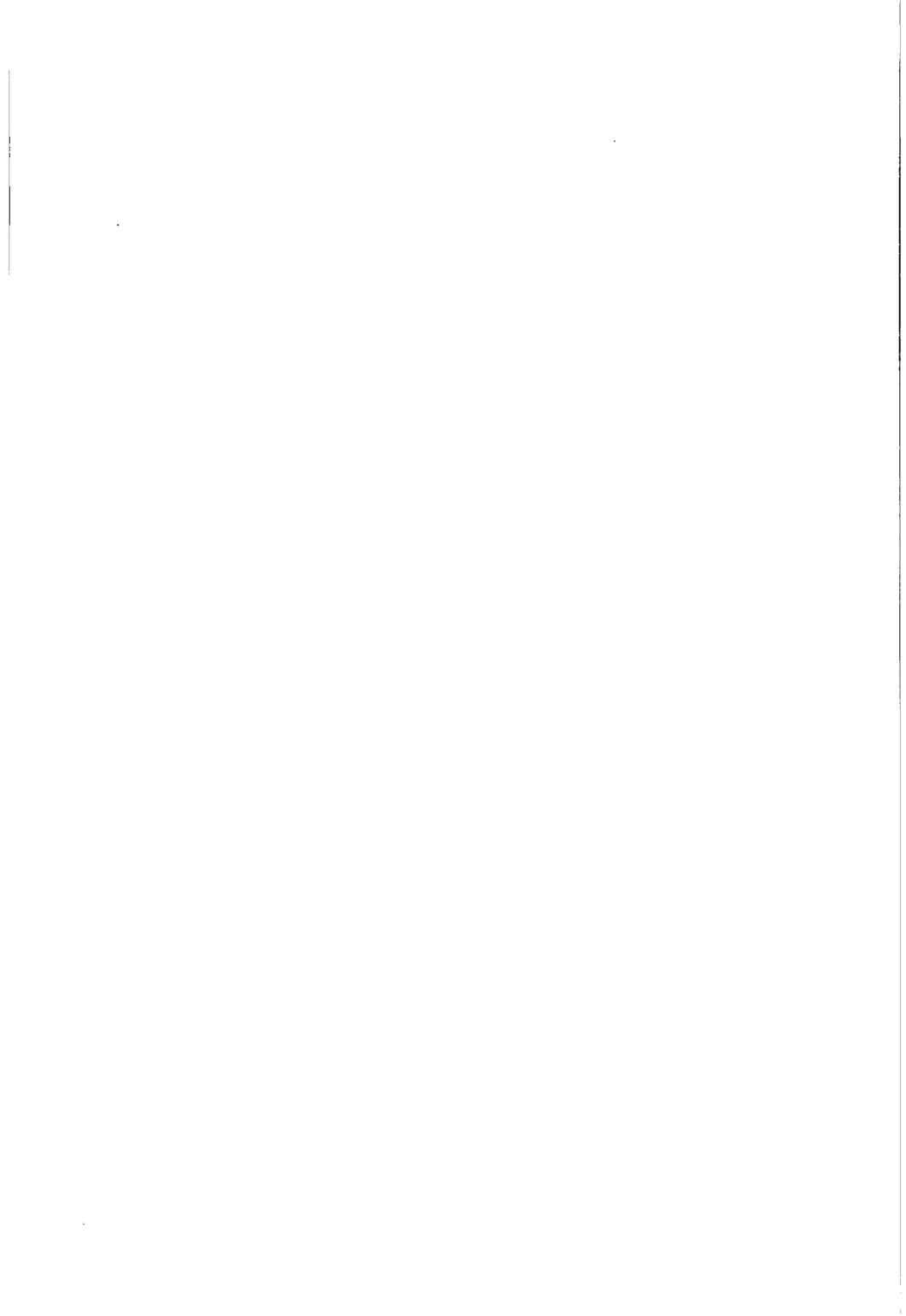


DETALLE DE ARMADO E INSTALACION



COSTURA DE GAVIONES





2. **Resistencia:** La malla de alambre galvanizado posee la resistencia y la flexibilidad necesaria para soportar las fuerzas producidas por el agua y las masas de la tierra. Los gaviones están provistos de diafragmas o separaciones interiores que no permiten que las piedras se desplacen dentro del gavión, contribuyendo de esta manera a formar una estructura más estable y sólida.
3. **Economía:** Las estructuras gavionadas son más económicas que las estructuras rígidas porque se puede utilizar mano de obra no calificada, y elementos rústicos de fácil disponibilidad (grava y piedra).

Como alternativa frente al concreto u hormigón ciclópeo, los gaviones presentan una estabilidad similar, a un costo menor.

4. **Permeabilidad:** Un muro de gaviones es permeable, lo que permite descargar las presiones hidrostáticas y estabilizar una pendiente, por la acción continua de drenaje y retención de partículas sólidas.
5. **Conservación del paisaje:** Como los gaviones permiten el crecimiento de vegetación se incorporan al medio ambiente que los rodea.
6. **Simplicidad de las obras:** Las obras de gaviones son siempre de una concepción simple. Los módulos del material imponen un sobredimensionamiento algunas veces y formas geométricas estandar.

Los gaviones presentan limitaciones cuando se utilizan en obras que requieren una larga vida útil, por la durabilidad de la malla de alambre, así como por la necesidad de disponer de abundante material de relleno en el lugar de la obra.

11. DISEÑO DE ESPIGONES CON ESTRUCTURAS GAVIONADAS

Principios básicos de construcción

Para construir una obra de protección de gaviones, se debe considerar previamente los siguientes aspectos:

- a. Deformabilidad
- b. Capacidad de soporte del suelo
- c. Estabilidad
- d. Construcción de la base antisocavante

Deformabilidad de la obra

Si consideramos que cada bloque actúa como un elemento aislado, la deformabilidad queda garantizada en el gavión de acuerdo a datos experimentales, para soportar hasta 5 Ton/m³.

Vale decir que un cubo de 1mx1mx1m podrá soportar hasta 5 toneladas de peso. Esto equivale a 0.5 kg/m² sobre la base del gavión. Si consideramos:

$$\begin{aligned} \delta_p &= 2.6 \text{ Ton/m}^3 \\ n &= 0.30 \text{ porcentaje de huecos} \\ \delta_g &= 2.6 (1 - 0.30) \\ \delta_g &= 1.82 \text{ Ton/m}^3 \end{aligned}$$

Tendríamos que la altura admisible sería:

$$5/1.82 = 2.75 \text{ m. de altura}$$

Para construir obras de mayor altura, se deberá contemplar la construcción de muros con escalonamiento progresivo hacia la base, lo cual permite distribuir el peso en una superficie mayor.

Capacidad de soporte del suelo

Para determinar la capacidad de soporte del suelo, se debe recurrir al cálculo de este valor mediante el METODO DE TERZAGHI, que se detalla en el Anexo II.

Cuando se trata de obras pequeñas y se está en condiciones de reconocer con certeza el tipo de terreno, se puede recurrir a valores de construcción para cimientos continuos.

Los terrenos de fundaciones no deberán soportar presiones superiores a las que más adelante se indican, cuando se trate de cimientos continuos (ver cuadro N° 26).

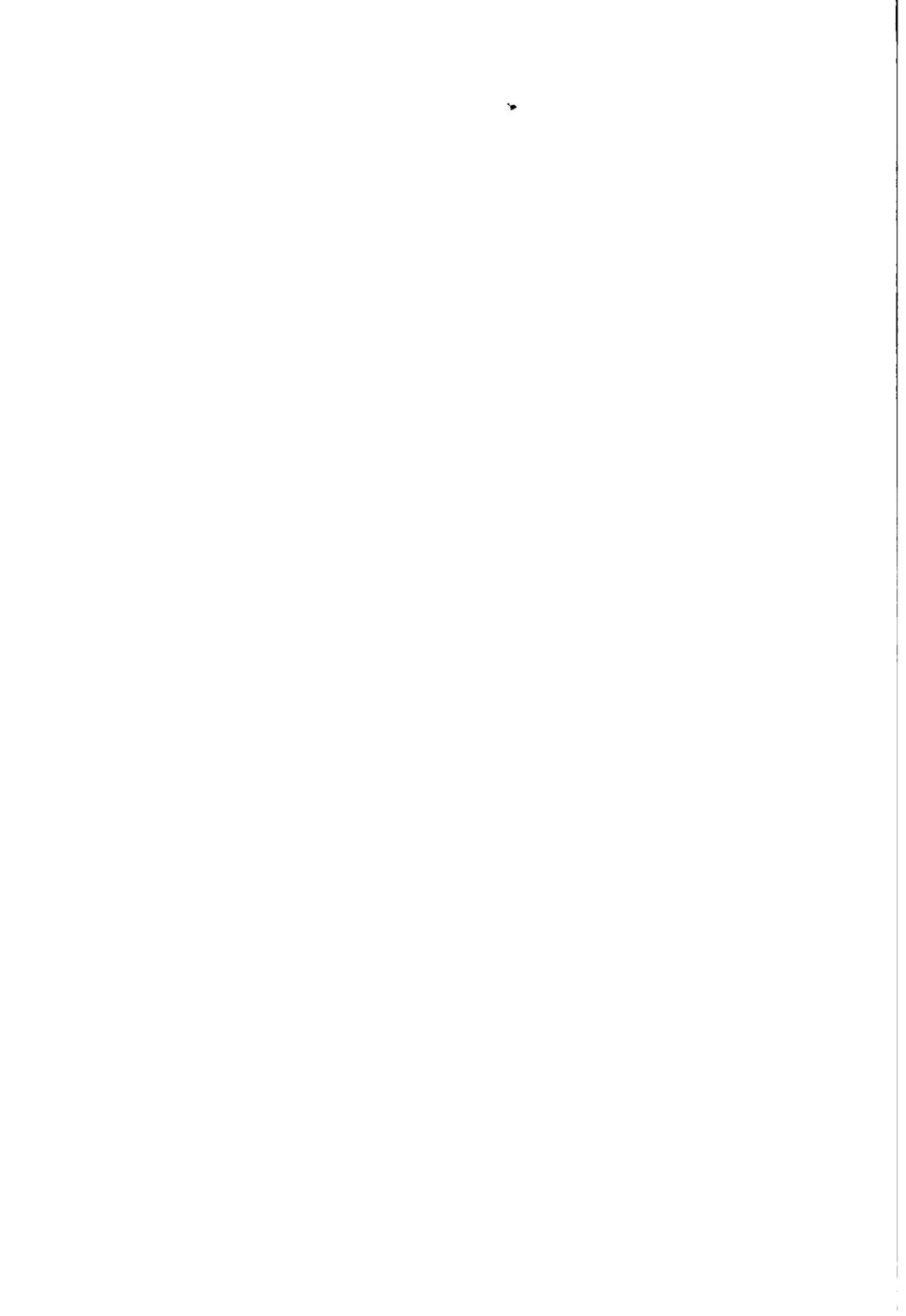
CUADRO N° 26

PRESION ADMISIBLE

NATURALEZA DEL TERRENO	PRESION ADMISIBLE (Kg/Cm ²)		
• Roca dura, roca primitiva	20	a	25
• Roca blanda (toba, arenisca, caliza)	8	a	10
• Tosca o arenisca arcillosa	5	a	8
• Grava conglomerada dura	5	a	7
• Grava suelta o poco conglomerada	3	a	4
• Arena de grano grueso	1.5	a	2
• Arcilla compacta o con arena seca	1	a	1.5
• Arena de grano fino según su grado de capacidad	0.5	a	1
• Arcilla húmeda	0.5		
• Fango o arcilla empapada	0		

Estabilidad de los gaviones

La obra en gaviones es esencialmente una estructura que se sustenta en su propio peso y todas las otras fuerzas que actúan sobre ella se deben al empuje del agua o el suelo.



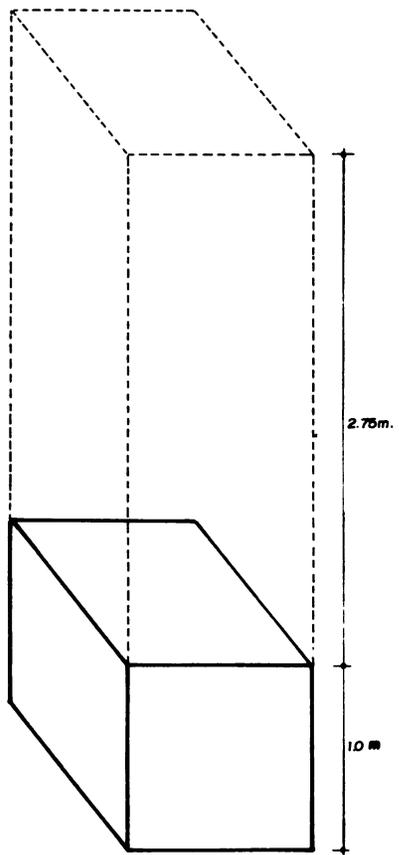
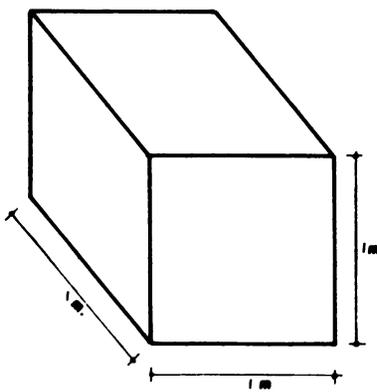
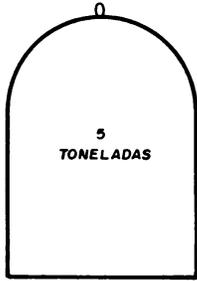


FIG. N° 4

A partir de esta teoría estudiaremos la resistencia al deslizamiento del muro en torno al punto A de la base. El procedimiento de cálculo de estas fuerzas y su estabilidad es el siguiente:

Para el cálculo de cada una de las fuerzas, en la opción más desfavorable, suponemos que x el nivel de aguas abajo es cero, es decir, no produce efecto alguno sobre el dique, (ver fig 5).

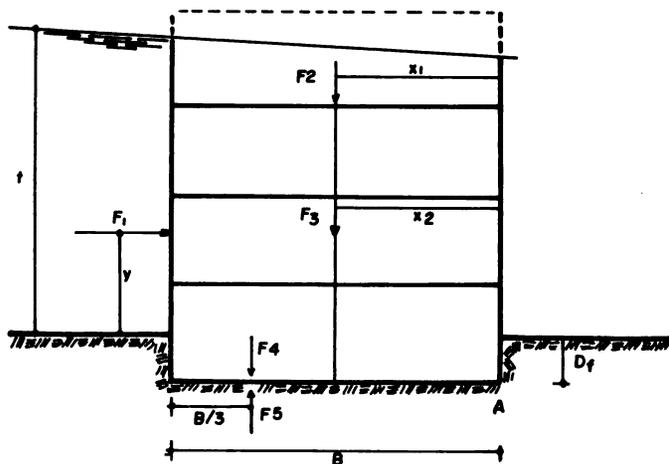


Fig. N° 5 - Esquema de fuerzas

1 Fuerza lateral que provoca la presión del agua

$$F_1 = 1/2 \delta_w t^2$$

Donde:

δ_w = Peso específico del agua

t = Nivel del tirante máximo

La distancia Y a que actúa es:

$$Y = 1/3 t$$

2. Peso del gavión fuera del tirante máximo

$$F_2 = \delta_g * A_1$$

Donde:

δ_g = Peso específico del gavión

A_1 = Area donde no llega el tirante máximo

3. Area del gavión saturado

$$F_3 = \delta_{gs} * A_2$$

Donde:

δ_{gs} = Peso específico del gavión saturado

A_2 = Area del gavión ocupado por agua.

Si los vacíos son ocupados por agua y U es la humedad (U = fracción del volumen de los poros ocupados por agua), el peso específico es:

$$\delta_{gs} = \delta_p (1 - n) + n * U * \delta_w$$

En el caso que el tirante sobrepase la altura máxima de la estructura, el peso específico del gavión saturado $U = 1$, será:

$$\delta_{gs} = \delta_p (1 - n) + n * \delta_w$$

4. Peso del agua sobre el gavión

$$F_4 = \delta_w \left[\frac{B(t + D_f)}{2} \right] * \left(\frac{e}{1 + e} \right)$$

Donde:

$$\frac{e}{1 + e} = \frac{\text{Volumen de vacíos}}{\text{Volumen Total}} = n$$

5. Peso de la subpresión del agua

$$F_5 = \frac{\delta_w * B(t + D_f)}{2}$$

Conocidas las nuevas fuerzas que actúan, analizaremos la estabilidad al deslizamiento y volcamiento de la obra.

Estabilidad al vuelco

La estabilidad es asegurada si el momento estabilizante, alrededor del fulcro o punto x, predomina sobre el volcante.

Las fuerzas estabilizantes son:

- Peso propio de la estructura ($F_2 + F_3$)
- Peso del agua sobre el gavión (F_4)

Las fuerzas volcantes son:

- Empuje horizontal F_1 y la sobre presión del agua F_5
- Otras fuerzas ocasionales (hielo, acción de "chorro" de flujo supercrítico, terremotos, etc.)

Definido M_r el momento de fuerzas volcantes y M_s el de las fuerzas estabilizantes, el coeficiente de seguridad al vuelco es:

$$S_r = \frac{M_s}{M_r} > 1$$

Para obras modestas es suficiente que sea:

$$S_r > = 1.3$$

Estabilidad al deslizamiento horizontal

El equilibrio al deslizamiento es comprobado cuando las fuerzas de fricción y cohesión agente en el plano de fundación compensan las fuerzas horizontales.

El coeficiente de seguridad al deslizamiento, S_s debe ser:

$$S_s = \frac{\sum V * \text{Tang } \theta}{\sum H} > 1.3$$

En el caso más común en que la estructura se funde en terrenos no coherentes puede asumirse $\text{Tang } \theta = 0.7$ (que corresponde a un ángulo de roce de 35° aproximadamente).

Solicitaciones en el suelo de fundación

Para calcular de una manera sencilla los valores de sollicitación de la obra en el suelo, es necesario considerar lo siguiente: las diversas fuerzas que actúan sobre la estructura producen una sollicitación en el terreno de fundación. Para asegurar la estabilidad de la estructura, esta sollicitación debe ser menor que la admisible del suelo (q de trabajo).

Las fuerzas citadas podemos representarlas por una fuerza vertical V y un momento M , fig. N^o 6.

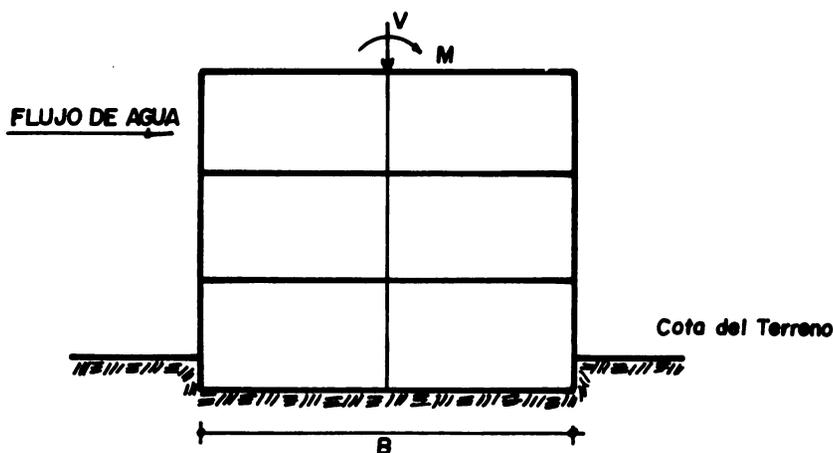


Fig. N° 6 Fuerza vertical y momento volcante

Donde:

- V = Suma de las fuerzas verticales
- B = Ancho de la base de la fundación
- M = Momento volcante con respecto al centro de la base

Para la estabilidad de la estructura a construir, debemos verificar dos condiciones:

1. Que no se produzcan tracciones en el suelo.

Para ellos definiremos la excentricidad por:

$$e \geq \frac{M}{V}$$

No se producirá tracciones si $e \geq B/6$, es decir, la resultante cae dentro del tercio central de la base de la fundación.

2. Que no sobrepase la carga admisible del terreno. El diagrama de tensiones en el suelo σ tendrá la forma indicada en la figura. N° 7

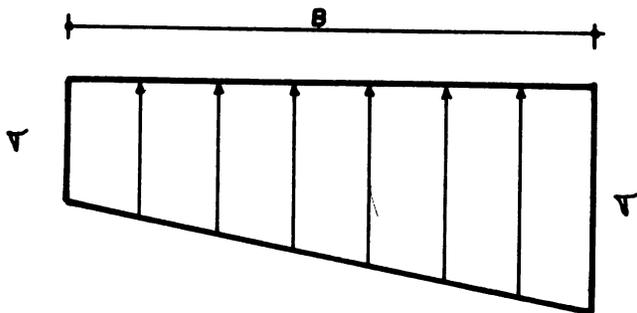


Fig N° 7 Diagrama de tensiones

Los valores de sollicitación de la estructura quedan dados por la relación.

$$\sigma = \frac{V}{A} \left(1 \pm \frac{6e}{B} \right)$$

Donde:

A = Area de la fundación

Se utiliza el signo (+) para σ_1 aguas abajo de la obra y (-) para σ_2

En general, si las cargas transmitidas al terreno son compatibles con su resistencia, se garantiza también la resistencia de la estructura en gaviones.

La tensión máxima debe ser comparada con la carga de seguridad de la estructura en gaviones que debe ser definida a través de pruebas experimentales.

Las estructuras en gaviones pueden en general alcanzar en situación de estado plano de deformación, aplastamientos relativos de 20% con valores de carga P/A aproximadamente de 10 Kg/cm². El ajuste de la estructura adviene sin ruptura de alambre, que se obtiene únicamente con valores de carga unitaria superior a 30 40 Kg/cm².

BASES ANTISOCAVANTES

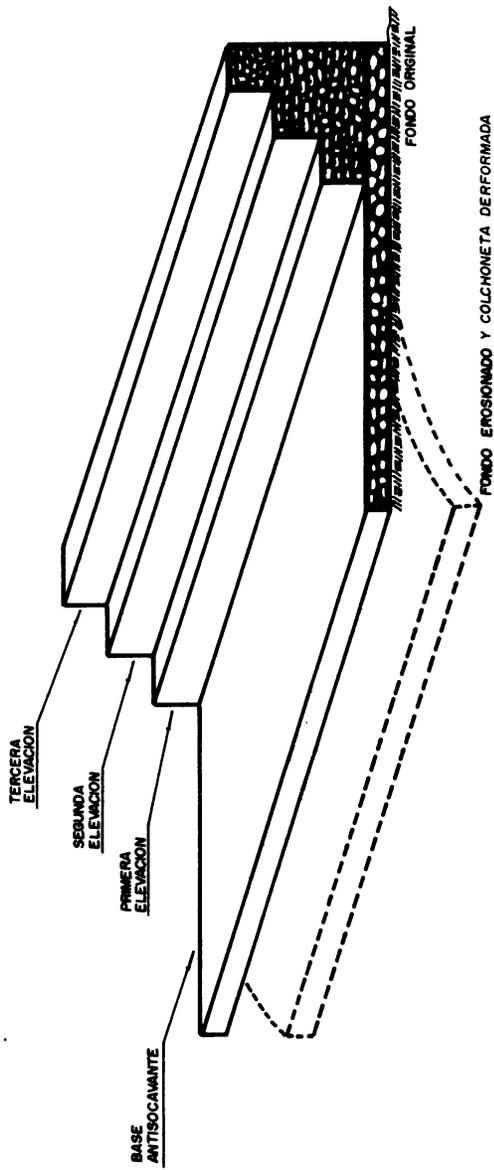


FIG. N.º 9

ESTABILIZACION DE BASES ANTISOCAVANTES

Esc. 1: 50

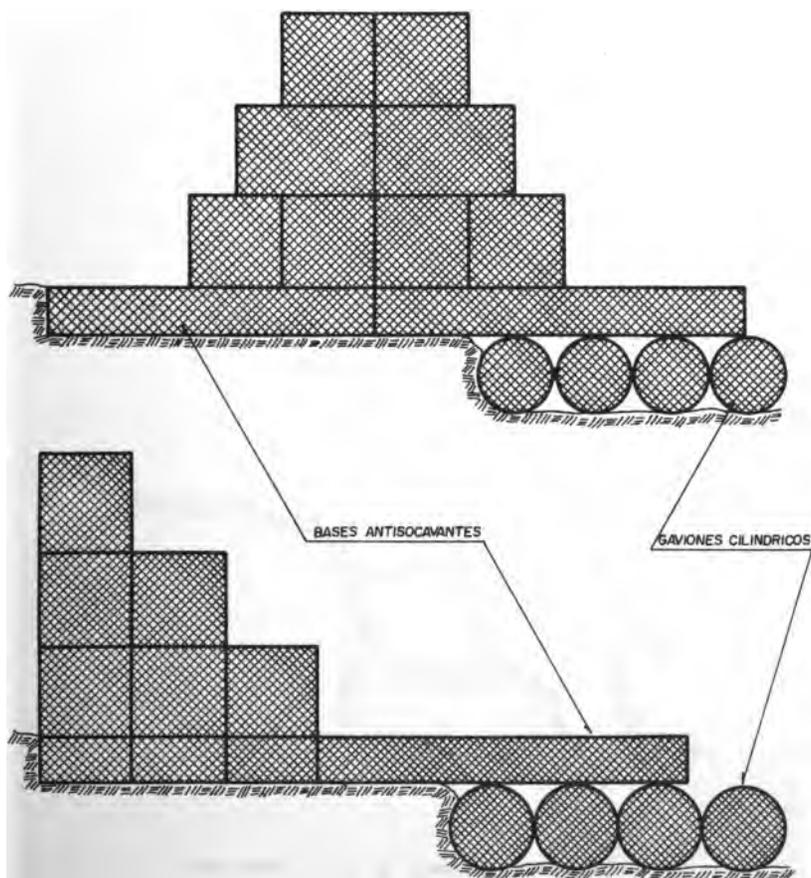
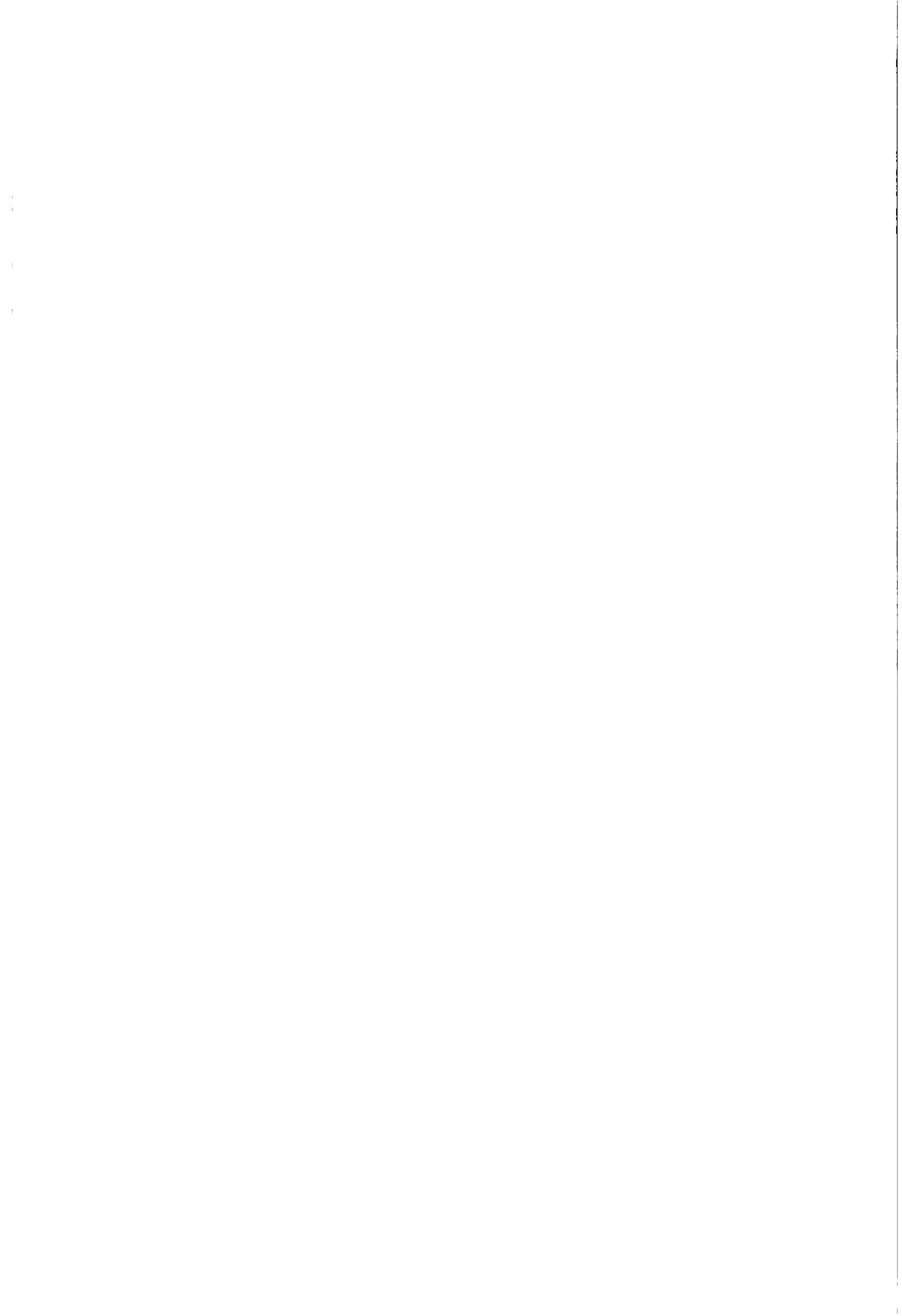
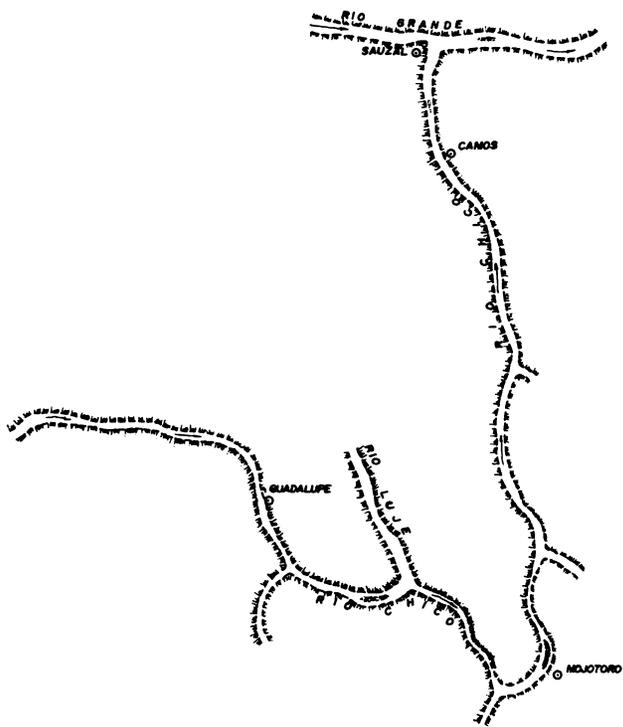


FIG. Nº 9



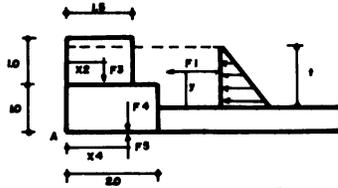
ZONAS DE DISEÑO DE MUROS DE
GAVIONES



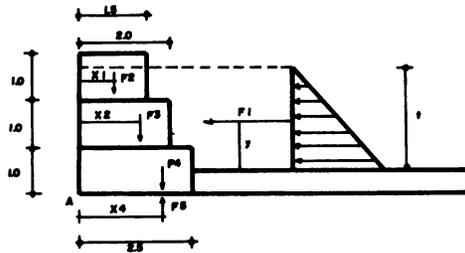
- MURO TIPO 1 : ○ DE GUADALUPE A MOJOTORO
- MURO TIPO 2 : ○ DE MOJOTORO A CAMOS
- MURO TIPO 3 : ○ DE CAMOS A SAUZAL

FIG Nº 10

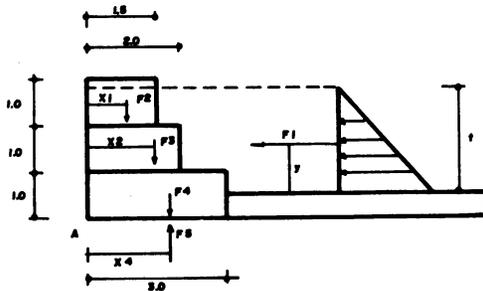
DETERMINACION DE LAS FUERZAS ACTUANTES



ZONA GUADALUPE



ZONA MOJOTORO



ZONA CAMOS

Construcción de la base antisocavante en gaviones

Aquellas obras de gaviones que están expuestas a la socavación por acción del agua deben llevar una base antisocavante para asegurar su estabilidad.

Una base antisocavante flexible de gaviones, estará diseñada para asentarse sin fracturarse y adherirse al suelo cuando se produzca la erosión (ver Fig. N° 8)

Un material de relleno que mida entre 10 y 20 cm. asegurará una flexibilidad uniforme, requiriendo sólo una leve excavación. El terreno se nivela o pone en el mismo declive del río y la base antisocavante se ubica directamente en el suelo a nivel del cauce original. Los hoyos o declives del terreno se rellenan con material de la misma base, de modo que la erosión se produzca lo más uniformemente posible. Es importante, si se detectan piedras demasiado grandes en el terreno de fundación de la base antisocavante, fracturarlas o retirarlas para evitar roturas por peso propio de la colchoneta.

Para evitar que la base antisocavante se levante del suelo o se vuelque, ésta debe tener un mínimo de 30 cm. de espesor, pudiendo utilizar como en el presente caso 50 cm.

Para que la protección de la base antisocavante sea efectiva, ésta debe ser una y medio veces el límite máximo de la socavación que se produce por efecto del agua en una gran avenida.

Para sectores en que resulte dificultoso ubicar la base antisocavante, se recomienda ocupar gaviones cilíndricos como subcimentación (Fig. N° 9).

Diseño de espigones en Río Chico

El procedimiento de diseño de las defensas para recuperación de tierras en el río Chico, se explicó ampliamente en páginas anteriores, en todos los casos se considerará que las estructuras se construyen en 50 cm. por debajo del curso normal del río.

En todos los casos, para las tres zonas de diseño se toma la siguiente capacidad de soporte del suelo.

Peso específico del suelo = 1.83 T/m³
 Angulo de rozamiento 35°

El anexo II se tiene:

$$q = C N_c + \rho_s D_f N_q + 1/2 \rho_s B N_\rho$$

Donde:

$$\begin{aligned} N_c &= 46.0 \\ N_q &= 33.0 \\ N_\rho &= 40.0 \end{aligned}$$

C =	0	(grava, arena)	
B =	3 m.	zona	Camos
B =	2.5 m.	zona	Mojotoro
B =	2.0 m.	zona	Guadalupe

A todas las zonas se aplica un factor de seguridad de 3.

En las siguientes figuras se muestran las fuerzas actuantes en las estructuras para cada una de las zonas de diseño en que se dividió el río Chico (Fig. N° 11, 12 y 13).

En el cuadro N° 27 se señalan todos los elementos característicos de diseño, y sus chequeos correspondientes al vuelco, deslizamiento y sollicitación en el suelo de fundación.

CUADRO N° 27
ELEMENTOS CARACTERISTICOS DE DISEÑO

	Z O N A D E D I S E Ñ O		
	GUADALUPE	MOJOTORO	CAMOS
1ª Elev.	1.0 x 2.0	1.0 x 2.5	1.0 x 3.0
2ª Elev.	1.0 x 1.5	1.0 x 2.0	1.0 x 2.0
3ª Elev.	-	1.0 x 1.5	1.0 x 1.5
q (Kg/m²)	3.45	4.06	4.67
Q (m³/s)	898.76	1330.46	1828.66
Jr	0.01	0.01	0.01
t	1.90	2.31	2.59
F1 (Kg/m)	1805	2668	3354
Y (m)	0.63	0.77	0.86
F2 (Kg/m)	273	1884	1119
X1 (m)	0.75	0.75	0.75
F3 (Kg/m)	7102	105.26	12476
X2 (m)	0.98	1.10	1.22
F4 (Kg/m)	720	1054	1391
X3 (m)	1.33	1.67	2.00
F5 (Kg/m)	2400	3515	4635
X4 (m)	1.33	1.67	2.00
Mr (Kg/m)	5232	9255	13831
Ms (Kg/m)	7483	14752	18842
Sr	1.43 > 1.30	1.59 > 1.30	1.36 > 1.30
Ss	2.21 > 1.30	2.61 > 1.30	2.16 > 1.30
e	0.40 } OK	0.55 } OK	0.49 } OK
B/6	0.33 } OK	0.42 } OK	0.50 } OK
σ₁ (Kg/m²)	1.25 < 3.45	1.85 < 4.06	1.37 < 4.67
σ₁ (Kg/m²)	- 0.114	-0.255	0.014

12. RECOMENDACIONES CONSTRUCTIVAS

Técnicas de recuperación de tierras

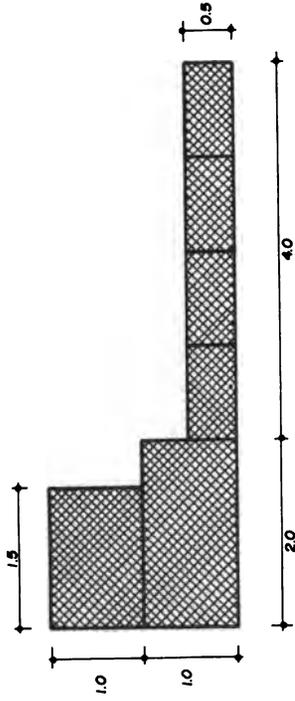
La estructura de gaviones una vez construída, por si sola sería una excelente defensa, pero no cumpliría con la finalidad de recuperar tierras. Para ello es necesario realizar una serie de trabajos complementarios, que son ejecutados, una parte por personal calificado del programa y otra por los campesinos de la zona:

- a. *Estructuras gavionadas*: La defensa de gaviones es ejecutada íntegramente con mano de obra no calificada de la comunidad beneficiada, y con el apoyo por parte del programa de maquinaria pesada (dos volquetas y un tractor de orugas) y el material suficiente para realizar la construcción (malla de gaviones y alambre de amarre). La ubicación y orientación del muro es discutida ampliamente en la Asamblea General de la comunidad campesina, con la presencia y asesoramiento de técnicos del programa.
- b. *Terraceo y bordos*: Este trabajo se realiza con un tractor de orugas con buldozer peineta. El terraceo consiste en nivelar el suelo a recuperar extrayendo los cantos rodados y el bordo se construye en cerco perimetral con fundación de troncos y ramas que aporta la comunidad. Este elemento es utilizado también para delimitar el área de recuperación.
- c. *Zanja principal de sedimentación*: Ejecutada con el tractor de orugas, con el fin de conducir eficientemente, hacia los "cuarteles", las aguas turbias de enlame.
- d. *Mejoramiento de obras de toma*: El proyecto consideró necesario construir un sistema de riego y sedimentación, que es ejecutado con mano de obra no calificada que aporta la comunidad, y con mano de obra calificada y materiales que aporta el programa. El trabajo consiste básicamente en la construcción de una obra de toma con defensa longitudinal, poteos y canales primarios. Con este sistema se garantiza, además del riego estable y permanente de las áreas recuperadas, una sedimentación adecuada.

MURO TIPO I

ZONA GUADALUPE

Esc. 1:50



BASE ANTISOCANANTE	4.0 x 0.5
PRIMERA ELEVACION	2.0 x 1.0
SEGUNDA ELEVACION	1.5 x 1.0

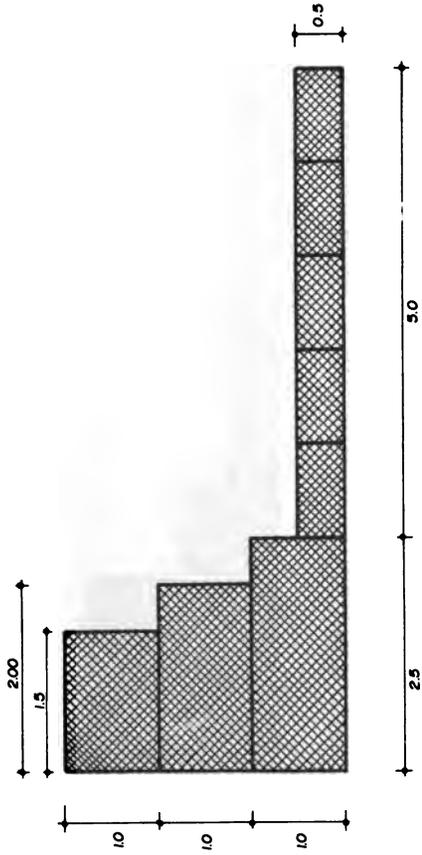
FIG. Nº 8



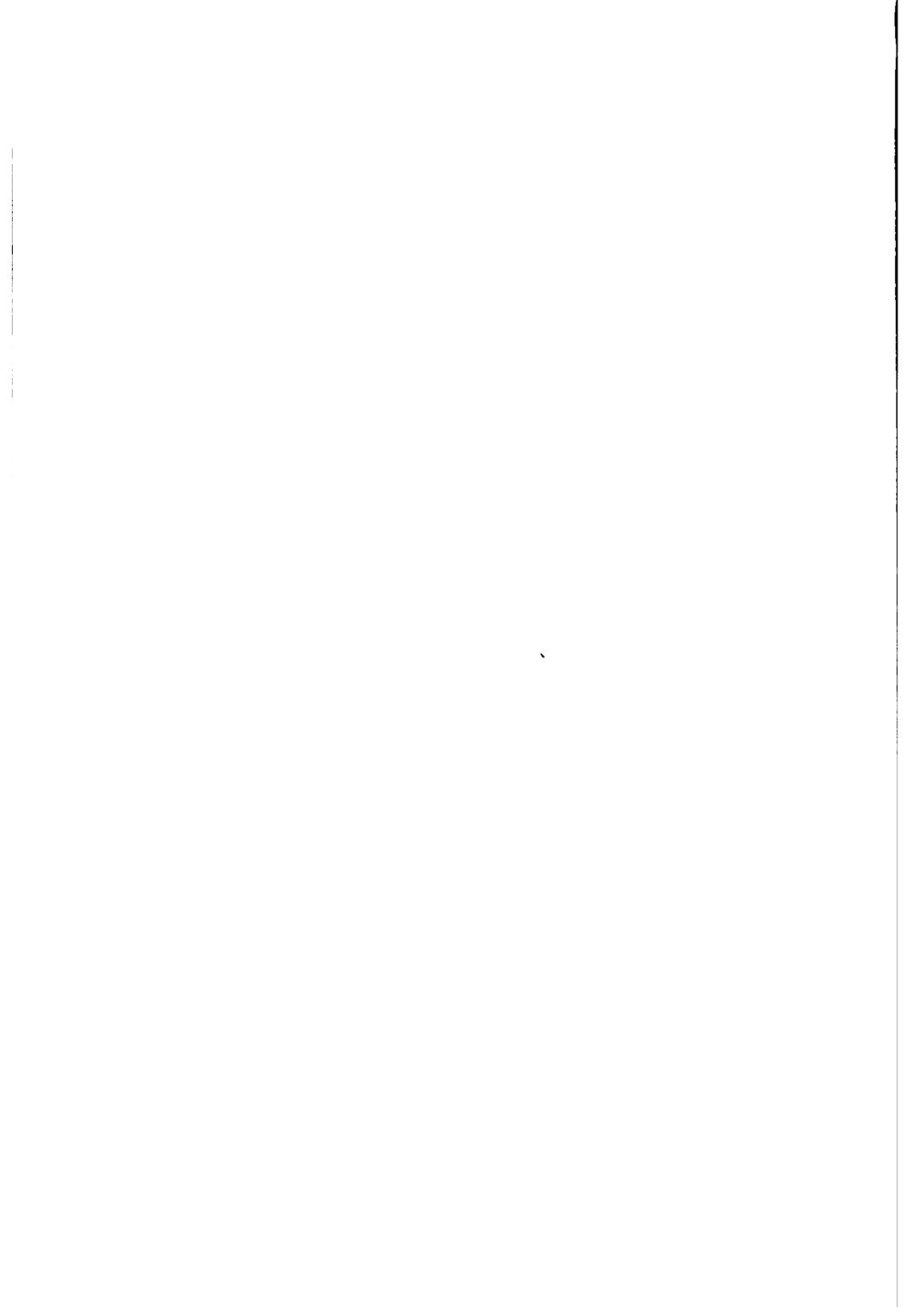
MURO TIPO 2

ZONA MOJOTORO

Esc. 1:80



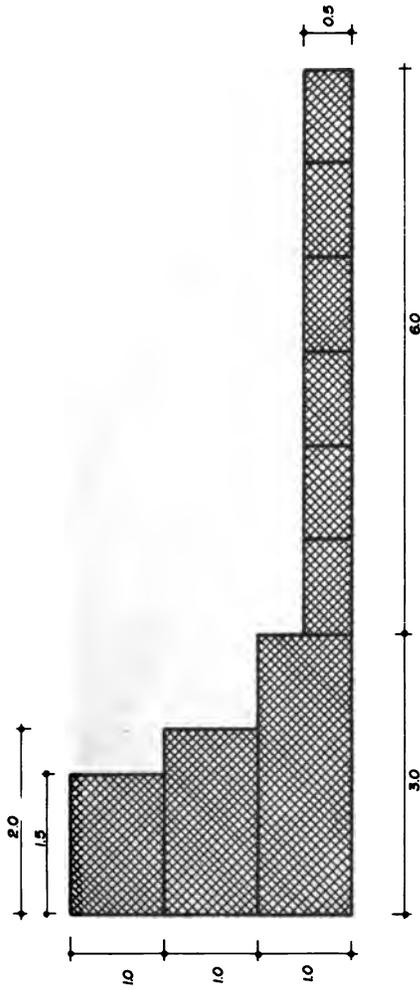
BASE ARTISOCAVANTE	5.0 x 0.5
PRIMERA ELEVACION	2.5 x 1.0
SEGUNDA ELEVACION	2.0 x 1.0
TERCERA ELEVACION	1.5 x 1.0



MURO TIPO 3

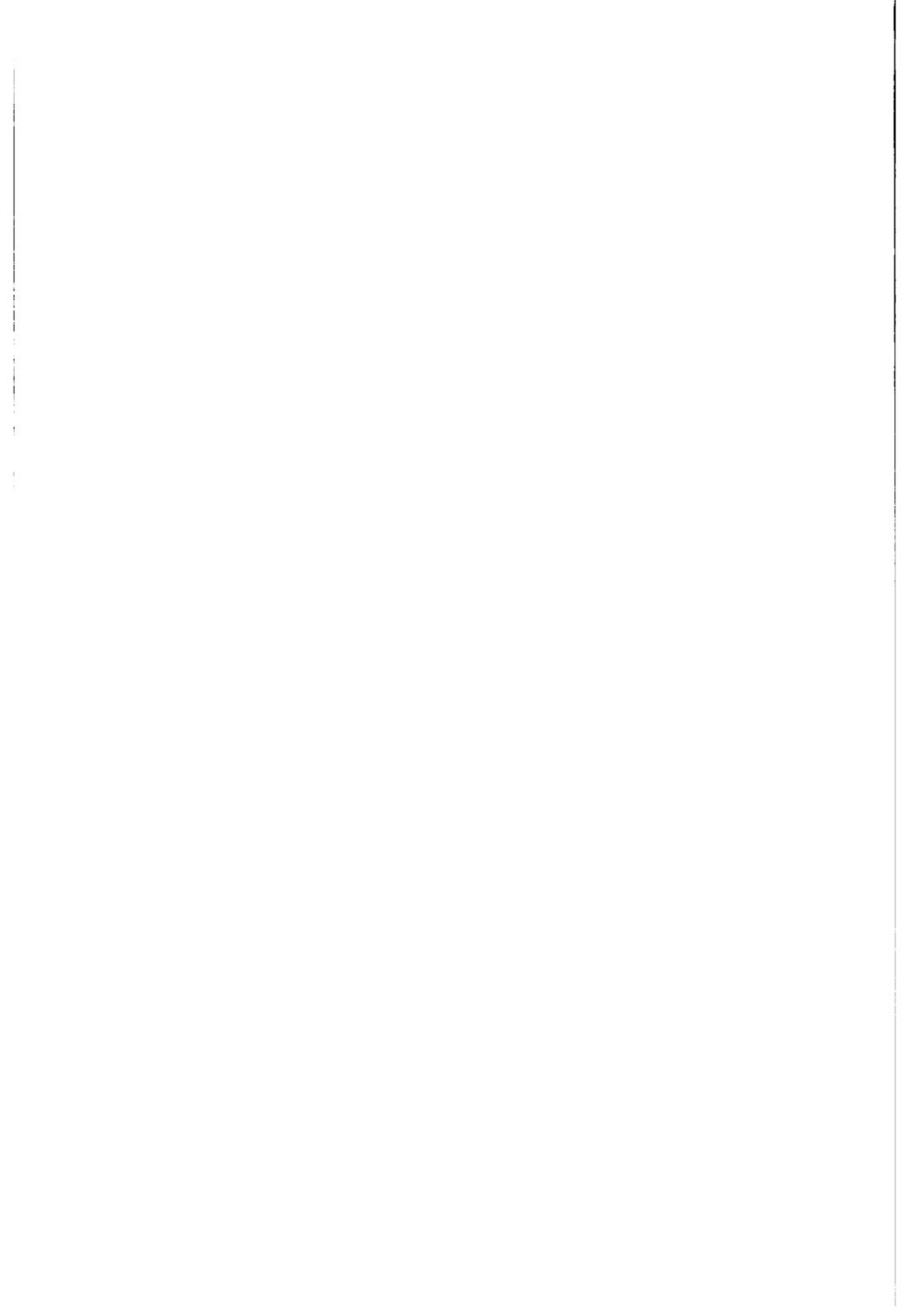
ZONA CAMOS

Esc. 1:50

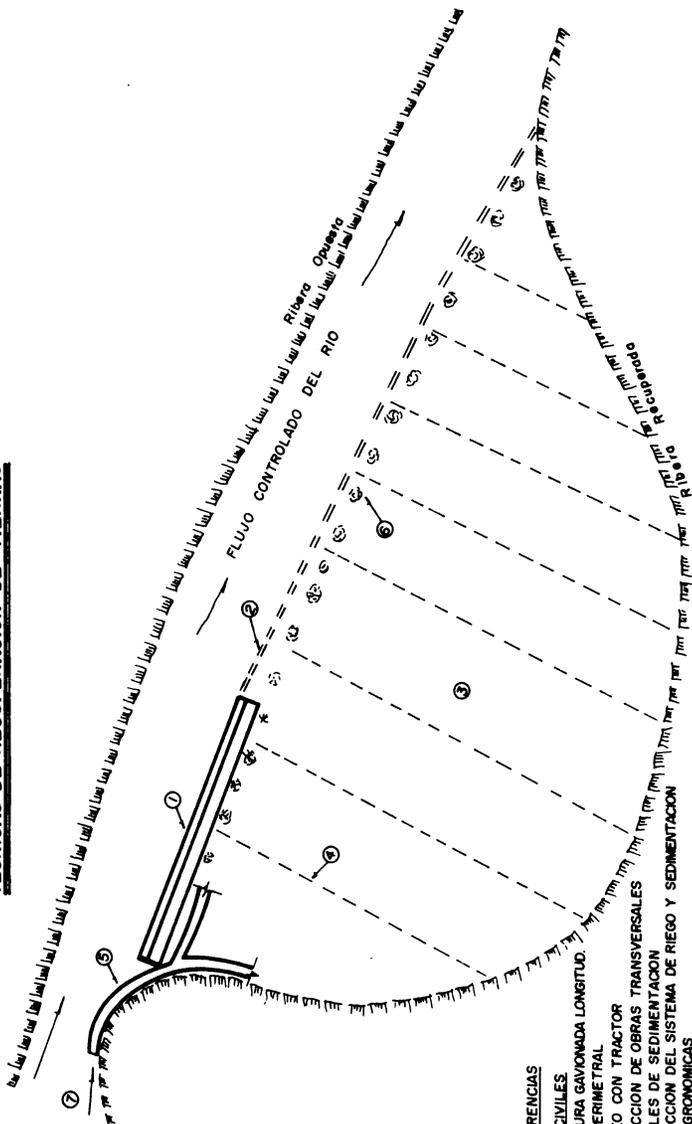


BASE ANTISOCAMANTE	0.0 x 0.5
PRIMERA ELEVACION	3.0 x 1.0
SEGUNDA ELEVACION	2.0 x 1.0
TERCERA ELEVACION	1.5 x 1.0

FIG. Nº 13

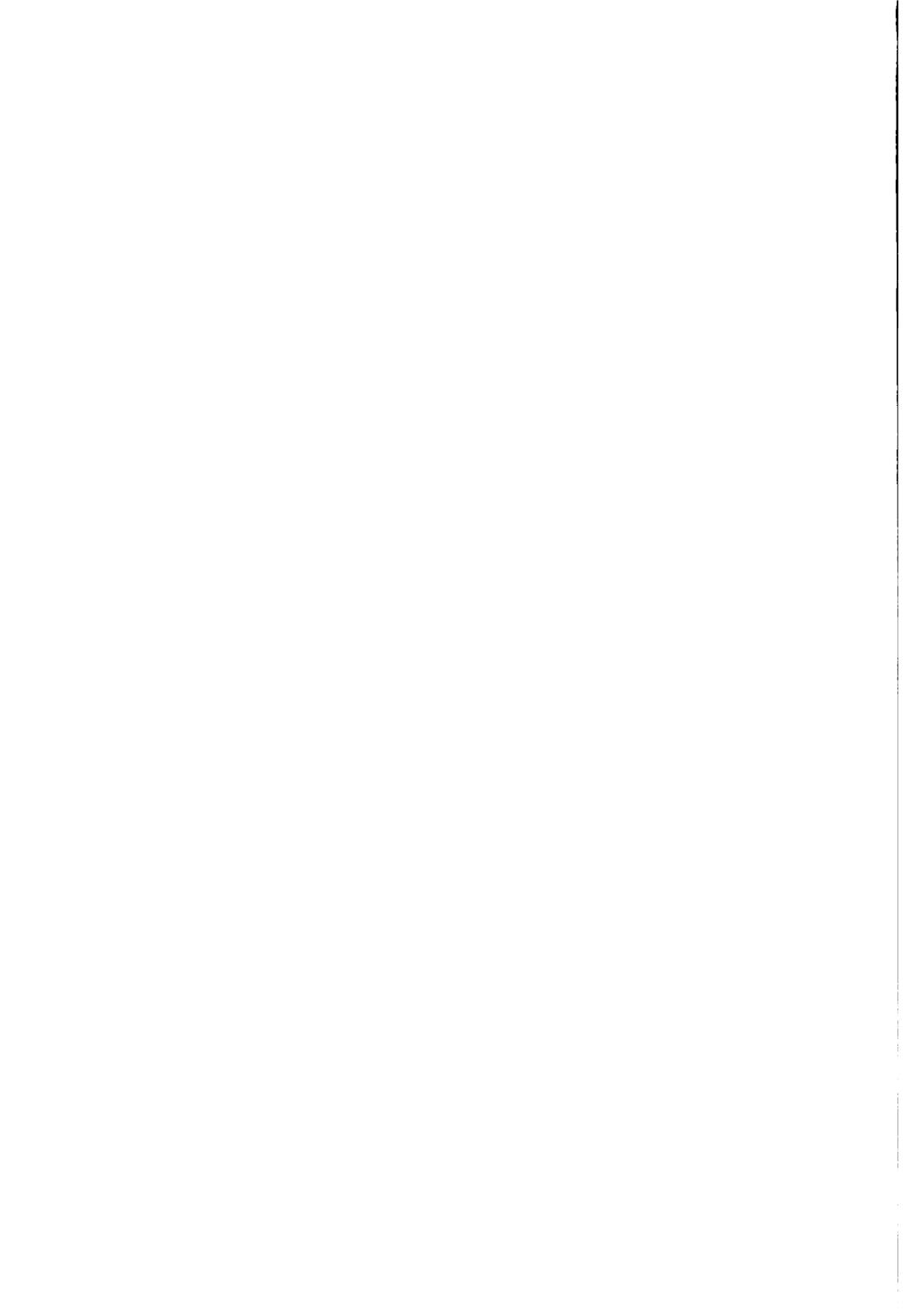


TECNICAS DE RECUPERACION DE TIERRAS



REFERENCIAS

- A- OBRAS CIVILES
 - ① ESTRUCTURA GAVIONADA LONGITUD.
 - ② BORDO PERIMETRAL
 - ③ TERRAZCO CON TRACTOR
 - ④ CONSTRUCCION DE OBRAS TRANSVERSALES
 - ⑤ CUARTELES DE SEDIMENTACION
 - ⑥ CONSTRUCCION DEL SISTEMA DE RIEGO Y SEDIMENTACION
- B- OBRAS AGRONOMICAS
 - ⑦ PLANTACION DE BARRERAS BIOLÓGICAS CON SAUCES
 - ⑧ SISTEMATIZACION PARA SEDIMENTACION
 - ⑨ PLANTACION DE LEGUMINOSAS
 - ⑩ INCORPORACION AL SUELO RECUPERADO DE NUTRIENTES



- e. *Sistematización para sedimentación:* Esta labor la ejecuta íntegramente la comunidad, con la construcción de "cuarteles" con ramas y troncos, orientados en forma perpendicular al flujo de sedimentación, para de esta forma detener las aguas turbias.
- f. *Plantación de barreras biológicas:* Se realiza con sauces y cañahuecas, con el apoyo de técnicos y agrónomos del programa.

Recomendaciones prácticas

Los gaviones deben ser armados en obra.

Para el armado, colocado, llenado y cierre de gaviones, se utilizan cuadrillas de tres personas, que cumplen las siguientes funciones:

- Hombre 1. Armado, colocado y cierre de gaviones.
- Hombre 2. Acopio de material pétreo
- Hombre 3. Llenado de gaviones

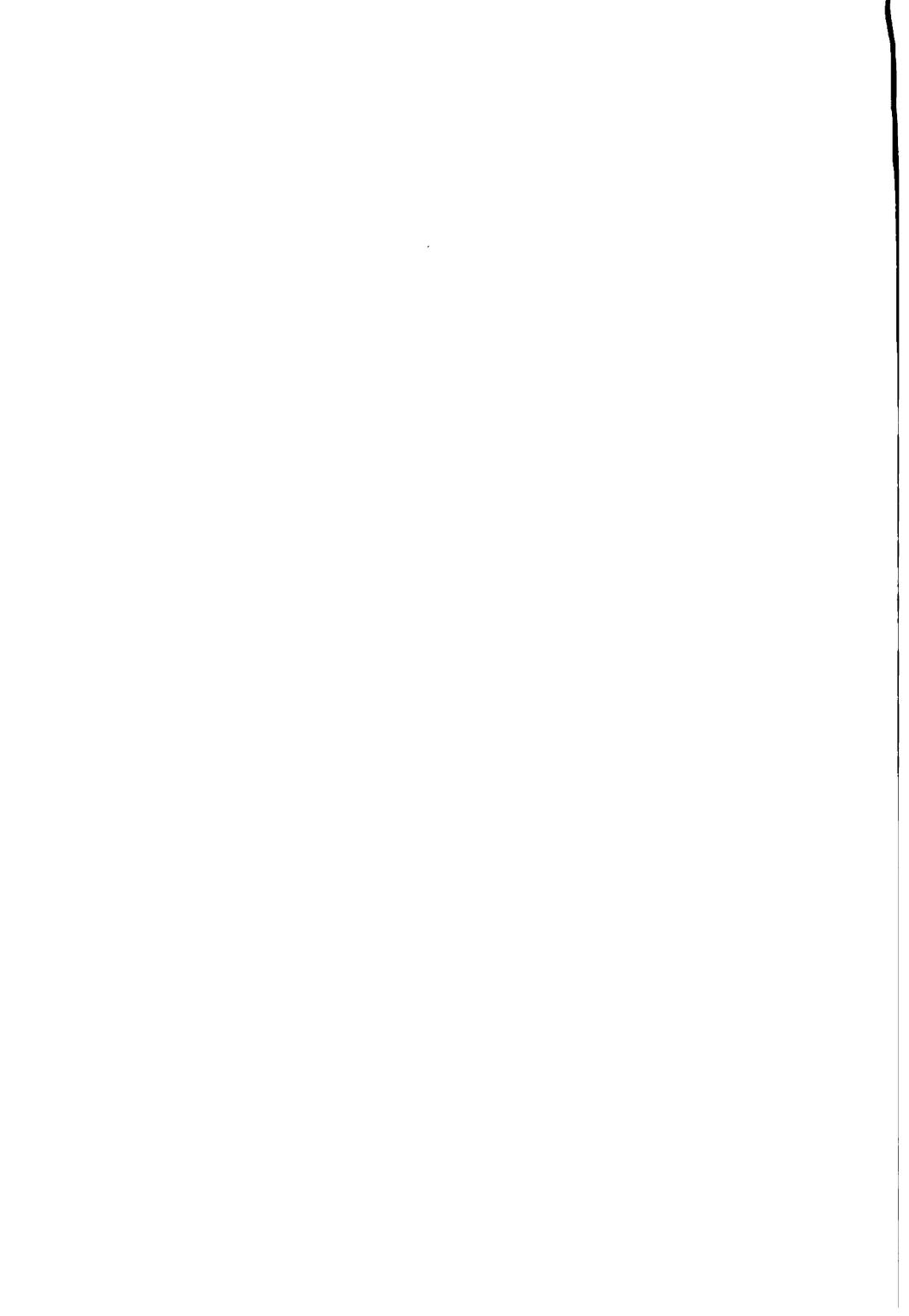
El uso de guantes de cuero es importante, para evitar que los trabajadores se maltraten con el alambre. También es recomendable el uso de alicates y "pata de cabra" o palancas, para permitir una mejor unión de las aristas de los gaviones.

Es importante la utilización de piedra entre 5" y 8" para la construcción de la base antisocavante, porque es la que soporta mayor esfuerzo y se deforma.

Al utilizar material pétreo, con cantos vivos cortantes, es necesario que estos no queden en contacto con la malla de alambre, para evitar daños o roturas.

En llenado manual de gaviones que se ubican sobre los 2.0 m. de altura del nivel del piso, el rendimiento disminuye aproximadamente un 50%.

Es fundamental que exista asesoramiento técnico, para efectuar obras con gaviones.



ANEXO I**RESUMEN SOBRE EL METODO DE LA U.S.SOIL
CONSERVATION SERVICE PARA EL CALCULO
DE LA LLUVIA EN EXCESO**

El método del SCS ha sido desarrollado por sus hidrólogos durante las tres últimas décadas y es la consolidación de varios procedimientos, siendo su principal aplicación, la estimación de las cantidades de escurrimiento, tanto en el estudio de avenidas máximas como en el caso del cálculo de aportaciones líquidas.

Para describir el método del SCS para la estimación del escurrimiento directo (lluvia en exceso) a partir de registros de lluvia, se citan primeramente los datos utilizados, se expone la fórmula de la relación lluvia escurrimiento del método y se presenta la metodología de aplicación.

Tipos de escurrimiento

El caudal de escurrimiento está formado de uno o más tipos de escurrimiento, los cuales son clasificados en base al tiempo que transcurre entre el inicio de la tormenta y la presencia de tal escurrimiento en el hidrograma de respuesta de la cuenca, distinguiéndose cuatro tipos:

- 1º Esgurrimiento de cauce
- 2º Esgurrimiento superficial
- 3º Esgurrimiento subsuperficial
- 4º Esgurrimiento subterráneo

En la práctica es común hablar de sólo dos tipos de esgurrimiento, el base y el directo, este último formado por los esgurrimientos de cauce superficial y subsuperficial. El método del SCS permite estimar el esgurrimiento directo.

Datos que utiliza el método del SCS

Los datos que utiliza el método del SCS para obtener la magnitud de la lluvia en exceso son:

- a. Información sobre los suelos de la cuenca.
- b. Información de la cobertura vegetal de la cuenca.
- c. Información sobre el uso del terreno en la cuenca.
- d. Estado de saturación de la cuenca, en la llamada condición de humedad antecedente(CHH).

Una combinación específica del suelo, cobertura y uso del terreno, se denomina COMPLEJO HIDROLOGICO SUELO VEGETACION y es un parámetro de la cuenca.

Tipos de suelo

Las propiedades de un suelo son un factor en el proceso de generación de esgurrimiento a partir de la lluvia y por lo tanto, deben ser clasificados de acuerdo a un parámetro hidrológico: la velocidad de infiltración mínima obtenida para un suelo desnudo después de estar mojado suficiente tiempo.

En realidad se toman en cuenta dos velocidades, estas son: velocidad de infiltración, que es la velocidad con que el agua entra al suelo por su superficie y es controlada por las condiciones exteriores y velocidad de transmisión, que es la velocidad con la cual el agua se desplaza en el suelo y es controlada por los horizontes del mismo.

El parámetro de velocidad de infiltración descrito, es un indicador del potencial de escurrimiento del suelo y es la base de clasificación de los suelos con fines hidrológicos por el SCS, en los grupos A, B, C y D siguientes:

Grupo A:

Suelos con bajo potencial de escurrimiento. Tienen altas velocidades de infiltración cuando están mojados y son principalmente arenas y gravas profundas y bien graduadas. Estos suelos tienen altas velocidades de infiltración.

Grupo B:

Suelos con moderadas velocidades de infiltración cuando están mojados, conformados principalmente de suelos arenosos menos profundos que los del grupo A y con un drenaje medio, conteniendo valores intermedios de texturas finas a gruesas.

Grupo C:

Suelos que tienen bajas velocidades de infiltración cuando están mojados, son principalmente suelos que tienen un estrato que impide el flujo del agua. Son suelos con texturas finas y tienen bajas velocidades de transmisión.

Grupo D:

Suelos con alto potencial de escurrimiento. También tienen muy bajas velocidades de infiltración cuando están mojados y son principalmente suelos arcillosos con alto potencial de hinchamiento, con estratos arcillosos cerca de su superficie o bien sobre un horizonte impermeable.

Cobertura vegetal

Esencialmente, se considera cobertura cualquier material (comúnmente vegetal) que cubre el suelo y lo protege del impacto de la lluvia.

Las siguientes definiciones aluden a la cobertura:

Rotación de cultivos: La secuencia de cultivos en una finca o cuenca se debe evaluar con respecto a su efecto hidrológico. Hay rotaciones pobres y rotaciones buenas, de acuerdo principalmente a la cantidad de vegetación densa que contiene cada rotación.

Las rotaciones pobres: Usualmente contienen cultivos en hileras, granos pequeños y barbecho en varias combinaciones.

Las rotaciones buenas: Contienen alfalfa, pastos u otras legumbres que se siembran juntas, para mejorar la textura y aumentar la infiltración.

Pradera natural o pastizal: Comúnmente se consideran tres clases de condiciones que se basan en sus efectos hidrológicos y no en la producción de forraje, estas son:

Pradera o pastizal pobre, tiene exceso de pastoreo, sin cubierta o con cubierta vegetal de menos del 50% del área.

Pradera o pastizal regular, tiene moderado pastoreo, y tiene cubierta vegetal entre el 50 y 75 % del área.

Pradera o pastizal bueno, tiene pastoreo ligero y más del 75% del área tiene cubierta vegetal.

Pradera permanente: Sin pastoreo, con el 100% del área cubierta por pasto natural. Representa el límite superior de las cuencas cubiertas con pasto.

Bosque: Nuevamente la clasificación se ha hecho con respecto a los factores hidrológicos y no en base a la producción de madera, distinguiéndose:

Bosque pobre, tiene excesivo pastoreo, árboles pequeños y el arroyo se destruye regularmente por incendio.

Bosque regular, con algo de pastoreo pero no se queman, pueden tener algo de arroyo y generalmente no están protegidos del pastoreo.

Bosque bueno, protegidos del pastoreo de manera que el suelo está cubierto de arroyo y arbustos.

Uso del terreno

El uso o tratamiento del terreno se refiere a las diversas prácticas agrícolas usadas en las fincas o ranchos y dentro de ellas se tiene las siguientes definiciones:

Surcos rectos: Es un tipo de práctica agrícola que es llevada a cabo sin tomar en cuenta la magnitud de la pendiente del terreno. Los surcos siguen la mayor pendiente del terreno.

Surcos en curvas de nivel: Un tipo de práctica agrícola que es llevada a cabo siguiendo el contorno general del terreno.

Terrazas: Es la práctica consistente en construir bordos y combinaciones de bordo zanja para controlar el escurrimiento en el terreno.

Tabulación de los complejos hidrológicos suelo vegetación

Aunque los suelos y las coberturas fueron clasificadas separadamente, cuando se combinan los tipos de suelos, la cobertura y el uso del terreno forman los llamados COMPLEJOS HIDROLOGICOS SUELO VEGETACION, los cuales se encuentran tabulados en la tabla del cuadro N° 28.

CUADRO N° 28

**NUMEROS DE LA CURVA DE ESCURRIMIENTO PARA LOS COM-
PLEJOS HIDROLOGICOS SUELO - COBERTURA**

COBERTURA			GRUPO HIDROLOGICO DE SUELOS			
USO DEL TERRENO	TRATAMIENTO O PRACTICA	COND. HIDROG.	A	B	C	D
BARBECHO	Surco recto	Pobre	77	86	91	94
CULTIVO EN SURCO	Surco recto	Pobre	72	81	88	91
	Surco recto	Buena	67	78	85	89
	Surco recto	Pobre	70	79	84	88
	Surco a nivel	Buena	65	75	82	86
	Surco nivel terraza	Pobre	66	74	80	82
	Surco nivel terraza	Buena	62	71	78	81
CEREALES FINOS	Surco recto	Pobre	65	76	84	88
	Surco recto	Buena	63	75	83	87
	Surco a nivel	Pobre	63	74	82	85
	Surco a nivel	Buena	61	73	81	84
	Surco nivel y terraza	Pobre	61	72	79	82
	Surco nivel y terraza	Buena	59	70	78	81
LEGUMBRES CON MAQUINARIA AL VOLTEO) O DE PRADERA	Surco recto	Pobre	66	77	85	89
	Surco recto	Buena	58	72	81	85
	Surco a nivel	Pobre	64	75	83	85
	Surco a nivel	Buena	55	69	78	83
	Surco nivel y terraza	Pobre	63	73	80	83
	Surco nivel y terraza	Buena	51	67	76	80
PRADERA NATURAL Y PASTIZAL		Pobre	58	79	86	89
		Regular	49	69	79	84
		Buena	39	61	74	80
	Surco a nivel	Pobre	47	67	81	88
	Surco a nivel	Regular	25	59	75	83
	Surco a nivel	Buena	6	35	70	79
PRADERA PERMANENTE		Buena	30	58	71	78
BOSQUE		Pobre	45	66	77	83
		Regular	36	60	73	79
		Buena	25	55	70	77
CASCOS DE HACIENDA			59	74	82	86
CAMINOS DE TIERRA (1)			72	82	87	89
CAMINOS CON PAVIMENTOS DUROS (1)			74	84	90	92
SUPERFICIE IMPERMEABLE			100	100	100	100

(1) Incluyendo el derecho de vía.

Fuente: Método S.C.S.

El número de escurrimiento "N" o número de curva, muestra el valor relativo de cada complejo hidrológico para producir escurrimiento directo, de manera que cuando más elevado es N mayor es el volumen de escurrimiento que se podrá esperar de una determinada tormenta ocurrida en la cuenca. Tales números N fueron tabulados con un rango de 0 a 100 por comodidad.

Para condiciones combinadas o especiales en la cuenca, los números N pueden ser "pesados" o estimados por interpolación, respectivamente.

A las superficies de agua y a las impermeables que no están en lista, siempre se les asigna N= 100.

Fórmula de la relación lluvia escurrimiento del método del S.C.S.

En cuencas aforadas con suelo y vegetación conocidos, la precipitación de la tormenta se utilizó para construir una curva en función del escurrimiento directo que la tormenta produce en la cuenca, para tales curvas construidas se encontró que la fórmula que las representa es:

$$Q = h_e = \frac{\left(h - \frac{5080}{N} + 50.8\right)^2}{h + \frac{20320}{N} - 2043.20}$$

$$N = \frac{25400}{S + 254}$$

$$h_{\min.} = \frac{5080}{N} - 50.80$$

Donde:

- $Q = h_e =$ Precipitación en exceso, en milímetros.
 $h =$ Precipitación de la tormenta, en milímetros.
 $N =$ Número del complejo hidrológico suelo vegetación adimensional.
 $h \text{ min.} =$ Precipitación que no produce escurrimiento (detención inicial) en milímetros.
 $S =$ Potencial de retención máximo, en milímetros.

Condiciones de humedad y antecedentes de la cuenca

Lógicamente, el valor de "S" y por lo tanto el valor de "he", depende de la humedad que contenga el suelo en el instante en que se presenta la tormenta. Este aspecto es definido y tomado en cuenta en base a la llamada Condición de Humedad Antecedente (CHA), para la cual se tiene tres niveles de acuerdo a la cantidad de lluvia existente en los cinco días antecedentes o previos al que se analiza. Estos niveles son los siguientes:

- CHA I (Seca): Bajo potencial de escurrimiento. Los suelos de la cuenca están secos, pero en buen estado para ararse y cultivarse.
 CHA II (Media): Condición promedio.
 CHA III (Húmeda): Alto potencial de escurrimiento. La cuenca está prácticamente saturada por lluvias antecedentes.

En el cuadro Nº 29 se presentan las equivalencias del número N de la curva de escurrimiento de la tabla 28 (condición media), a las condiciones seca y húmeda.

Metodología de aplicación

- 1º De acuerdo a los tipos de suelos, coberturas y usos del terreno en la cuenca, se determinan en la tabla 28 los valores de N respectivos, los cuales se valoran para obtener el representativo de la cuenca.

- 2º Se obtiene según la tabla del cuadro N° 29, los valores de N (paso anterior, es decir, el valor medio), para las condiciones seca y húmeda.
- 3º Se calcula el valor de la lluvia en exceso he, por medio de la ecuación anteriormente mostrada, en base al valor de la lluvia h en mm y al número N, para la condición de humedad considerada en la cuenca.

CUADRO N° 29
EQUIVALENCIAS DEL NUMERO N

N PARA CONDICION			N PARA CONDICION			N PARA CONDICION			N PARA CONDICION		
II	I	II	II	I	II	II	I	II	II	I	II
100	100	100	80	63	91	60	40	78	40	22	60
98	94	99	78	60	90	58	38	76	38	21	58
96	89	99	76	58	89	56	36	75	36	19	56
94	85	98	74	55	88	54	34	73	34	18	54
92	81	97	72	53	86	52	32	71	30	15	50
90	78	96	70	51	85	50	31	70	25	12	43
88	75	95	68	48	84	48	29	68	20	9	37
86	72	94	66	46	82	46	27	66	15	6	30
84	68	93	64	44	81	44	25	64	10	4	22
82	66	92	62	42	79	42	24	62	5	2	13

Fuente: Determinación de escorrentía a partir de la precipitación sobre una cuenca, método S.C.S.

ANEXO II

MÉTODOS DE CÁLCULO PARA LA CAPACIDAD DE SOPORTE DEL SUELO

No existen métodos rigurosos para calcular la capacidad de carga del suelo sin apoyo de ensayos de laboratorio. Sin embargo, para propósitos prácticos rutinarios es suficiente utilizar algunos procedimientos prácticos sencillos.

Se considerará como premisa básica que los suelos reales poseen peso y en general su capacidad de soporte depende de la cohesión y fricción interna.

a) Método Según Terzaghi

En los métodos prácticos, se supone que la capacidad de soporte del suelo se obtiene por la suma de tres componentes:

- La cohesión y fricción interna del material en condiciones de suelo sin peso propio y sin sobre carga.
- La fricción interna con sobrecarga, Y
- La fricción del suelo con peso propio.

Estos componentes se expresan en la ecuación de Capacidad de Soporte del Suelo o de "Terzaghi".

$$q = C N_c + \rho_s D_f N_q + 1/2 \rho_s B N_p$$

en que:

C = Cohesión

ρ_s = Peso específico

D_f = Profundidad de la fundación

B = Ancho de la fundación

N_q, N_c, N_p = Factor de capacidad de carga

Esta ecuación fue desarrollada por Terzaghi para fundaciones poco profundas ($B \geq D_f$) y continuas.

El procedimiento de cálculo y coeficientes de este método es el siguiente:

Para utilizar la fórmula de Terzaghi es necesario conocer el valor de X (ángulo de fricción interno del suelo) y ρ_s (peso específico del suelo).

En la siguiente tabla incluimos valores característicos para distintos tipos de suelo.

CUADRO N° 30

**TABLA DE PESOS ESPECIFICOS Y ANGULOS DE
FRICCION INTERNA DE SUELOS**

CLASE DE TERRENO	ρ_s (Ton/m³)	α
Tierra de terraplén seca	1,4	37°
Tierra de terraplén húmeda	1,6	45°
Tierra de terraplén empapada	1,8	30°
Arena Seca	1,6	33°
Arena húmeda	1,8	40°
Arena empapada	2,0	25°
Légamo diluvial seco	1,5	43°
Légamo diluvial húmedo	1,9	20°
Arcilla seca	1,6	45°
Arcilla húmeda	2,0	22°
Gravilla seca	1,83	37°
Gravilla húmeda	1,86	25°
Grava de cantos vivos	1,8	45°
Grava de cantos rodados	1,8	30°

α = Valores medios de ángulos de fricción del suelo.

ρ_s = Valores medios de peso específico del suelo.

Conocidos los valores de α para el tipo de terreno en que se ubicará la obra, se podrá calcular los coeficientes de capacidad de soporte, N_c , N_q , N utilizando la tabla del cuadro N° 31.

CUADRO N° 31
COEFICIENTES DE CAPACIDAD
DE SOPORTE DE TERZAGHI

α	N_c	N_q	N_p
0	5,14	1,0	0,0
10	8,0	2,0	0,0
20	15,0	6,0	3,0
25	21,0	11,0	8,0
30	30,0	18,0	18,0
35	46,0	33,0	40,0
40	75,0	64,0	90,0
45	134,0	135,0	240,0

El valor de la cohesión C depende del tipo de suelo. En el caso de suelos granulares, como gravas o arenas, el valor es despreciable y no se considera en el cálculo de la capacidad de soporte.

En el caso de suelos finos o con gran proporción de elementos finos, como arcilla y limos, es necesario efectuar ensayos de laboratorio para determinar el valor de C , que puede llegar a ser importante en el valor de capacidad de soporte del suelo.

El valor de q finalmente obtenido deberá ser sometido a un factor de seguridad (F.S.) quedando por tanto:

$$q = \text{trabajo} = q/F.S.$$

Valores recomendados de seguridad F.S. 2,5 a 3,0

b) Método Empírico

Otro método práctico estimativo de la capacidad de soporte del suelo consiste en utilizar valores típicos de q ya probados por la experiencia en distintos tipos de suelo.

Estos valores de q de trabajo son presentados en el cuadro N° 32, en los cuales se contempla un factor de seguridad.

CUADRO N° 32

TABLA VALORES TIPICOS DE q

SUELO	Kg/cm	
Arcillas blandas y limo	0,5	1,0
Arcillas duras, arenosas	2,0	4,0
Arena suelta, seca	1,0	2,0
sumergida	0,5	1,0
Arena compacta, seca	2,0	4,0
sumergida	1,0	2,0
Mezcla compacta de arena y ripio seca	4,0	6,0
sumergida	2,0	3,0

Los valores q de capacidad de soporte del suelo no deberán ser sobrepasados por las solicitaciones de la estructura a construir. Por lo tanto, al diseñar una obra se deberá considerar como factor límite estos valores de q .

ANEXO III

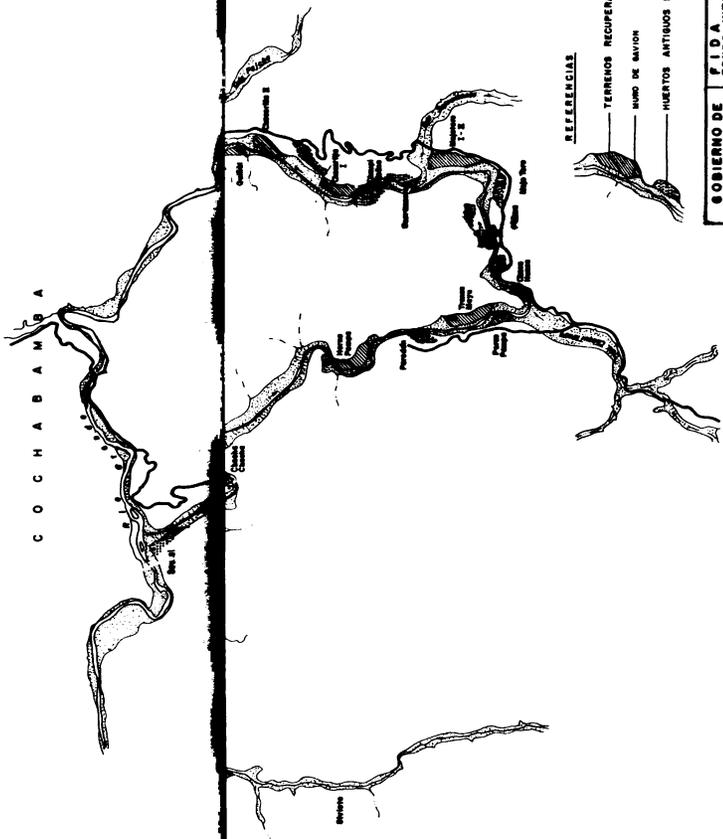
CUADRO N° 33

**CUADRO DE MATERIALES POR ORDEN DE
ALTERABILIDAD - MATERIALES SEDIMENTARIOS**

TIPO DE ROCA	TIPO DE DETERIORO
1. ARCILLA	SATURACION DE AGUA Y TRABAJO MECANICO DE AGUA DERRUMBE E INCISION.
2. YESO	SATURACION DE AGUA Y TRABAJO MECANICO DE AGUA AHONDAMIENTO Y DERRUMBE
3. ARENISCAS MARGOSA	FILTRACION DE AGUA. DESLIZAMIENTO Y DERRUMBES
4. CALIZAS MARGOSA	FILTRACION DE AGUA. DESLIZAMIENTO Y DERRUMBES
5. ARENISCAS CON MATERIAL DE LIGAMENTO ARCILLOSO	SENSIBLE A CONTACTO METEORICO Y ABRASION
6. ARCILLA LAMINAR	SENSIBLE A LA DESHIDRATACION Y AL TRABAJO MECANICO DE AGUA
7. CALIZAS	SENSIBLE AL ACIDO CARBONICO DEL AGUA
8. CONGLOMERADOS CON MATERIAL DE LIGAMENTO ARENO ARCILLOSO	PENETRACION DE AGUA, TRABAJO MECANICO ABRASION
9. CONGLOMERADO DE CALIZAS	TRABAJO MECANICO Y QUIMICO DE AGUA
10. ROCA METAMORFICA	MAS RIGIDA, PERO ATACABLE MUY LENTAMENTE POR ACTIVIDAD QUIMICA Y MECANICA DE AGUA

Fuente: Misión de Identificación

C O C H A B A M B A



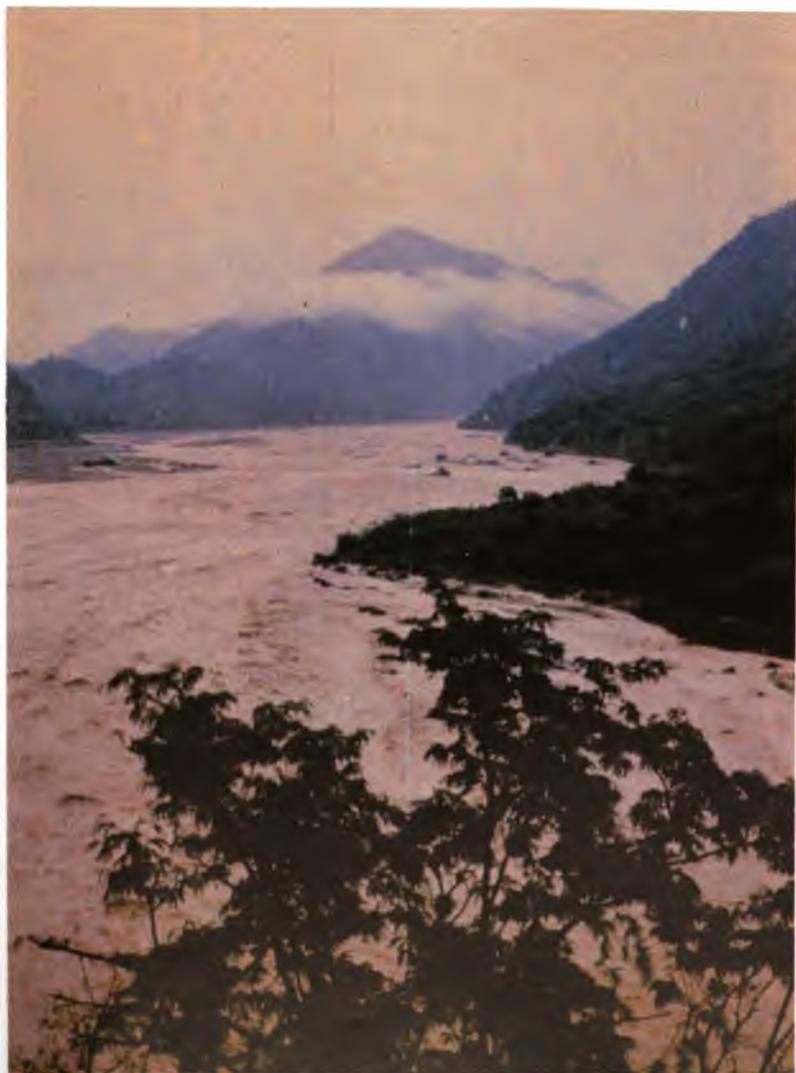
REFERENCIAS

- TERRENOS RECUPERADOS
- HUMO DE MANTON
- HUERTOS ANTIGUOS PROTEGIDOS

GOBIERNO DE BOLIVIA	F I D A
MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERIA	FONDO INTERNACIONAL DE DESARROLLO AGRICOLA
PROYECTO DE RECUPERACION DE TIERRAS DEL NORTE DE SUIQUIYACA	
PROGRAMA DE RECUPERACION DE TIERRAS DEL NORTE DE SUIQUIYACA	
MAPA DE UBICACION	
ESCALA 1:10,000	BOLETIN N.º 10 DE 1962







*El Río Chico en una de sus crecidas
Un reto para beneficiarios y técnicos*



Primer año de ejecución



Estudio del Río que fluye encajonado entre altas montañas

Primer año de ejecución



Promoción del programa entre los beneficiarios

Primer año de ejecución



Se inician las obras con el primer elemento del defensivo: Colchoneta



Primer año de ejecución



Los beneficiarios aprenden a utilizar el material para las defensas



Parte del equipo con que cuenta el programa para transporte de piedra



Primer año de ejecución



Continúa la construcción con la 1ª, 2ª, 3ª elevación. Detrás de la estructura se aprecia la plantación de defensa con sauces

Primer año de ejecución



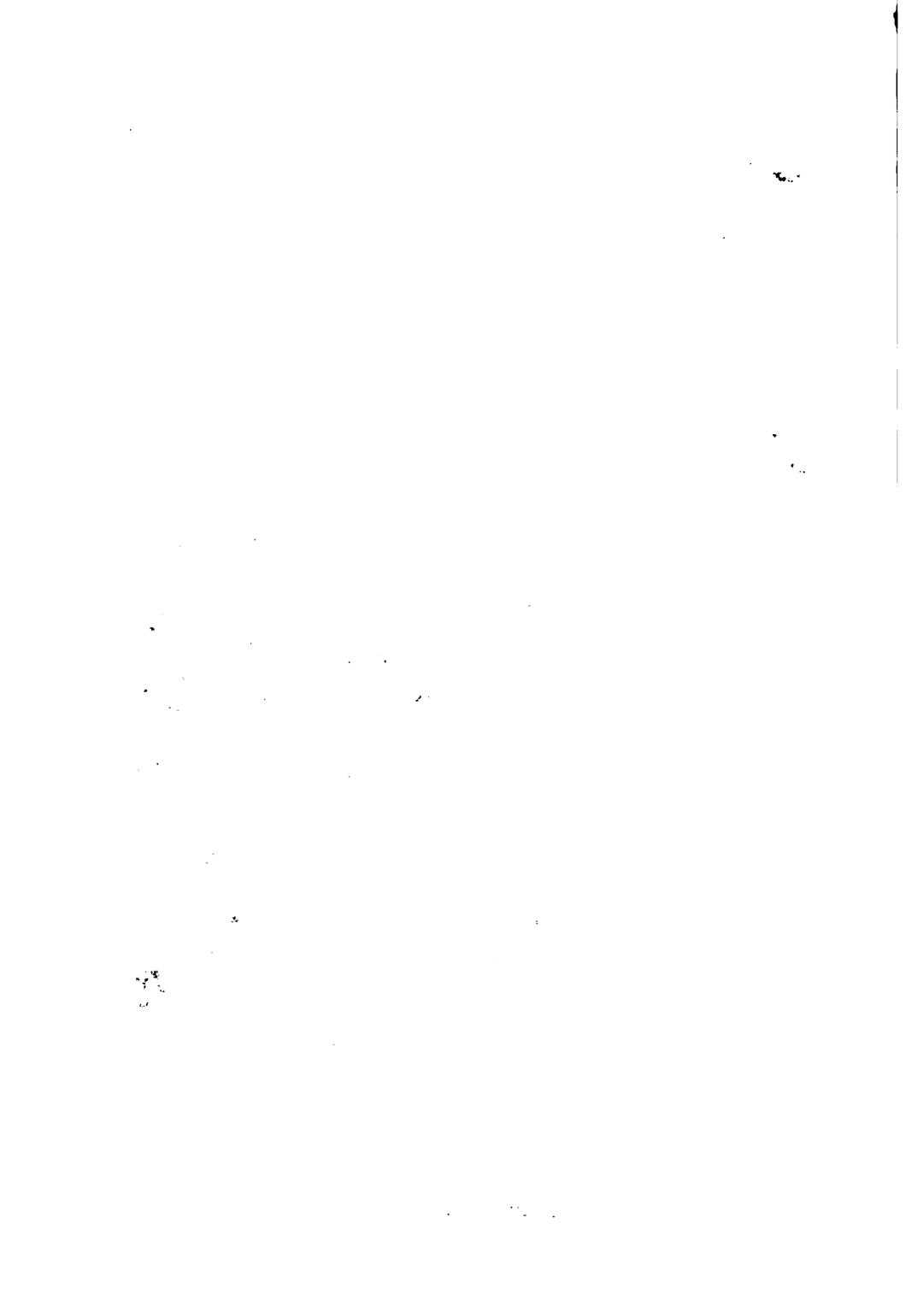
***El defensivo de gaviones tiene 100 metros de largo
y no se enfrentó aún al Río***

111

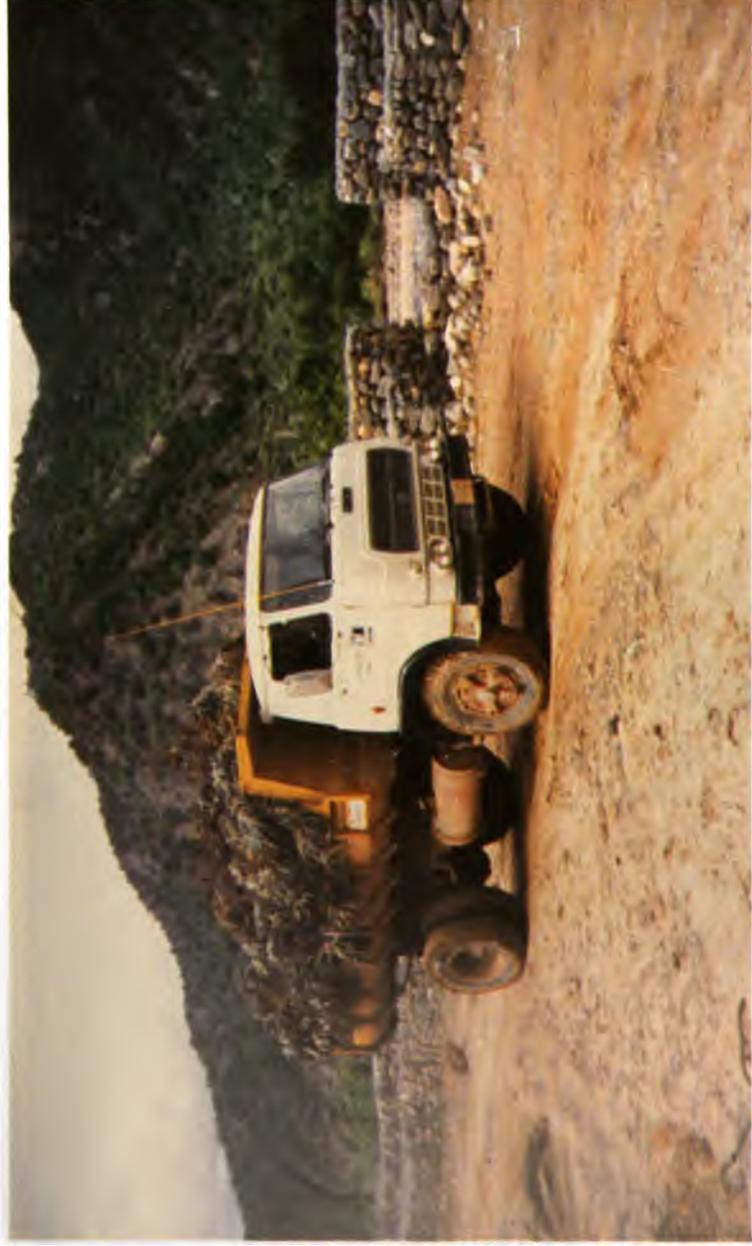
Segundo año de ejecución



La defensa después de la riada. Nótese la deformación de la colchoneta



Segundo año de ejecución



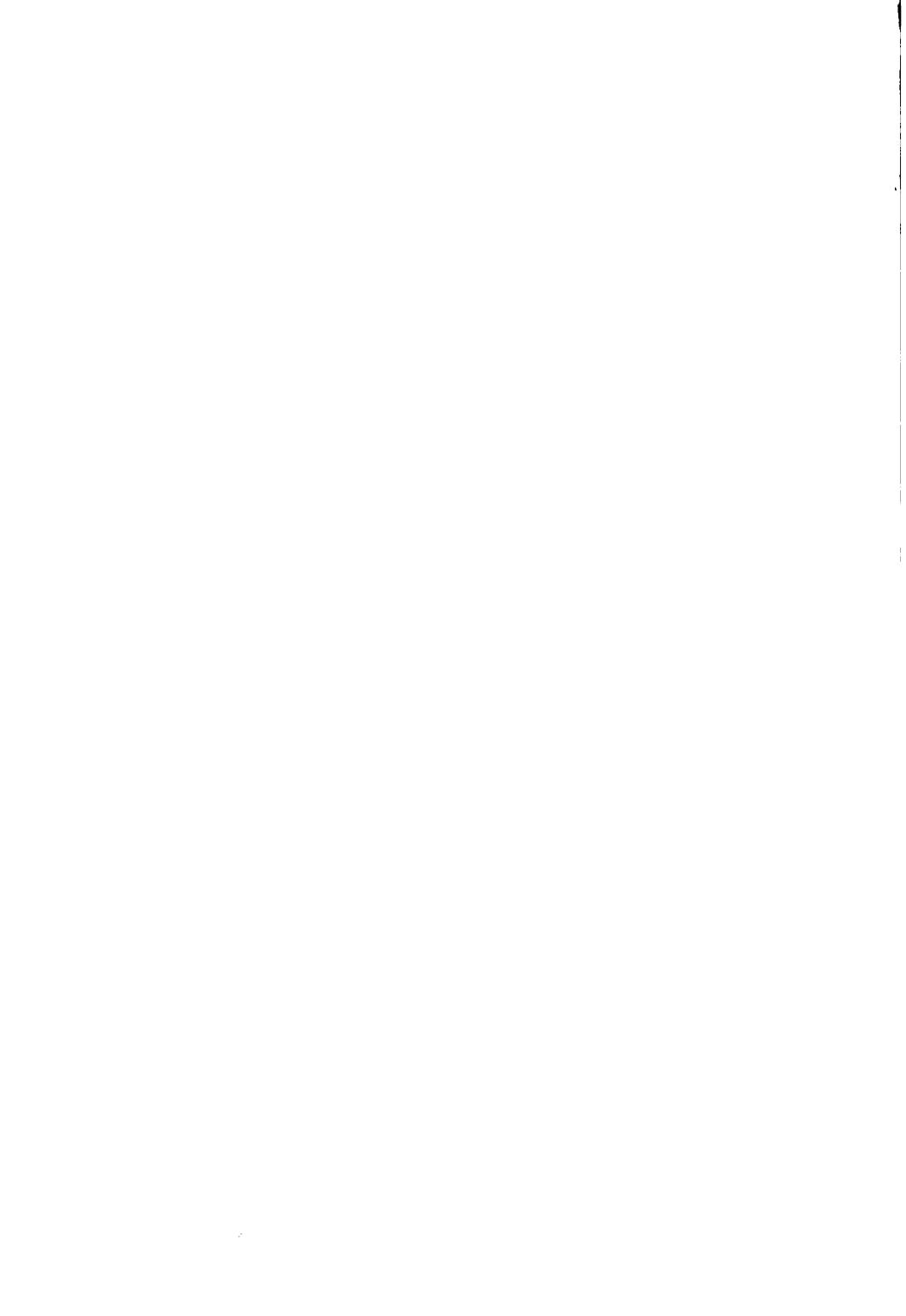
Fase de traslado de ckayaras para la construcción de los cuarteles de sedimentación (lameo)



Segundo año de ejecución



Cuarteles de sedimentación a la espera de la época de lluvias

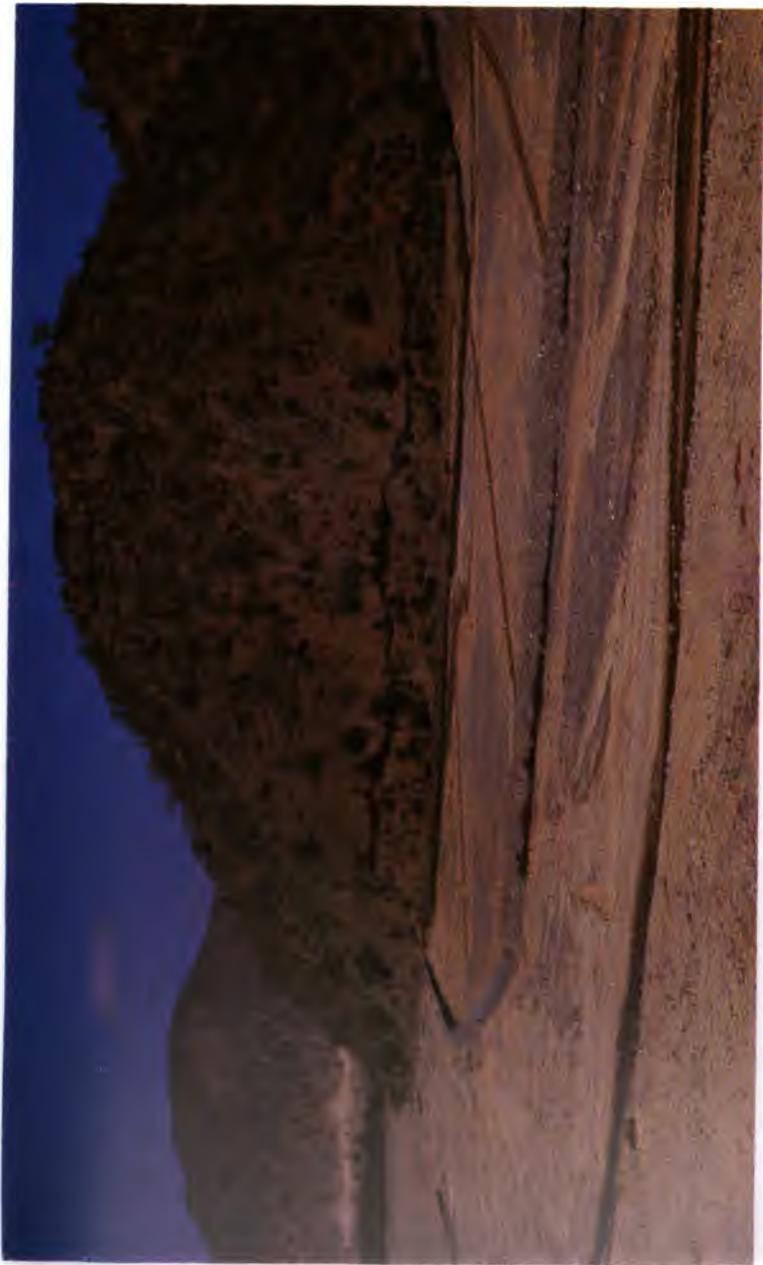


Segundo año de ejecución



Se inicia el terraceo y nivelación del área recuperada (tractor de orugas).

Segundo año de ejecución



Se delimita el área con bordura

Tercer año de ejecución



Cuarteles de sedimentación con agua turbia para habilitar las tierras para el cultivo



Tercer año de ejecución



Tierras recuperadas en su primera producción

cuarto año de ejecución



Tierra recuperada en plena producción



La defensa con gaviones es reforzada con plantaciones de sauces

Cuarto año de ejecución



Se ejecutan trabajos para garantizar la sedimentación y el riego a las tierras recuperadas

cuarto año de ejecución



Los beneficiarios, conjuntamente el componente frutícola, trazan un huerto en tierras recuperadas



Tierra recuperada con defensivo y sistema de riego



Tierra recuperada en plena producción

Campeño de Río Chico.



*"Nos hemos hecho respetar con el río, pero
es necesario continuar con el trabajo."*

BIBLIOGRAFIA

Documento matriz del proyecto de desarrollo agropecuario del Norte de Chuquisaca, Misión de Preparación, FIDA, julio 1981.

Experiencias en el componente de recuperación de tierras, Víctor Pacheco, Sucre - Bolivia, octubre 1990.

Mampostería gavionada en la protección hidrológico forestal, programa manejo de cuentas, CONAF, Santiago de Chile, 1982.

Diseño de obras longitudinales en gaviones, Maccaferri, Brasil, 1989.

Diseño de presas pequeñas del Bureau Of Reclamation, USA. México D.F. 1974.

Dasel E. Hallmark, Presas pequeñas de concreto, editorial Limusa, México, 1978.

Curso de regulación de Ríos, Prof. Hans Bretschneider, Universidad Boliviana, 1976.

Apuntes de hidráulica fluvial. Prof. Pedro E. Picandet y Prof. Eduardo D. Kreimer, Universidad de La Plata. Argentina.

Consultoría en recuperación de tierras en los Ríos Grande y Aziruri, Alfredo Zelada E., P.A.C. - C.E.E. Potosí, febrero 1991.



