

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL



ESTUDIO DEL METODO DE CORRECCION DE
DRENAJE PARA EVITAR LOS HUAYCOS Y SU
APLICACION EN LA QUEBRADA
PEDREGAL-CHOSICA

T E S I S

Para optar el Título Profesional de
INGENIERO CIVIL

RAUL FRANCISCO CARHUAYAL RAMIREZ

Lima - Perú
1992

A mis padres:

LUZ Y FRANCISCO

con todo cariño por apoyarme para lograr una de mis mayores aspiraciones.

A mi hermana Maria Luz.

Gracias por todo Dios mio.

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi mayor agradecimiento al Ing. Julio Kuroiwa H., por su valiosa asesoría y constante apoyo en la realización del presente trabajo. Igualmente al Arqto. José Sato O., Jefe del Departamento de Planeamiento y Mitigación de Desastres, el cual nos brindó todo el apoyo necesario en la investigación.

Deseo agradecer muy especialmente al Ing. Oscar Vásquez H., de quien recibí consejos y sugerencias, y quien fué el que me sugirió desarrollar y ampliar más los conocimientos del tema, para reforzar los primeros avances sobre ésta alternativa en la solución de los desastres ocasionados por los huaycos.

Expreso también mi reconocimiento al Ing. Alfredo Mansen, docente del departamento de Hidráulica e Hidrología de la FIC -UNI., por su apoyo y asesoría personal en el trabajo de drenaje, especialmente el drenaje urbano. Asimismo expreso mi reconocimiento al Ing. Gonzalo Vásquez Ch. quien me apoyó en la edición de la tesis en el centro de computo del CISMID.

Este trabajo fué financiado por la JICA a través de la misión japonesa en el CISMID, a quienes expreso mi agradecimiento. Mi reconocimiento a PREDES por la buena disposición de información y planos para elaborar la tesis.

Finalmente quiero extender mi agradecimiento al grupo de compañeros tesisistas de la Facultad de Ingeniería Civil de la UNI, con quienes realizamos las tesis en el CISMID y a todo el personal administrativo de dicha Institución.

SUMARIO

La presente tesis se realizó con la finalidad de presentar una alternativa para prevenir y evitar la ocurrencia de las lavas torrenciales o huaycos muy frecuentes en nuestro territorio, estos se presentan generalmente en épocas de lluvias y que tienen particular efecto destructivo cuando amenazan a los pueblos o ciudades vulnerables, causando pérdidas humanas, así como de incalculables daños materiales directos e indirectos para la economía y salud del país.

Es entonces necesario lograr la reducción de los efectos de los desastres naturales producidos por los huaycos, y esto se alcanzará dándole mayor énfasis a las actividades pre-desastre, incluyendo la debida planificación, medidas de prevención y preparativos adecuados. Además, diseñar estrategias apropiadas para la aplicación de la ingeniería orientadas a mejorar la capacidad científica y técnica para prevenir y mitigar los efectos de los desastres causados por los huaycos.

Consecuencia de lo expuesto, los capítulos de la presente tesis han sido tratados de una forma diferente a lo que generalmente se presenta en los trabajos de prevención y mitigación de desastres naturales. Primeramente desarrollamos todos los conceptos ligados a los desastres naturales, tales como: desastre, vulnerabilidad, riesgo, peligro y el fenómeno, para luego analizar las conductas de intervención en caso de desastres naturales (antes, durante y después del De-

sastre), y las medidas para la prevención y mitigación de desastres, clasificándose en: a) Medidas estructurales (obras de ingeniería) y b) Medidas No Estructurales (Análisis del peligro, zonificación por riesgo y pronóstico del riesgo). Todo esto como marco general para el estudio de las relaciones ligadas a los desastres ocasionados por los fenómenos naturales.

Según el sistema nacional de Defensa Civil, existen varios fenómenos naturales en el Perú que causan desastres; sin embargo considera a 4 de ellos como los de mayor incidencia y los que más daño han provocado, estos son los terremotos, las inundaciones, los deslizamientos y los más frecuentes los huaycos. La razón del tema es encontrar en la jerarquía de los fenómenos naturales un lugar para los "huaycos", problema que reúne todos los elementos para ser considerado muy peligroso, debido a los alarmantes datos estadísticos de pérdidas materiales y de vidas humanas que se han registrado en nuestro país.

Forma parte de éste análisis el rol que desempeña la Ingeniería en los planes de prevención, priorizando las medidas a nivel regional en base a los datos históricos de los fenómenos naturales que se han presentado a nivel nacional. Determinándose que la Región Lima es una de las de mayor prioridad y dentro de ella la cuenca del río Rímac en donde son más frecuentes los huaycos.

Es así que se recopilan y clasifican en dos partes las medidas y estudios desarrollados para la lucha contra huaycos, muchas de ellos elaborados por diversos investigadores y que generalmente, esta información se encuentra dispersa.

Hay que confesar que hasta ahora, la única fórmula que se ha seguido para contrarrestar los huaycos e inundaciones ha sido la de impedir sus efectos mediante presas y muros de contención, es decir se ataca cuando el agua ya es un peligro y una amenaza; pero no se ha pensado en la parte hidráulica para controlar las precipitaciones pluviales, cuando son fácilmente controlables por la mano del hombre, antes de que constituyan un serio peligro capaz de causar daños irreparables. Este fundamento se basa aplicando los conocimientos sobre la formación y mecánica del huayco, así como de las recomendaciones realizadas por el Ing. Geólogo Oscar Vásquez Huamani, el cual propone soluciones enmarcadas dentro del concepto, de que es necesario construir en las laderas de los cerros, un sistema de canales drenadores disipadores que le den la dirección, aquietamiento y dosifiquen el drenaje de las aguas torrenciales que caen sobre las laderas, denominándolo a este como el **METODO DE CORRECCION DE DRENAJE**, motivo por el cual la presente tesis presenta la metodología de estudio del "METODO DE CORRECCION DE DRENAJE PARA EVITAR LOS HUAYCOS" como medida preventiva y los lineamientos para su posible aplicación en la quebrada el Pedregal de Chosica, denominada cuenca piloto por muchos investigadores debido a que este fenómeno tiene una periodicidad durante las épocas de lluvias intensas, fundamentalmente entre los meses de diciembre a marzo.

Posteriormente se realiza un análisis del drenaje urbano y de sus recomendaciones que deben desarrollarse a modo de ejemplo en todo casco urbano para evitar la erosión del suelo y las posibles zonas de inundación.

Cabe recalcar que en todo éste proceso hemos contado con el apoyo de los investigadores del departamento de Prevención y Mitigación de Desastres del CISMID-UNI, así como del asesoramiento del Ing. Alfredo Mansen y de los docentes del departamento de Hidráulica e Hidrología de la FIC-UNI.

Es así que presentamos la teoría del drenaje en las laderas, los factores que influyen en la aplicación del sistema de corrección del drenaje y se determinan las posibles dimensiones de los drenes (canales o terrazas) en función de la pendiente de la ladera; se analizan factores constructivos, los taludes de corte y de relleno, el espaciamiento de drenes, para lo cual contaremos con las características geológicas de la zona.

Nos hemos centralizado en la ciudad de Chosica como zona de estudio, debido a que ha venido soportando frecuentes huaycos a lo largo de su historia, muchos de ellos de gran magnitud originadas en las quebradas de Quirio y San Antonio de Pedregal. Chosica está ubicada en el Km 38 de la Carretera Central y se desarrolla a ambos márgenes del río Rímac. Su población urbana es de aproximadamente de 90,000 habitantes, habiéndose ocupado casi la totalidad del área disponible para la expansión urbana, incluyéndose quebradas de gran dimensión como Quirio y San Antonio de Pedregal, debido a la acelerada explosión demográfica y no habiéndose realizado una adecuada planificación urbana y como consecuencia de lo cual los pobladores ocuparon los conos de deyección de las quebradas e invadiéndose inclusive su cauce.

Se realizarán los siguientes estudios para la metodología y aplicación del sistema de drenaje en la sub-cuenca el Pedregal en base a los planos topograficos que existen actualmente (1:12,500).

1. Estudio Geológico y Geomorfológico.
2. Estudio Hidrológico, en la cual hemos determinado las curvas de intensidad-duración-frecuencia mediante un método empírico cuyos resultados se ajustan a los encontrados por otros investigadores basados en encuestas y experiencias anteriores, debido a que en la zona no se cuenta con instrumentación hidrológica para las investigaciones. Estas curvas son de gran importancia en los lineamientos de diseño para los drenes como se vera en el capítulo VI.
3. Estudio Geodinámico.
4. Estudio Sismico.

Finalmente se estudiará los métodos o sistemas que logren la reducción significativa de los efectos de los desastres naturales aplicando medidas "No Estructurales" en la lucha contra los huaycos, avalanchas y deslizamientos de tierras que mediante un análisis del peligro natural se puedan determinar zonas o áreas de riesgo, así como también la posibilidad de pronosticar un huayco originado por lluvias torrenciales. En nuestro caso éste análisis lo realizamos en la ciudad de Chosica a modo de ejemplo, y adicionalmente presentamos una propuesta de planes para la prevención y mitigación desastre ocasionado por los huaycos.

Como resultado de estos estudios se concluye que existen soluciones reales, efectivas y económicas para evitar la ocurrencia de un huayco, mediante la cons-

trucción de un sistema de drenaje, que permita corregir y evacuar las aguas pluviales de las partes altas y evitar la saturación del suelo en las partes bajas de una cuenca. Dicho sistema de drenaje pluvial tiene que ser complementado con el control de cárcavas y la reforestación en una segunda etapa, tal como el que se propone para la cuenca del río Rímac de acuerdo a su zonificación climática.

Así mismo se ha establecido un período de retorno de 5 a 6 años aproximadamente, para que se presente por lo menos un huayco en las quebradas de bordean a la ciudad de Chosica, cuya intensidad sería similar a los ocurridos en 1987 o 1989.

Otro de los resultados importantes es el análisis para la determinación del riesgo relativo en donde se presenta una metodología muy simple y rápida, basados en los factores generadores de huaycos, es decir el tipo de suelo que presenta la quebrada, la topografía, la vegetación, la precipitación anual promedio que cae sobre la cuenca y un factor de uso de suelo de la parte baja de la quebrada; se han determinado rangos de valores del riesgo relativo para la cuenca del río Rímac, a fin de evaluar las subcuencas afluentes al río. Complementando los resultados de la tesis se presenta el pronóstico de riesgo, que determina la predicción temporal del huayco, basado principalmente en el estudio de las curvas de intensidad- duración-frecuencia de las precipitaciones pluviales en la zona de Chosica. Cabe mencionar que de instalarse un estación pluviométrica o un red de ellos en la zona mencionada , el pronóstico de ocurrencia de un gran huayco se podría dar 30 minutos antes de presentarse el fenómeno.

Todo lo expuesto se fundamenta en la convicción de que la humanidad cuenta ya con conocimientos suficientes que pueden aplicarse a efecto de atenuar las consecuencias de los desastres naturales. No se conoce todo ciertamente pero se conoce lo suficiente como para intentar el esfuerzo.

Tabla de Contenido

INTRODUCCION	1
CAPITULO I: DESASTRES NATURALES	2
1.1. DEFINICIONES Y RELACIONES LIGADAS A LOS DESASTRES NATURALES	5
1.1.1. DESASTRE	5
1.1.2. VULNERABILIDAD	6
1.1.3. RIESGO	7
1.1.3.1. RIESGOS INDUCIDOS	7
1.1.4. PELIGRO	8
1.1.5. FENOMENO	8
1.1.5.1. AGENTES ACTIVOS DEL FENOMENO	9
1.1.5.2. EFECTOS EXTERNOS DEL FENOMENO	9
1.2. CONDUCTAS DE INTERVENCION ANTE LOS DESASTRES NA- TURALES	9
1.2.1. ANTES DEL DESASTRE	10
1.2.1.1. PREVENCION	10
1.2.2. DURANTE EL DESASTRE	10

1.2.2.1. MITIGACION	10
1.2.2.2. PREPARACION	11
1.2.3. DESPUES DEL DESASTRE	11
1.2.3.1. EMERGENCIA	11
1.2.3.2. RECUPERACION	12
1.2.4. CONCEPTUALIZACION DE "PREVENCION Y MITIGACION"	13
1.3. MEDIDAS PARA LA PREVENCION Y MITIGACION DE DESAS- TRES	13
CAPITULO II: DESASTRES NATURALES EN EL PERU	17
2.1. EL PERU Y SUS DESASTRES MAS FRECUENTES	17
2.2. TERREMOTOS	18
2.3. INUNDACIONES	20
2.4. DESLIZAMIENTOS	21
2.5. HUAYCOS	24
2.5.1. MECANISMO DE LOS HUAYCOS	26
2.5.2. TIPOS DE HUAYCOS	29
2.6. LA INGENIERIA EN LOS PLANES DE PREVENCION	33
2.6.1. FENOMENOS NATURALES CONTROLABLES.-	33
2.6.2. FENOMENOS NATURALES NO CONTROLABLES	34
2.6.3. PRIORIZACION DE LOS ESTUDIOS DE PREVENCION Y MI- TIGACION DE DESASTRES EN EL PERU	34

CAPITULO III: MEDIDAS ESTRUCTURALES PARA LA LU- CHA CONTRA HUAYCOS	42
3.1. MEDIDAS ALTERNATIVAS PARA LA PREVENCION	42
3.1.1. ANDENES	42
3.1.1.1. TIPOS DE ANDENES	45
3.1.1.2. CARACTERISTICAS DE LOS ANDENES EN LA CUENCA DEL RIO RIMAC	46
3.1.2. METODOS DE CULTIVO	48
3.1.3. REFORESTACION	49
3.1.4. METODOS MECANICOS O DE DRENAJE	51
3.2. MEDIDAS ALTERNATIVAS PARA LA MITIGACION	53
3.2.1. PRESAS SABO	53
3.2.2. MUROS DE MANPOSTERIA TIPO PIRCA	59
3.2.3. ENMALLADOS	59
3.2.4. ENCAUZAMIENTO DEL HUAYCO	61
3.2.5. DIQUES PARA EL CONTROL DE CARCAVAS	62

CAPITULO IV: ESTUDIO DEL METODO DE CORRECCION DEL DRENAJE PARA EVITAR LOS HUAYCOS	65
4.1. SISTEMA DE DRENAJE	67
4.1.1. DRENAJE NATURAL	69
4.1.2. DRENAJE ARTIFICIAL	72
4.2. FACTORES QUE INFLUYEN EN EL SISTEMA DE DRENAJE ..	74
4.3. TERRAZAS DE DRENAJE	80

4.3.1. ELEMENTOS Y DEFINICIONES	80
4.3.2. TIPOS DE TERRAZAS	84
4.3.3. DEDUCCION DE FORMULAS	93
4.4. CANALES COLECTORES	103
4.4.1. ELEMENTOS Y DEFINICIONES	105
4.4.2. TIPOS DE CANALES	107
4.4.3. DEDUCCION DE FORMULAS PARA EL CANAL	108
4.5. ESPACIAMIENTO DE DRENES	117
4.6. APLICACIONES SEGUN LA ZONA	119
4.6.1. ZONIFICACION CLIMATOLOGICA DE LA CUENCA DEL RIMAC	122
 CAPITULO V: ZONA DE ESTUDIO	 126
5.1. CIUDAD DE CHOSICA	126
5.1.1. UBICACION	126
5.1.2. VIAS DE ACCESO	128
5.1.3. CLIMA Y VEGETACION	128
5.1.4. SUELOS	129
5.1.5. POBLACION	130
5.1.6. SOCIOLOGIA	133
5.1.7. DESASTRES NATURALES EN CHOSICA	136
5.2. SUB-CUENCA EL PEDREGAL	140
5.2.1. CARACTERISTICAS GENERALES	140
5.2.2. GEOLOGIA	143
5.2.3. GEOMORFOLOGIA	147

5.2.3.1. PARAMETROS GEOMORFOLOGICOS	149
5.2.3.2. ORIGEN GEOMORFOLOGICO DE LA SUBCUENCA SAN ANTONIO DE PEDREGAL	154
5.2.4. GEODINAMICA EXTERNA	157
5.2.4.1. FACTORES GEODINAMICOS	158
5.2.5. HIDROLOGIA	160
5.2.5.1. PRECIPITACIONES	161
5.2.5.2. ESTUDIO DE LA INTENSIDAD	162
5.2.5.3. AJUSTE MATEMATICO DE LAS CURVAS INTENSIDAD-DURACION-FRECUENCIA	168
5.2.6. METEOROLOGIA	174
5.2.7. SISMOLOGIA	175
CAPITULO VI: LINEAMIENTOS PARA EL DISEÑO DEL SIS- TEMA DE DRENAJE PARA LA SUBCUENCA EL PEDREGAL	177
6.1. ANTEPROYECTO	178
6.1.1 PLANOS	178
6.1.3. INFORMACION:	181
6.2. LINEAMIENTOS PARA EL DISEÑO	185
6.3. EVALUACION DEL ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL	186
6.3.1. DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO (C)	187
6.3.2. DETERMINACION DE LAS INTENSIDADES MAXIMAS DE PRECIPITACION (I)	189

6.3.3. AREA DE LA CUENCA ELEMENTAL	193
6.3.4. GASTO UNITARIO	195
6.3.5. PENDIENTE LONGITUDINAL	200
6.3.6 GASTOS MAXIMOS DEL DREN	203
6.3.7. DESAGUES O DRENES VERTICALES	208
6.4. ESTRUCTURAS CONEXAS AL DRENAJE	216
6.4.1. BADENES DE PASO	216
6.4.1.1. DIMENSIONAMIENTO	218
6.4.2. ENCAUZAMIENTO	221
6.4.3. OBRAS DE PROTECCION	223
6.5. DRENAJE URBANO	223
6.5.1. CONTROL DEL DRENAJE URBANO	226
6.5.2. METODO PARA EL CALCULO DE OBRAS DE DRENAJE EN EL PEDREGAL	228
6.5.2.1. CUNETAS	232
6.5.2.2. LIMITACIONES	234
6.6. EVALUACION ECONOMICA	235

CAPITULO VII: MEDIDAS NO ESTRUCTURALES PARA LA

LUCHA CONTRA HUAYCOS	240
7.1 ANALISIS DE LOS PELIGROS NATURALES	240
7.1.1. LA APROXIMACION DE LA INGENIERIA	241
7.1.2. LA APROXIMACION GEOMORFOLOGICA	242
7.2. ANALISIS DE LOS PELIGROS NATURALES EN CHOSICA ...	243

7.2.1. MAPEO DIRECTO	243
7.2.1.1. MAPEO DIRECTO DE LAS QUEBRADAS DE CHOSICA	244
7.2.1.2. MAPEO DIRECTO DE LA CIUDAD	245
7.2.2. MAPEO INDIRECTO	251
7.2.2.1. RIESGO RELATIVO	252
7.2.2.2. PRONOSTICO DEL RIESGO	256
7.3. PROPUESTA DE PLANES PARA LA PREVENCION Y MITI- GACION DE DESASTRE OCASINADO POR HUAYCOS	259
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	263
CONCLUSIONES	263
RECOMENDACIONES	267
BIBLIOGRAFIA	272
ANEXOS	276

INTRODUCCION

Los huaycos (vocablo originario del Perú), son las avenidas torrenciales violentas que descienden por las quebradas como ríos torrentosos cargados de materiales sólidos en los que pueden viajar bloques rocosos de varias toneladas de peso. Este fenómeno tiene como agente activo a las lluvias y como resultado de ello, el objetivo principal del método de corrección de drenaje consiste en controlar o corregir los escurrimientos superficiales originado por las lluvias, mediante un sistema de drenaje aplicado a una cuenca de alto riesgo; este sistema de drenaje puede estar conformado por canales colectores, terrazas de drenaje, andenes o un sistema mixto, de acuerdo a las condiciones topográficas e hidrológicas que presente la cuenca estudiada. Finalmente el escurrimiento de las precipitaciones pluviales son conducidas a zonas de desagüe o de riesgo nulo para una zona poblada.

Dicho sistema de drenaje permitirá lograr los objetivos propuestos, y además con ello se obtendrá el control de la erosión y se podrá reforestar de manera efectiva una zona árida. Para lograr este objetivo hace falta conocer la cuenca de aplicación y realizar estudios de geología, hidrología, topografía (pendientes características), etc., todo lo cual nos permita señalar inicialmente y poder sugerir el sistema de drenaje más conveniente, así como su zonificación de riesgo.

CAPITULO I: DESASTRES NATURALES

Desde hace más de 4,000 millones de años, el planeta está experimentando diversas modificaciones externas e internas, a consecuencia de leyes y procesos inmutables, variando desde las más violentas hasta las imperceptibles, representando para el hombre un riesgo latente.

Estas diversas modificaciones físicas que se presentan en todas las partes del mundo, se manifiestan sin mucha anticipación y son relativamente de corta duración. Cuando impactan de manera negativa sobre una comunidad, sus efectos se traducen en millones de pérdidas de vidas humanas y daños o destrucción a sus bienes materiales. En los últimos 20 años el número de muertos por causa de Desastres Naturales ha sido del orden de los 3 millones de personas y con 2,000 millones de personas afectadas por pérdidas económicas y sociales. En estos 20 años los daños directos se estiman en más de 100 mil millones de dólares y la pérdida total, considerando efectos de largo plazo en una cifra de 3 a 4 veces mayor.

La memoria colectiva es muy corta aún en el caso de los más grandes desastres naturales relativamente recientes, pocas personas recuerdan con temor los 23,000 muertos a causa de la erupción del volcán del Ruiz en Armero-Colombia, o las

600,000 personas que quedaron sin viviendas en República Dominicana a raíz del huracán David, o el terremoto de MANAGUA que causo pérdidas materiales por un monto superior al producto bruto interno de ese país. No debe extrañarnos que para millones de peruanos el terremoto-alud-aluvión del 31 de mayo de 1970, que causó la muerte de unas 70,000 personas en Ancash, sea un vago recuerdo de un hecho histórico y no de un problema permanente inherente y recurrente de nuestro territorio.

La creciente concentración de poblaciones en zonas urbanas y el desarrollo de la infraestructura física en áreas propensas a peligros naturales podrían dar como resultado que el número y la magnitud de los desastres naturales continúe aumentado durante este Decenio Internacional, lo cual sería un contra sentido para reducir de manera efectiva los desastres naturales en los próximos 10 años. Es absolutamente indispensable realizar las medidas de prevención y mitigación que disminuyan la vulnerabilidad de las comunidades. Pero existen dos factores importantes que parecerían ajenos al problema y dificultan esta tarea, ellos son el aumento de la población y el calentamiento de la tierra.

Respecto a la primera, si las tendencias actuales continúan el Tercer Mundo duplicaría su población en 33 años, en algunos países como el nuestro o Ecuador, esto puede suceder en un plazo de 25 años. A pesar de reducciones drásticas que pudieran darse en las tasas de crecimiento, las poblaciones indican que los nacimientos y muertes no llegarían a un equilibrio durante 100 años, la gran concentración de gente joven en nuestros países recién están llegando a los años fértiles.

Por otro lado se está produciendo un calentamiento de la tierra, el efecto invernadero sería la causa de esta tendencia del calentamiento global, los gases atmosféricos incluyendo el anhídrido carbónico, el metano, son opacos a la radiación infrarroja, a medida que la cantidad de estos gases aumentan en la atmósfera, llega más radiación solar a la superficie terrestre y quedará retenido el calor generado.

Aunque se apliquen todas las medidas correctivas necesarias para reducir la inyección de anhídrido carbonico a la atmósfera, parece inevitable que la cantidad de ese gas en la atmósfera se duplique en los próximos 50 a 100 años, si eso ocurre. Los mejores modelos climáticos actuales predicen un incremento de 2°C en la temperatura media anual del globo, es fácil imaginarse las consecuencias de esto en términos de Desastres Naturales.

Las Naciones Unidas proclamó el 22 de diciembre de 1989, por unanimidad a los años 90 como el **“Decenio Internacional para la Reducción de los Desastres Naturales”**. La resolución de la asamblea solicita a las Naciones del mundo dar especial atención a aquellos programas y proyectos diseñados para reducir la pérdida de vidas, los daños materiales y el impacto social y económico causado por los desastres naturales.

De lo expuesto y ante el reto que nos toca enfrentar en esta década, creemos que es necesario tener un conocimiento bien definido del Desastre y del sistema de relaciones que la rodean como son la vulnerabilidad, el riesgo, el peligro, el

fenómeno, etc., para luego proponer propuestas o conductas de intervención ante los Desastres Naturales.

1.1. DEFINICIONES Y RELACIONES LIGADAS A LOS DESASTRES NATURALES

1.1.1. DESASTRE

Una de las definiciones de "DESASTRE" que utiliza las Naciones Unidas (UNDRO), perteneciente a Charles E Fitz, lo describe como "Acontecimiento singular, en el que una sociedad experimenta tales pérdidas en sus miembros o pertenencias materiales, que la estructura social queda desorganizada y se impide el cumplimiento de sus funciones esenciales".

Esta definición, nos permite apreciar que el calificativo no se aplica el agente activador, sino a las consecuencias sobre las estructuras sociales y económicas que tiene el mismo. Esto se aprecia más claramente en otra definición que también utiliza la fuente mencionada. "Efecto de ciertos fenómenos naturales (o antrópicos) cuyos cambios producidos afectan una fuente de vida realizado en función de una geografía determinada". En consecuencia, la conceptualización teórica del concepto DESASTRE, nos impide hablar de "DESASTRE NATURAL", en terminos estrictos siendo más correcto calificarlo como "DESASTRE ORIGINADO POR FENOMENOS NATURALES", o "DESASTRE POR CAUSAS NATURALES".

1.1.2. VULNERABILIDAD

La conceptualización del termino "DESASTRE", esta íntimamente ligado al concepto de "VULNERABILIDAD". La conceptualización de este término es pues importante para el establecimiento del sistema de relaciones en el proceso de desastre. Para tal efecto, entendemos la vulnerabilidad como: "Condición de inseguridad del ambiente frente a la acción de fenómenos naturales o humanos que pueden devenir en desastre. Las condiciones peligrosas o situaciones vulnerables son propios del accionar humano, no atribuibles a causas naturales. Tienen efectos acumulativo y afectan tanto a los elementos materiales como los no resistentes, a los ambientales como la concentración poblacional excesiva, viviendas mal situadas, vías angostas, falta de seguridad, obstáculos materiales, locales no apropiados, techos pesados y elementos sociales como el elevado nivel de pobreza".

El proceso de sub-desarrollo registrado en todo el mundo acrecienta la vulnerabilidad de las personas ante acontecimientos físicos extremos; el 95% de las muertes atribuibles directamente a las catástrofes, ocurren en países en vías de desarrollo. El Perú no escapa de esta realidad, porque en su violento proceso de urbanización, la población de menores recursos o ingresos ocupan las zonas de menor valor coincidiendo con los de más alto riesgo, como son la mayoría de los asentamientos humanos e incrementando las condiciones de vulnerabilidad de su propio habitat.

En conclusión, cuanto más crece una ciudad sin conocimiento de riesgo, ésta se hace más vulnerable a los desastres provocados tanto por fenómenos naturales como los ocasionados por el propio ser humano.

1.1.3. RIESGO

Este es otro concepto asociado con los anteriores y lo entendemos como la "Medida de la posibilidad de ocurrencia de un desastre, motivado por una situación vulnerable ante un determinado fenómeno peligroso". Según ello definimos el Riesgo específico como el grado previsto de pérdidas (número de víctimas, daños a la propiedad y pérdidas económicas), por causa de un determinado fenómeno natural y en función tanto del riesgo natural como la vulnerabilidad. Consideramos Riesgo aceptable al nivel de consecuencia del fenómeno igual o menor al previsto.

1.1.3.1. RIESGOS INDUCIDOS

Son los riesgos producidos por el hombre mismo en su condición de ser complejo y aún imperfecto que voluntariamente o involuntariamente provoca situaciones de emergencia.

Los desastres derivados de la acción humana, cualquiera sea su origen, son principalmente los siguientes:

- Contaminación ambiental
- Desertificación.
- Colapso de Edificaciones y obras de Ingeniería.
- Incendios urbanos y explosiones
- Accidentes masivos
- Efectos de la guerra sobre la población civil.
- Pánico generalizado.
- Sabotajes, etc.

1.1.4. PELIGRO

Es la condición inestable que puede devenir en desastre. Un peligro natural es una condición del medio ambiente o también la probabilidad que se produzca dentro de un período determinado y en una zona dada, un fenómeno potencialmente dañino.

1.1.5. FENOMENO

Evento o suceso de origen natural (fenómeno natural) o humano (fenómeno antrópico) capaz de producir alteraciones notables en alguna forma de vida o en su entorno geográfico.

Un fenómeno es peligroso cuando por su tipo y magnitud, así como por lo sorpresivo de su ocurrencia, es potencialmente dañino. El grado de peligrosidad es mayor según la probabilidad de ocurrencia y la extensión de los efectos.

1.1.5.1. AGENTES ACTIVOS DEL FENOMENO

Se consideran como tales a los fenómenos producidos por procesos geológicos y meteorológicos: **Sismos, vulcanismo, lluvias intensas, alteraciones climaticas, etc.**

1.1.5.2. EFECTOS EXTERNOS DEL FENOMENO

Comprenden todos aquellos producidos por la acción de un agente activo sobre un medio geográfico inestable: **inundaciones, erosión de riberas, huaycos, desprendimientos, derrumbes, deslizamientos, avalanchas, tsunamis, heladas, sequias, etc.**

1.2. CONDUCTAS DE INTERVENCION ANTE LOS DESASTRES NATURALES

Establecidos los conceptos teóricos a utilizar en el estudio y su sistema de relaciones, así como los aspectos considerados determinantes en la generación de los desastres, se analizan las conductas de intervención generadas por diversos organismos nacionales e internacionales a fin de evitar la producción de desastres.

Se suele hablar de "PREVENCION Y MITIGACION", al referirse a las acciones que evitan el proceso de desastre. Esta denominación es utilizada por las Naciones Unidas, la misma que proporciona una definición de dichos conceptos.

1.2.1. ANTES DEL DESASTRE

1.2.1.1. PREVENCIÓN

“Medidas designadas a evitar que fenómenos naturales, devengan en desastres o situaciones de emergencia”. Se traduce en el análisis de riesgos, normatividad constructiva y planeamiento urbano. Afecta las causas de la vulnerabilidad a fin de reducirlas o eliminarlas. También se define como políticas para advertir o eliminar desastres.

De la definición anterior podemos afirmar que la prevención no sólo busca la protección de la vida humana sino también la de los elementos que sean posibles. Hay que educar a la población en lo que significa la relación hombre naturaleza y la necesidad de mantener este equilibrio.

1.2.2. DURANTE EL DESASTRE

1.2.2.1. MITIGACIÓN

“Medidas y acciones destinadas a reducir los riesgos sobre los hombres y su entorno. La observación de la regulaciones de construcción y uso del suelo, así como un plan de emergencia bien ejecutado, tiene efecto mitigador”.

La mitigación también comprende medidas a largo plazo que se utilizan para alterar el medio físico mediante la delimitación y control de las zonas expuestas a desastres, a fin de reducir sus efectos.

En cuanto al concepto de mitigación, este se asocia con un tercer concepto que es la preparación.

1.2.2.2. PREPARACION

“Acción destinada a minimizar la pérdida de vidas y daños así como a organizar y facilitar el pronto rescate, asistencia y rehabilitación en caso de un Desastre”.

El mantener un sistema de información antes y durante la emergencia es esencial, por lo que se considera importante su educación, difusión y entrenamiento regular de la población y de los que tengan que ayudar en las operaciones de socorro como son los simulacros en caso de desastre. En nuestro país, el Instituto Nacional de Defensa Civil asume la mayoría de estas actividades institucionales.

1.2.3. DESPUES DEL DESASTRE

1.2.3.1. EMERGENCIA

Etapa que se origina después del desastre y que algunos lo definen de la siguiente forma:

“Situación eventual a consecuencia del desastre, donde se trata de aportar protección a las familias vulnerables” (INADUR, 1983). “Estado de necesidad que afecta la vida, salud y la economía de los habitantes de uno o más centros

poblados producidos por fenómenos naturales, o por la mano del hombre". (INADUR, 1983).

Por lo tanto, la emergencia es proporcional a la vulnerabilidad de una población e inversamente proporcional a las acciones de prevención.

1.2.3.2. RECUPERACION

Etapa posterior a la emergencia donde se busca el restablecimiento de los procesos y actividades sociales y económicos que hayan sido paralizados afectados por el desastre, así como la rehabilitación, y reconstrucción de la infraestructura física afectada tratando de corregir las condiciones de vulnerabilidad que dieron lugar al desastre.

Según las consecuencias del desastre se debe elaborar un Plan de Recuperación que debe contemplar lo siguiente:

- 1. Reubicación** de un determinado número de pobladores o a todo el pueblo, ya sea por pérdida total de viviendas o por estar ubicado en una zona peligrosa y expuesta a futuros desastres.
- 2. Rehabilitación** de viviendas dañadas, esto lo puede asumir cada familia, buscando el apoyo o asistencia técnica de instituciones ligadas a la construcción, para que su trabajo de restauración le proporcione seguridad.

1.2.4. CONCEPTUALIZACION DE "PREVENCION Y MITIGACION"

Según lo expresado anteriormente, las acciones de "Prevención" se orientan a reducir o eliminar las condiciones de vulnerabilidad e inestabilidad actuando en la fase previa a la ocurrencia del desastre. Las acciones de "Preparación y Mitigación" se aplican durante y después de la ocurrencia del Desastre, la que a su vez da paso a las acciones de recuperación.

Entonces la expresión conceptual teórica debe ser "PREVENCION Y PREPARACION DE DESASTRES" o "MITIGACION DE DESASTRES" definido como el conjunto de medidas anticipadas que se deben tomar para evitar la posibilidad de Desastres, es decir reducir la vulnerabilidad; sin embargo las Naciones Unidas utiliza el término "PREVENCION Y MITIGACION DE DESASTRES" refiriéndose a su significado usual.

1.3. MEDIDAS PARA LA PREVENCION Y MITIGACION DE DESASTRES

En algunos de los trabajos consultados, suele clasificarse las medidas recomendadas para la prevención y mitigación de desastres en:

I.- MEDIDAS ESTRUCTURALES o de Ingeniería, comprendiendo aquellas soluciones materiales, generalmente orientadas a controlar o evitar los fenómenos mismos o sus efectos destructivos.

II.- MEDIDAS NO ESTRUCTURALES, orientadas hacia los mecanismos sociales que permitan reducir los efectos del desastre, como son la planificación y la microzonificación de los centros poblados.

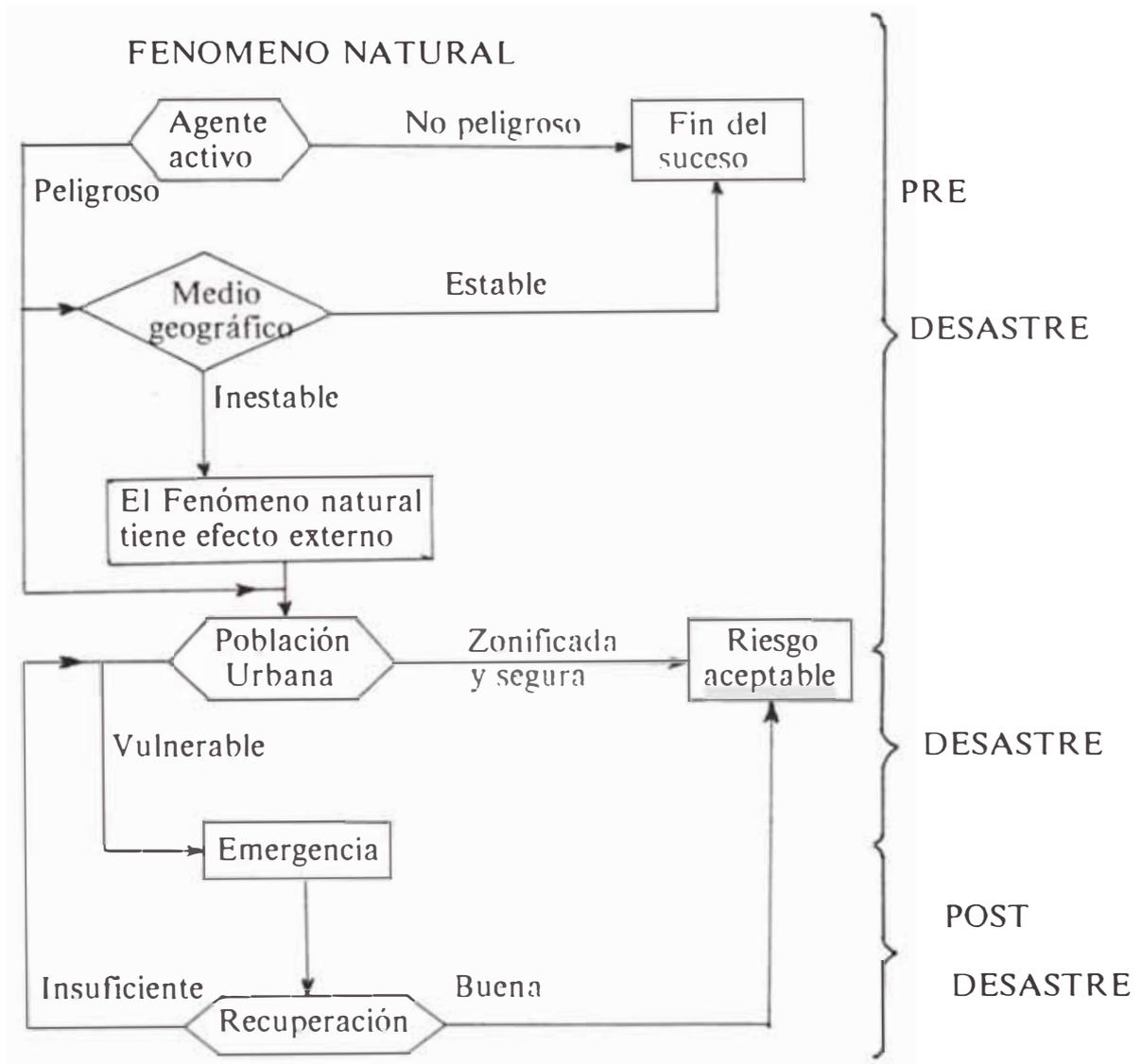
El primer tipo de medida es el que predomina en los países que poseen alta tecnología, con gran disponibilidad de recursos económicos y materiales (Japón, E.E.U.U., etc.), pero estas medidas pueden ser adaptadas o modificadas en otros países menos desarrollados de acuerdo a sus limitaciones.

El segundo tipo de medida es el que suelen adoptar los países subdesarrollados con escasos recursos económicos y materiales.

Felizmente existe la convicción a nivel Internacional que el apoyo al Decenio Internacional por parte de quienes pueden hacer algo, sean instituciones o individualmente, tengan el imperativo de colaboración pues el objetivo es reducir la pérdida de vidas y daños materiales por causas de desastres naturales. Una de las estrategias es lograr que los diversos protagonistas responsables o involucrados en el manejo de los desastres naturales, sean Gobiernos, Agencias de Ayuda, comunidades de socorro en casos de desastre, algunos científicos y el público en general trabajen juntos.

El Decenio debe ser en realidad un esfuerzo global para cambiar las percepciones de estos entes, de ser meramente capaces de responder ante un desastre a tener la capacidad de anticipar los Desastres y tomar acciones preventivas.

SECUENCIA DEL PROCESO DE DESASTRE POR CAUSAS NATURALES



Fuente: INADUR 1989

CONDUCTAS DE INTERVENCION ANTE LOS DESASTRES NATURALES

FASES	CONDUCTAS	OBJETIVOS
PRE DESASTRE	Prevención	a) Advertir el desastre b) Eliminar el desastre
	Mitigación	Reducir las pérdidas
DESASTRE	Preparación	Reducir las pérdidas
	Emergencia	Protección y socorro a los afectados
POST DESASTRE	Recuperación	Restablecimiento Estructural

CAPITULO II: DESASTRES NATURALES EN EL PERU

2.1. EL PERU Y SUS DESASTRES MAS FRECUENTES

En el Perú desde el año 1925 a la fecha han ocurrido más de 5,000 fenómenos geodinámicos destructivos que han dejado más de 100,000 víctimas y las pérdidas materiales han sobrepasado los 3,000 millones de dólares. Esto reafirma que nuestro país presenta áreas sensibles a los fenómenos geodinámicos, siendo altamente vulnerable a ellos.

En el aspecto geográfico, el Perú se encuentra ubicado en una zona de contacto interplacas donde la interacción de las mismas se traduce en fuente generadora de actividad sísmica permanente. La realidad tectónica descrita se contempla con la existencia de la Cordillera de los Andes, cuyo plegamiento y levantamiento se debe al efecto compresional de las placas de Nazca y Sudamericana.

La Cordillera de los andes por el relieve que ofrece, induce un alto riesgo potencial de fenómenos comprendidos en la Geodinámica Externa. Por otro lado, su presencia es factor determinante dentro la climatología nacional.

Estudios especializados comprueban que hace millones de años el Perú y gran parte de Sudamerica constituían fondos marinos, los mismos que, al tener origen las corrientes convectivas, iniciaron un proceso de levantamiento y plegamientos que han dado lugar a la actual configuración sudamericana.

Según el Sistema Nacional de Defensa Civil, existen varios fenómenos naturales en el Perú que causan Desastres; sin embargo considera a 4 de ellos como los de mayor incidencia y los que más daño han provocado a lo largo de la historia. Estos son: **Los Terremotos, las Inundaciones, los Deslizamientos y los Huaycos.**

2.2. TERREMOTOS

Un sismo, un temblor o un terremoto, es una vibración del suelo, que se produce por efecto de la ruptura de la corteza terrestre como consecuencia de las fuerzas que llegan a sobrepasar el límite de la resistencia a la deformación de las rocas.

La ocurrencia de los sismos en general y los terremotos en particular, son fenómenos inherentes al proceso evolutivo del planeta. Sus efectos pueden ser de varios tipos con movimientos horizontales o verticales produciendo levantamiento

y hundimiento del suelo. En algunos casos se producen avalanchas y otros, más bien Tsunamis o maremotos en las costas.

El Perú está ubicado en la zona conocida como el "Cinturón de Fuego Circunpacífico", en el que se producen temblores y terremotos cada cierto tiempo. Basta recordar con pena y preocupación, los daños causados por un movimiento sísmico en **Rioja (29 de Mayo de 1990)** y poblados de la selva norte, siendo el más afectado la comunidad de Soritor.

¿Como explicar un Terremoto?

El Terremoto es un sismo violento y llega acompañado por un ruido que intensifica su imagen aterradora. Es uno de los fenómenos naturales más devastadores y catastróficos. Su impacto es repentino.

Los daños causados por un posible terremoto varían de acuerdo a la zona en que se habita, ciudad o campo, al tiempo de construido el edificio o vivienda, a la calidad del suelo en que se construye, al tipo de material de construcción y a otros factores. Pero también depende, y mucho, del comportamiento de las personas cuando se sienten en peligro. **A veces el pánico produce más daños que el desastre mismo.**

Sin lugar a dudas, los sismos son los fenómenos naturales más temidos por toda la población, porque se manifiestan sin ninguna anticipación y son de corta

duración relativamente provocando el alto índice de muertes, así como daños a la salud y hasta la destrucción total de una comunidad.

2.3. INUNDACIONES

La inundación, como fenómeno geodinámico externo es la invasión de agua en gran volumen a terrenos rurales, y urbanos en zonas planas y bajas como consecuencia de los desbordes del río.

los factores que motivan las inundaciones son:

1. Las precipitaciones intensas o torrenciales.
2. Las precipitaciones no intensas pero prolongadas.
3. El clima.
4. Las características morfológicas del cauce o lecho del río.

Dentro de las inundaciones, existen varios tipos pero los más frecuentes en las cuencas hidrográficas del territorio Peruano son:

I) Desborde de los ríos (riverine type): Estas inundaciones son causadas por precipitaciones sobre grandes áreas y se caracterizan porque cubren un terreno bastante extenso. La creciente de los ríos puede incluso durar varios días, cuando se trata de cuencas muy extensas, como ejemplo de esto tenemos las inundaciones producidas por los ríos Tumbes y Piura en 1983, las inundaciones en el antiplano de Puno en 1986, y las inundaciones causadas por los grandes ríos de la selva

peruana. Solo en el año 1983, cuando se produjeron inundaciones en Piura, Tumbes y el Ecuador, a consecuencia del fenómeno del "Niño", uno de los mayores en las últimas décadas nos muestra a continuación la gran incidencia que tuvo la economía, la población y por lo tanto en el desarrollo.

Cuadro 2.1 Efectos de los Desastres Naturales 1982-1983 en el Producto Bruto Interno
(millones de dólares)

	PERU	ECUADOR
- PBI	21,620.0	13,140.0
- Daños causados	2,001.7 (9.2%)	640.6 (4.9%)

Fuente: Estimaciones CEPAL - 83

II) Avenidas repentinas o flujos rápidos (flash flood): Estas inundaciones son locales de corta duración y de gran volumen, producto de lluvias torrenciales sobre un área de drenaje relativamente pequeño. Se caracterizan porque las descargas se producen con crecimiento casi instantáneo de volumen de agua y disminuye de la misma manera. Se originan en las quebradas y ríos relativamente medianos o pequeños, como es el caso del río Rímac.

2.4. DESLIZAMIENTOS

El Deslizamiento es la ruptura y desplazamiento pendiente abajo de pequeñas a grandes masas de suelos, rocas, rellenos artificiales o combinaciones de éstos, en un talud natural o artificial. Se caracteriza por presentar necesariamente un

plano de deslizamiento o falla a lo largo del cual se produce el movimiento que puede ser lento o violento.

La presencia especialmente del agua genera en el plano de falla de talud, presiones y fuerzas intersticiales por la propiedad expansiva y lubricante de la arcilla que actúa como una cuña, y el limo que se licúa dejando varios inconvenientes en la base de sustentación del talud.

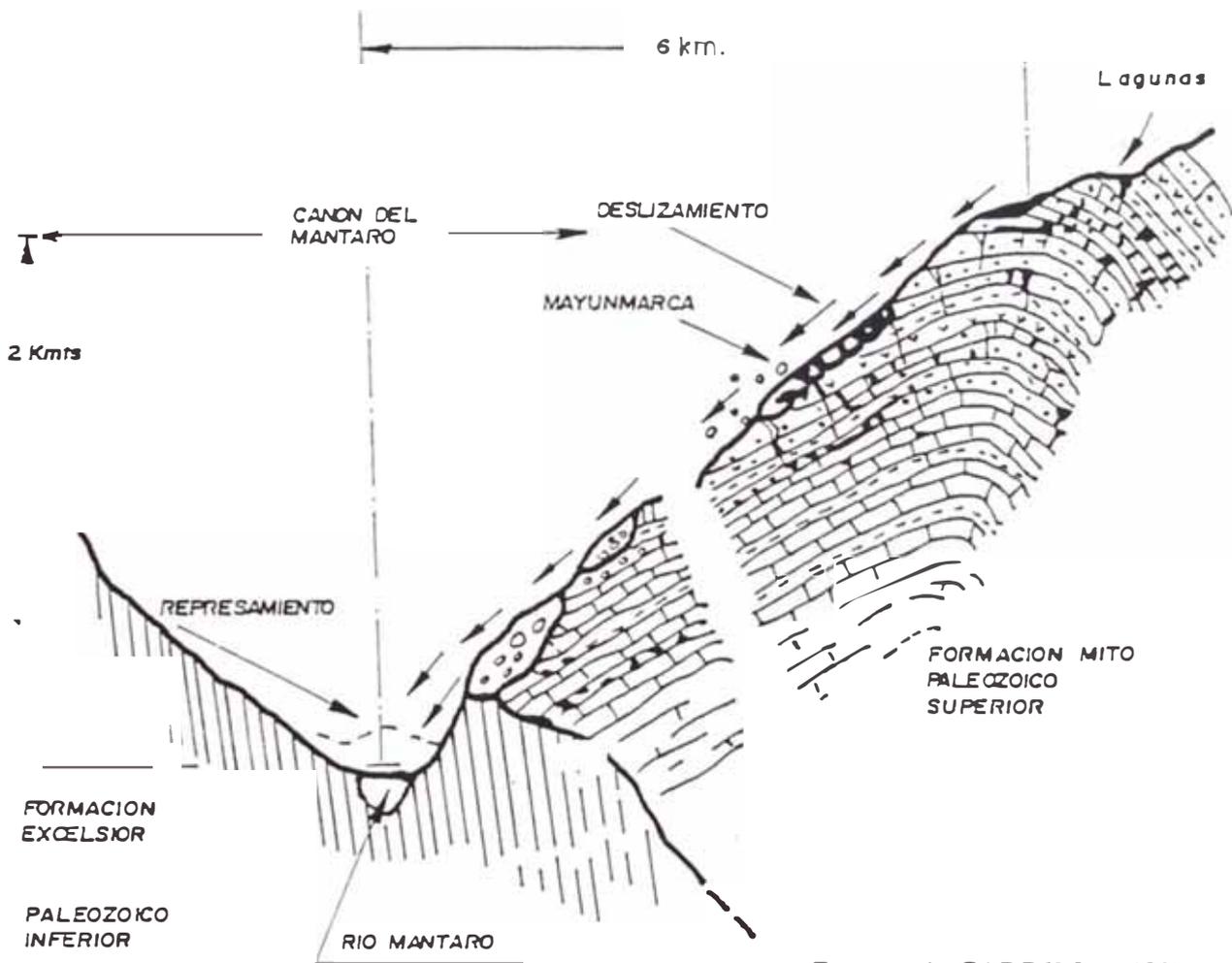
En la sierra central del Perú, el 24 de abril de 1974 se produjo un gran deslizamiento de masas que embalsó el río Mantaro; el flujo alcanzó velocidades de hasta 140 Km/h. y tuvo una duración de tres minutos. Se estima el volumen del material deslizado en 1'600,000 metros cúbicos, con 4 kms, de longitud por 2 de ancho y 170 m. de altura (fig 2.1).

El deslizamiento se originó en el cerro llamado Cussuro a unos 4,200 m.s.n.m. y avanzó por una pendiente de aproximadamente de 30° hasta llegar al río Mantaro a 2,600 m.s.n.m.; fueron arrasadas las haciendas Mayunmarca, Huaccoto y Ccochacay; 450 personas perdieron la vida.

Las causas que originaron el deslizamiento fueron: Las fuertes precipitaciones pluviales que se presentaron en la región, la presencia de manantiales en la cuenca Ccochacay y las filtraciones de las lagunas remanentes de la deglaciación (Yanacocha, Minascocha y Aljacocho). El buzamiento de los estratos sedimentarios de los grupos Excelsior, Mitu y Pucará en favor de la pendiente y el fuerte

fallamiento siguiendo el curso del río por el que está afectado el valle, fueron los otros factores que aportaron a este desastre.

También muchas ciudades en el Perú son "caminantes" como Huancabamba en Piura, esto debido por los deslizamientos lentos de las laderas de los cerros como consecuencia de las filtraciones de agua en las alturas de las cumbres que bordean a la población.



Fuente : A. CARRILLO, 1989

... PERFIL ESTRATIGRAFICO DEL CANON DEL MANTARO Y ZONA DEL REPRESAMIENTO DEL RIO

Fig: 2.1

2.5. HUAYCOS

En el caso de los huaycos, se estima que en el Perú anualmente se producen cerca de 30 casos, especialmente entre los meses de diciembre a abril. Tres o cuatro alcanza tal magnitud que causan daños a las carreteras, viviendas, tierras de cultivo o en el peor de los casos, la pérdida de vidas (fig. 2.2).

“Huayco”, que en la lengua quechua de los incas significa quebrada, y ellos bautizaron así con este nombre a los aluviones que descendían amenazadoramente por las quebradas de régimen seco. Es decir los incas concibieron la idea de que estos aluviones eran los desprendimientos y desplazamiento de las quebradas cuesta abajo.

En general, los huaycos, son las avenidas torrenciales violentas debido a fuertes lluvias después de un período de seco, que descienden por las quebradas como ríos torrentosos muy cargados de materiales heterogéneos de lodo y rocas con movimientos lento a rápido.

Los factores que intervienen en la generación de los huaycos son:

TOPOGRAFICOS.- Fuertes pendientes que varían entre 22° a 60° en las laderas de los cerros y entre 5° a 20° en las quebradas.

LITOLÓGICOS.- Tipos de rocas que permiten la rápida meteorización, alteración y consecuente desintegración formando importantes acumulaciones de material suelto, los cuales se localizan en las quebradas secundarias.

TECTONICOS.- Crean las zonas de debilidad a causa del intenso fracturamiento.

CLIMATOLÓGICOS.- Zonas de clima árido o semiárido con intensas precipitaciones en cortos períodos de tiempo, estacionales y/o excepcionales.

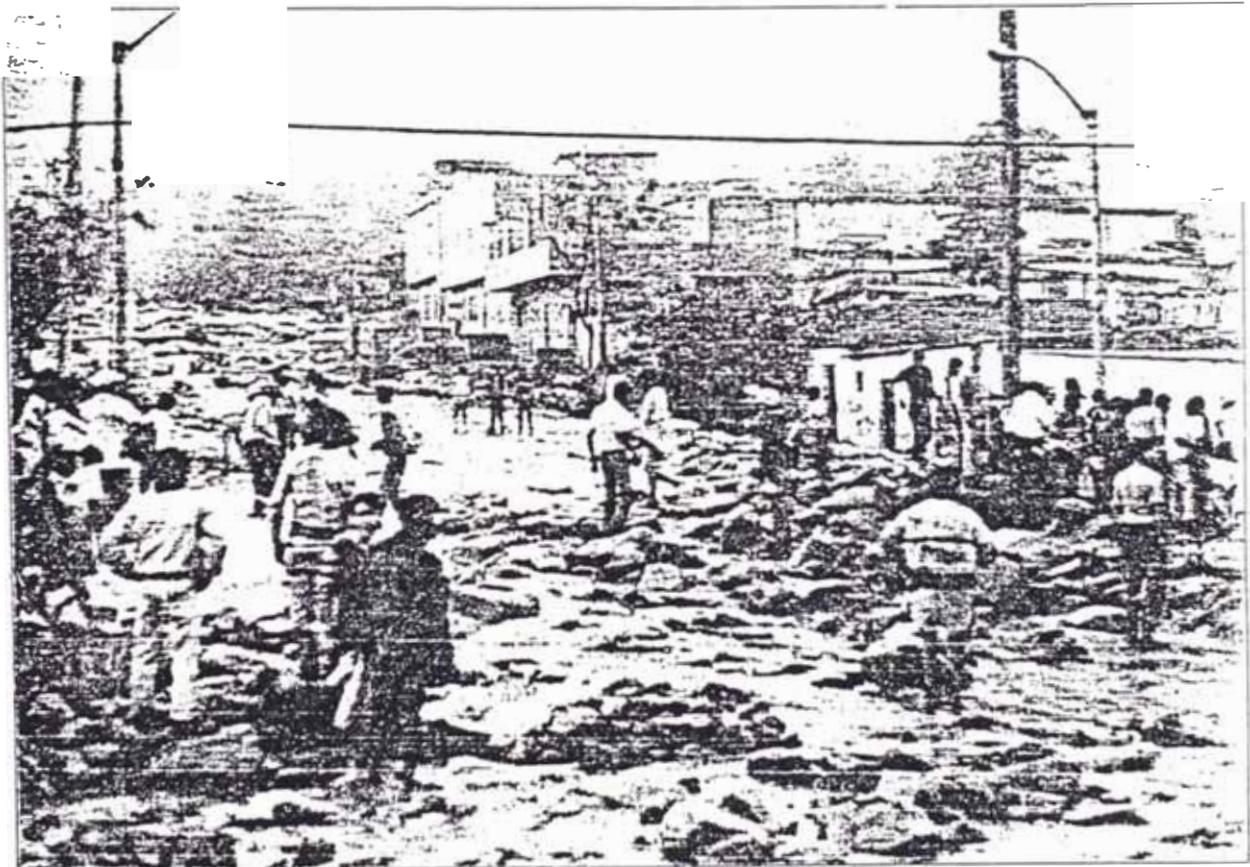


Fig. 2.2 Desastre ocasionado por un huayco (Chosica-1989)

Fuente : El Comercio - 18/02/1989

ANTROPICOS.- Producidos por la acción del hombre, consiste en actividades ganaderas (sobrepastoreo) y tala indiscriminada de bosques naturales.

2.5.1. MECANISMO DE LOS HUAYCOS

Para entender el mecanismo de estos fenómenos es necesario definir 3 zonas de diferentes características en la cuenca de origen:

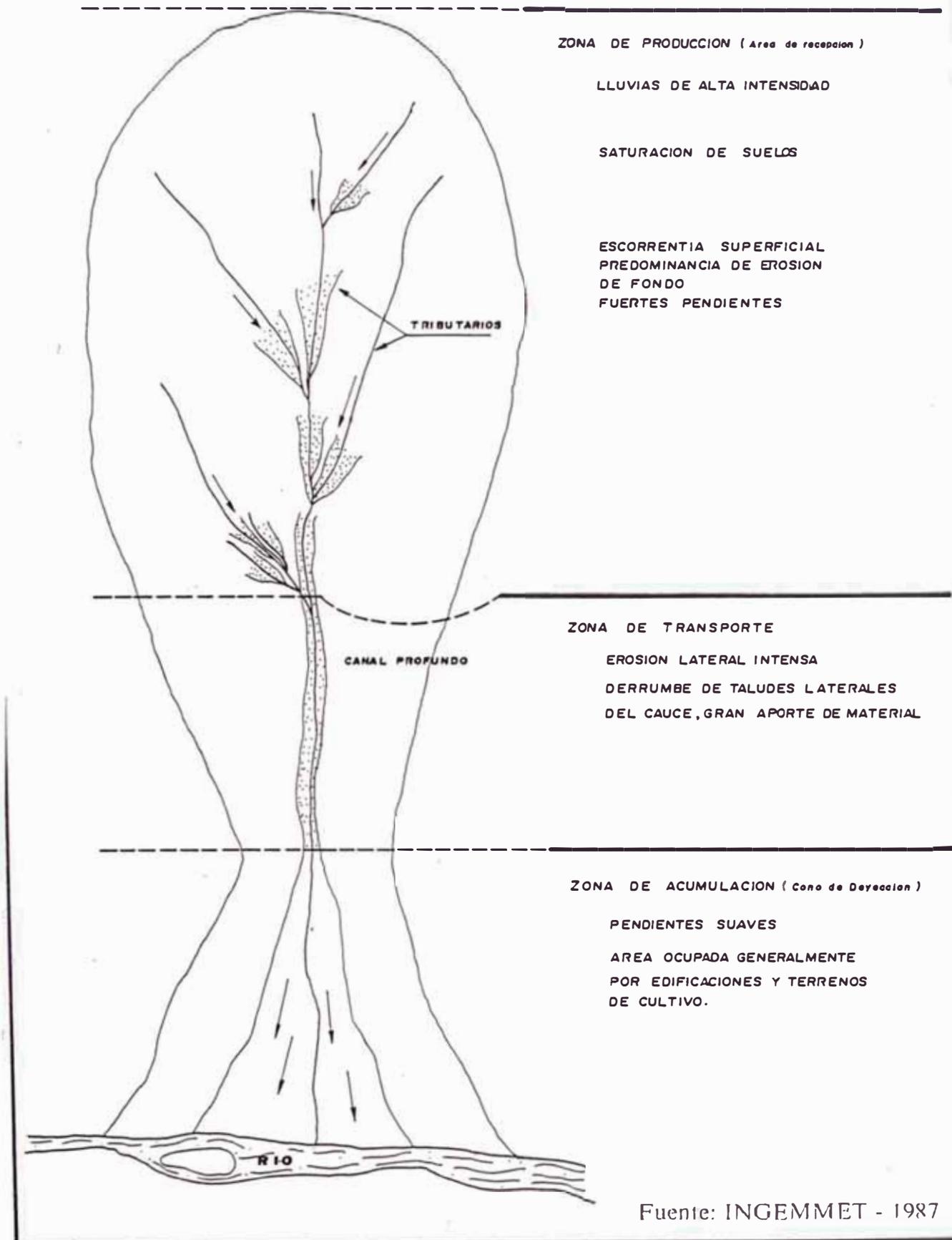
1. Cuenca de recepción o zona de producción
2. Cuenca media o zona de transporte y erosión
3. Cuenca baja o zona de acumulación (cono de deyección). ver fig. 2.3.

Durante los períodos lluviosos, especialmente en sus inicios, hay un fuerte lavado de las vertientes de la cuenca de recepción ocasionado por el escurrimiento difuso, con el consiguiente arrastre de materiales hacia los lechos de las quebradas tributarias. Estas al comienzo no son capaces de transportar la carga (a la que se agrega la dejada por las crecidas torrenciales del período lluvioso precedente), pero con la ocurrencia de lluvias más violentas y con la saturación hídrica de los lechos, los flujos torrenciales se hacen más activos; a la vez que la confluencia de dos o más flujos aumenta la potencia de dichas corrientes derivadas luego en lavas torrenciales violentas o huaycos, fig. 2.4.

En general, estos fenómenos están ligados a la ocurrencia de períodos lluviosos intensos.

ESQUEMA DE GENERACION DE UN HUAYCO

Fig. 2.3



Fuente: INGEMMET - 1987

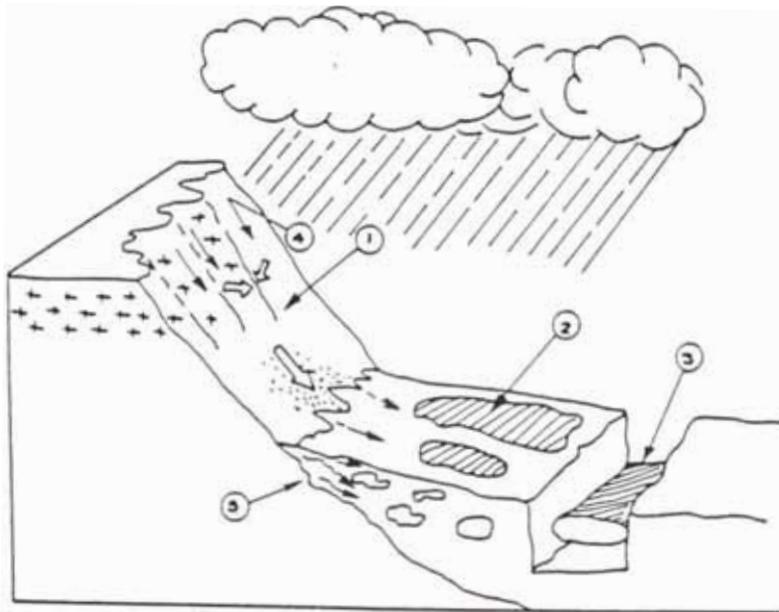


Fig. 2.4(a) ETAPA MEDIA DE LA FORMACION DEL HUAYCO

- (1) Precipitación Pluvial
- (2) Saturación del Suelo Aluvional
- (3) Represamiento
- (4) Esgurrimiento Superficial
- (5) Infiltración

Fuente : Ing. Oscar Vasquez . H

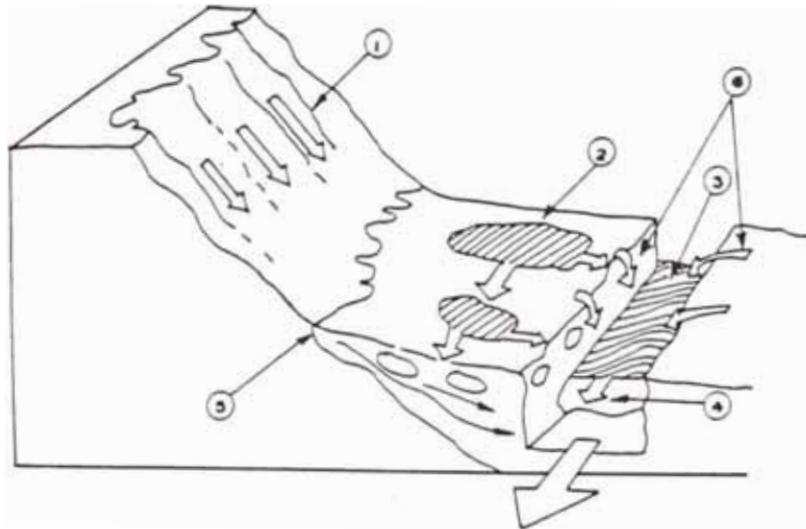


Fig. 2.4 (b) COMIENZO DEL HUAYCO

- (1) Esgurrimiento Superficial
- (2) Enbalsamiento por Saturación del Suelo
- (3) Represamiento de lodo y rocas
- (4) Comienzo del Huayco por Desbordamiento e ruptura
- (5) Infiltraciones
- (6) Huaycos Tributarios

Fuente : Oscar Vasquez.

Cuando predominan los materiales rocosos en el flujo torrencial, éstos tienden a ser depositados en la zona de transporte, con lo que se incrementa temporalmente su pendiente, facilitando de paso su nueva remoción. Asimismo los lechos de esta zona, al quedar desprovistos de su carga sólida, son más rápidamente erosionados por las aguas, generando inestabilidad en los taludes adyacentes y motivando derrumbamientos que nuevamente vuelven a incrementar la carga sólida. Una de las características principales de esta zona es de su forma profunda y sinuosa y con un fondo desigualmente relleno.

El cono de deyección es la zona donde se acumula y depositan bloques de gran dimensión, así como lodo y materiales finos formando un abanico.

2.5.2. TIPOS DE HUAYCOS

Los huaycos se presentan, según la frecuencia de su ocurrencia, bajo dos circunstancias:

- 1. PERIODICOS.-** Cuando se producen normalmente en cada temporada de lluvias.
- 2. OCASIONALES.-** Llamados también excepcionales, cuando se producen muy eventualmente, estando relacionado a lluvias también ocasionales.

Según su naturaleza pueden ser:

1. **HUAYCOS DE LODO (Mudflows).**- Están constituidos en mayor proporción por lodo y en menor porcentaje de gravas y rocas medianas.
2. **HUAYCOS DE ROCAS (Debris flow).**- Están constituidos en mayor porcentaje de rocas grandes y medianas en menor porcentaje de gravas y lodo.
3. **HUAYCOS MIXTOS (Rocky Mudflow).**- Están constituidos de lodo, gravas y rocas en igual porcentaje.

Estos tipos de huaycos que se presentan como proceso erosivo, son consecuencia del desarrollo de otros procesos de erosión, y por lo tanto, su estudio requiere, a su vez, el examen de las otras formas de erosión que ocurren dentro de las cuencas torrenciales. Se han reconocido varias formas y procesos de erosión que tienen incidencia en los huaycos, siendo las más importantes:

a. FORMAS DE EROSION FLUVIAL

Son aquellas ligadas tanto a la acción erosiva que realizan los huaycos, propiamente dichos, como el escurrimiento hídrico no saturado en materiales sólidos, que ocurren en las quebradas luego de las avenidas torrenciales. Los procesos resultantes dependen del caudal y del material transportado por las corrientes de agua, así como la forma y constitución de los lechos de las quebradas.

Se ha distinguido tres tipos de lechos, según predomine el material conformante: (1) ROCOSO, si el lecho está emplazado fundamentalmente en el estrato rocoso; (2) ALUVIAL, si el lecho queda emplazado en materiales transportados por la corriente de agua y, (3) de alternancia ALUVIAL Y ROCOSA, cuya definición es implícita. Salvo causas específicas, la mayor erosión se efectúa en los lechos aluviales, que son puntos más críticos para la erosión fluvial.

b. PROCESOS DE EROSION EN LAS VERTIENTES

Son los que ocurren en la superficie de las vertientes o laderas y son básicamente de dos categorías: las formas originadas por la esorrentía superficial o escurrimiento y, las que se generan por los movimientos en masa.

El escurrimiento difuso, es el proceso primario que ocurre por la esorrentía superficial de las aguas en las vertientes y, prácticamente abarca a toda la cuenca; sin embargo, sólo en algunos lugares adquiere notable intensidad, arrastrando las partículas superficiales del suelo. Sus huellas se perciben en el terreno por una serie de canalitos de pocos centímetros de profundidad que entallan la superficie y que gradan a veces a verdaderos surcos. Este proceso es particularmente importante cuando afecta terrenos de buena potencialidad agrícola y se considera que puede ser fácilmente controlable con una buena cubierta vegetal o cultivos bien manejados.

Cuando el escurrimiento es concentrado, se tienen los abarrancamientos que consisten en la formación de cárcavas, las cuales pueden derivar a veces a formas de terreno muy erosionadas conocidas como "bad-lands" o tierras malas. Las cárcavas derivan de la agudización del escurrimiento difuso en terrenos fáciles y proporcionan una importante carga de materiales hacia los lechos que luego son evacuados por las lluvias torrenciales; su estabilización comprende tanto trabajos de reforestación como ciertas medidas de tipo ingenieril (drenaje).

Por último se tienen los movimientos en masa; se trata principalmente de pequeños derrumbes activos, cuyos nichos de desprendimiento miden unos 20 mt. como máximo. Se presentan principalmente en las porciones intermedias del área, en taludes inestables que se generan en su mayor parte, por la incisión de los lechos que alteran el perfil de equilibrio de las vertientes.

A veces los derrumbes originan nuevas cárcavas y, otras veces la propia incisión de las cárcavas motiva pequeños derrumbes; en todo caso son procesos que revisten mayor cuidado que los abarrancamientos y su control requieren un tratamiento integral de las zonas afectadas, mediante reforestación y obras ingenieriles, sobre todo cuando se observa que su evolución tiende a acentuarse.

Los huaycos, hasta la fecha en nuestro país han causado incalculables daños y perjuicios que, sin embargo se olvidan rápidamente cuando las condiciones climáticas varían a situaciones de escasa precipitación.

2.6. LA INGENIERIA EN LOS PLANES DE PREVENCION

Los fenómenos naturales que se presentan en cualquier territorio geográfico del Perú, con mayor o menor frecuencia, se pueden considerar dentro de los planes de prevención, para tomar acciones, tratamientos y medidas de control.

Se dividen en dos categorías:

2.6.1. FENOMENOS NATURALES CONTROLABLES.-

Dentro de esta categoría se encuentran los huaycos, los deslizamientos de menor volúmen, las inundaciones, los aluviones de poca magnitud, las erosiones y socavamientos, los suelos expansivos, las sequias, la contaminación ambiental, cuyo desarrollo se encuentra estrechamente vinculadas a la actividad humana, a los procesos evolutivos propios de la superficie terrestre debido a las perturbaciones atmosféricas y gravitacionales de carácter periódico o cíclico.

Estos fenómenos son predecibles y pueden ser controlables si se aplican medidas estructurales o ingenieriles con la finalidad de evitarlos. Generalmente son planes a mediano y largo plazo.

2.6.2. FENOMENOS NATURALES NO CONTROLABLES

Se agrupan dentro de esta categoría a los terremotos, tsunamis, deslizamientos de grandes taludes rocosos tipo alpino o andino, fallas tectónicas, cuya característica principal de estos fenómenos es la de ser impredecibles en tiempo y espacio, son violentos, de gran magnitud y de alta velocidad. Sus efectos sólo pueden ser reducidos en lo posible, mediante la aplicación de una metodología apropiada y planificada a la zona presumiblemente expuesta a estos peligros como son la microzonificación con la ayuda de estudios de microtrepidaciones para evaluar el comportamiento geodinámico del suelo.

2.6.3. PRIORIZACION DE LOS ESTUDIOS DE PREVENCION Y MITIGACION DE DESASTRES EN EL PERU

El Perú se encuentra en pleno proceso de transformar su organización y demarcación territorial, de 24 departamentos y una provincia constitucional, a 11 regiones más una región especial conformada por Lima y Callao. a la fecha se han creado las regiones, y algunas como la Región Grau, ya cuentan con sus nuevas autoridades.

Las nuevas regiones tienen sus propias problemáticas en cuanto a desarrollo y también los tienen con respecto a los desastres naturales. Pareciera ser que, la región es la unidad territorial más adecuada para la planificación contra los desastres naturales.

Para la decisión de las medidas de Prevención y Mitigación de Desastres Naturales en el Perú se ha confeccionado un mapa Regional en el cual se han captado más de 200 casos históricos de estudios e informes, desde el año 1925 a 1986 sobre los fenómenos naturales de geodinámica externa más frecuentes como son los huaycos, deslizamientos e inundaciones, tomadas en un período de más de 50 años, producto de las investigaciones ejecutadas por instituciones públicas y privadas (INGENMET, ONER, SENAMHI, Vidal Taype, etc).

En el caso de los terremotos, esta información ha sido tomada del Instituto Geofísico del Perú a partir de 1900 a 1986 y de 1582 a 1900 la fuente es aproximada, tomada parcialmente de E. Silgado (1978).

En este mapa (fig 2.5) se han evaluado hasta la quinta prioridad regional, por ser los más representativos y así poder tomar acciones de prevención y mitigación de desastres. La evaluación se ha realizado con el porcentaje de los datos históricos de fenómenos naturales que se han presentado en cada región y por lo tanto se encuentran en permanente riesgo (cuadro 2.2)

Priorización a nivel Nacional de Huaycos:

1.- REGION LIMA	(35.6 %)
2.- REGION ANDRES AVELINO CACERES	(18.3 %)
3.- REGION LOS LIBERTADORES WARI	(15.7 %)
4.- REGION CHAVIN	(12.7 %)
5.- REGION INCA	(11.3 %)

Priorización a nivel Nacional de Inundaciones:

1.- REGION GRAU	(17.2 %)
2.- REGION LIMA	(14.2 %)
3.- REGION SAN MARTIN-LA LIBERTAD	(9.8 %)
4.- REGION LOS LIBERTADORES WARI	(9.8 %)
5.- REGION AREQUIPA	(9.5 %)

Priorización a nivel nacional de Deslizamientos:

1.- REGION ANDRES AVELINO CACERES	(23.6 %)
2.- REGION LOS LIBERTADORES WARI	(17.7 %)
3.- REGION CHAVIN	(13.2 %)
4.- REGION NOR ORIENTAL DEL MARAÑON	(11.1 %)
5.- REGION INCA	(10.1 %)

Priorización a nivel Nacional de Terremotos: Este caso es muy especial por que los terremotos se presentan en casi todo el territorio Nacional, en tal sentido tomaremos siete prioridades:

1.- REGION LIMA	(17.9 %)
2.- REGION LOS LIBERTADORES WARI	(17.9 %)
3.- REGION CHAVIN	(10.4 %)
4.- REGION AREQUIPA	(13.4 %)
5.- REGION INCA	(10.4 %)
6.- REGION SAN MARTIN-LA LIBERTAD	(7.5 %)
7.- REGION TACNA-MOQUEGUA-PUNO	(7.5 %)

En Conclusión la priorización de estudios a realizarse para la Prevención y Mitigación de Desastres ocasionados por los fenómenos naturales más frecuentes a nivel Nacional es el siguiente:

- | | |
|--|-----------------|
| 1.- REGION LIMA | (32.5 %) |
| 2.- REGION ANDRES AVELINO CACERES | (17.7 %) |
| 3.- REGION LOS LIBERTADORES WARI | (15.4 %) |
| 4.- REGION CHAVIN | (12.3 %) |
| 5.- REGION INCA | (10.9 %) |



Fig. 2.5

NIVEL DE PRIORIZACION PARA LA PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE DESASTRES NATURALES OCASIONADOS POR FENÓMENOS GEODINÁMICOS.

Como se puede observar la Región LIMA, es aquella en donde se han presentado el mayor porcentaje de fenómenos naturales que han ocasionado desastres, y dentro de ello los huaycos son los que se han presentado con mayor frecuencia y generalmente en la cuenca del río Rímac (fig. 2.6). Esta inquietud fue el principal motivo para realizar estudios de prevención y mitigación de huaycos especialmente en la Región Lima y como consecuencia de ello y de los aportes del Ing. Oscar Vásquez, es que planteamos en esta tesis **"EL METODO DE CORRECCION DE DRENAJE PARA EVITAR LOS HUAYCOS"**, como una medida estructural de prevención.

Este estudio es aplicado a una cuenca generadora de huaycos y calificada como zona de alto riesgo por sus consecuencias que darían origen a posibles desastres sobre una población vulnerable. En tal sentido se ha calificado a la Subcuenca San Antonio de Pedregal en la localidad de Chosica, como una cuenca piloto para este estudio y de sus probables medidas de prevención y mitigación.

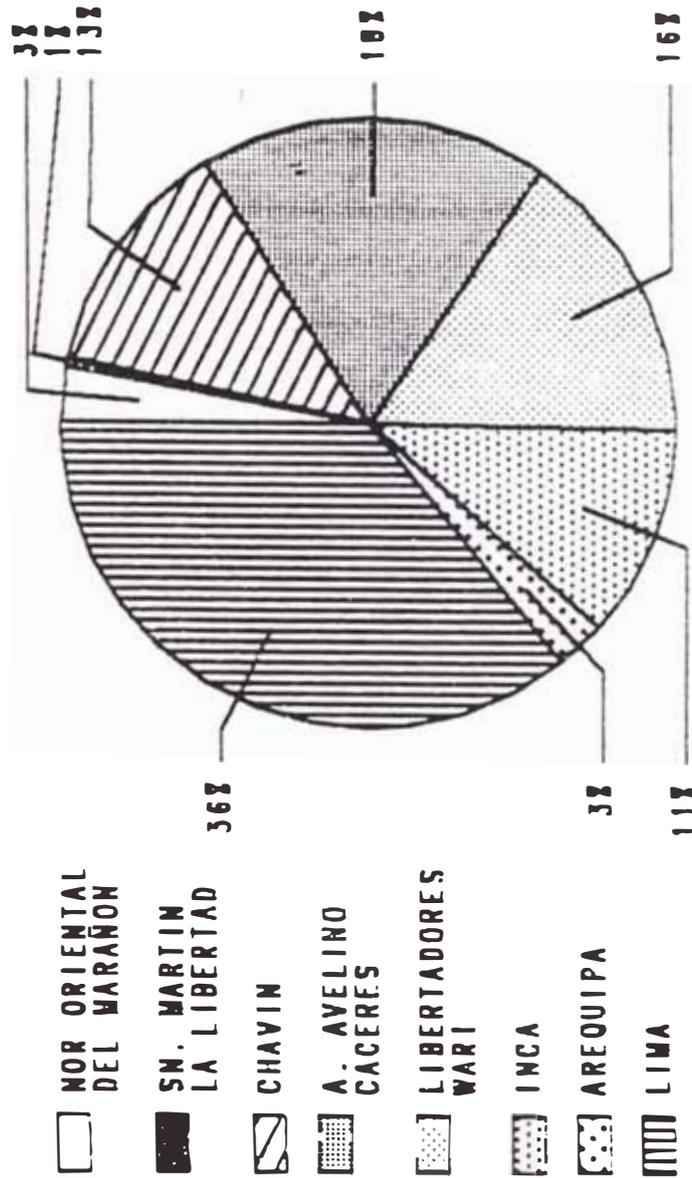
En general la suma de los estudios y planes que se efectúen en cada región más los que se realicen a nivel nacional, constituirán quizás el proyecto más importante que realice el Perú para la "Década Internacional para la reducción de los Desastres", y en la cual nos sentimos comprometidos los que de alguna manera podamos hacer algo.

Cuadro 2.2 PRINCIPALES FENOMENOS OCURRIDOS EN EL PERU

REGION	Huaycos (1925-1985)	Inundaciones (1925-1985)	Deslizamientos (1925-1985)	Terremotos (1582-1986)	TOTAL
I Grau	21 (0.4%)	63 (17.2%)	9 (3.1%)	2 (3.0%)	95 (1.6%)
II Nor Oriental del Marañon	149 (2.9%)	26 (7.1%)	32 (11.1%)	4 (6.0%)	211 (3.6%)
III San Martin - La Libertad	26 (0.5%)	36 (9.8%)	20 (7.0%)	5 (7.5%)	87 (1.5%)
IV Chavin	659 (12.7%)	24 (6.5%)	38 (13.2%)	7 (10.4%)	728 (12.3%)
V Amazonas	-----	8 (2.2%)	3 (1.0%)	-----	11 (0.2%)
VI Ucayali	-----	5 (1.4%)	-----	-----	5 (0.1%)
VII Andrés Avelino Caceres	948 (18.3%)	29 (7.9%)	68 (23.6%)	4 (6.0%)	1049 (17.7%)
VIII Los Libertadores Wari	815 (15.7%)	36 (9.8%)	51 (17.7%)	12 (17.9%)	914 (15.4%)
IX Inca	586 (11.3%)	25 (6.8%)	25 (8.7%)	7 (10.4%)	643 (10.9%)
X Arequipa	134 (2.6%)	35 (9.5%)	29 (10.1%)	9 (13.4%)	207 (3.5%)
XI Moquegua Tacna Puno	3	28 (7.6%)	4 (1.4%)	5 (7.5%)	40 (0.7%)
XII Lima-Callao	1850 (35.6%)	52 (14.2%)	9 (3.1%)	12 (17.9%)	1923 (32.5)
TOTAL	5191 (100.%)	367 (100.0%)	288 (100.0%)	67 (100:0%)	5913 (100%)

Fuente: Taype, JICA, INGENIET, ONIER, SENAMHI

HUAYCOS A NIVEL REGIONAL
(1925 - 1985)



TOTAL = 5,191 HUAYCOS

Fig. 2.6 (a)

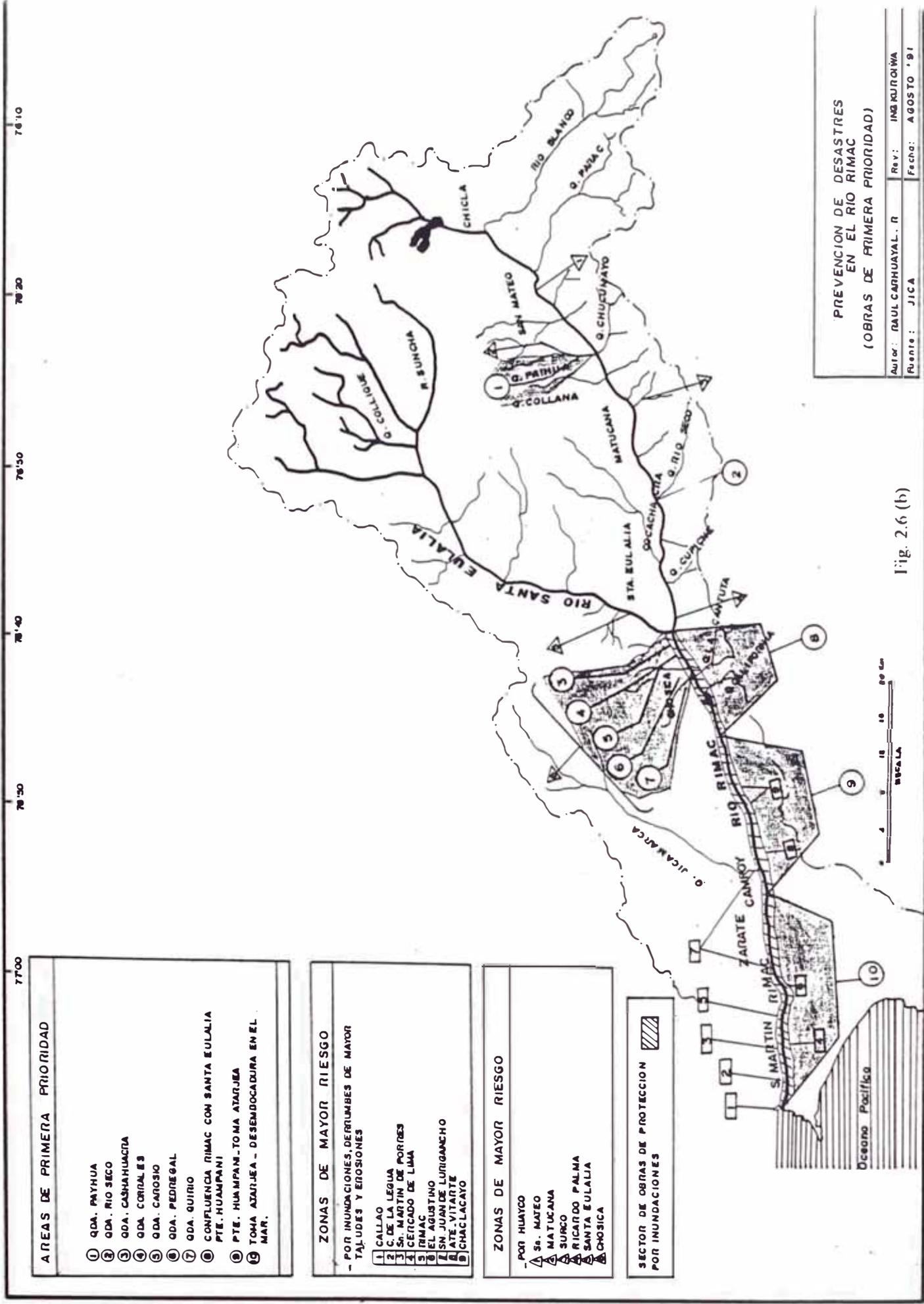


Fig. 2.6 (b)

CAPITULO III: MEDIDAS ESTRUCTURALES PARA LA LUCHA CONTRA HUAYCOS

Las medidas estructurales para la lucha contra huaycos, son aquellas medidas técnicas o ingenieriles, que se encuentran orientadas a la construcción de obras o métodos manuales ejecutados por el hombre, con el objetivo de prevenir o mitigar los desastres ocasionados por los huaycos.

3.1. MEDIDAS ALTERNATIVAS PARA LA PREVENCION

Estas medidas preventivas tienen el objetivo principal de **evitar** la erosión y la posible ocurrencia de los huaycos que descienden por las quebradas, y cuyas consecuencias podrían traducirse en un desastre si llegan a afectar pueblos o ciudades vulnerables.

3.1.1. ANDENES

El problema del control de la erosión y los huaycos es un problema que se remonta a la historia pre-inca. En esta época el hombre supo superar estos problemas construyendo los andenes en las laderas de los cerros y así mismo lograron

desarrollar su actividad agrícola en base a ellos. Los incas perfeccionaron esta tecnología gracias a que fueron grandes organizadores y planificadores. Un ejemplo de ello es la ciudad del Cusco, la cual se encuentra ubicada en un lugar que por su posición geográfica, esta rodeada por varios cerros, de cuyas laderas bajan numerosas quebradas de diversas extensiones, y en época de lluvias se convierten en riachuelos y arroyos de regular volumen de agua.

Con el objeto de contener la erosión de las paredes de los cerros circundantes, y evitar sorpresivas bajadas de huaycos por las mencionadas quebradas; los incas muy sabiamente sembraron en todas esas zonas propicias a la erosión; millares de árboles y otras plantas que con sus raíces aguantarán a la tierra cuesta abajo. Construyeron un intrincado sistema de andenes, terraplenes, murallas y otras construcciones con el fin de proteger la solidez de los inclinados terrenos ubicados en las alturas del Cusco.

En el lenguaje andino, como el quechua, a los andenes se les conoce con el nombre de "pata pata", y su función principal es reducir la pendiente de la ladera del cerro y evitar la acción erosiva de la lluvia sobre el suelo. El andén tiene dos partes principales; el muro de piedra y la terraza o plataforma (fig. 3.1).

El talud construido como soporte de la plataforma, presenta diversas características según el lugar y la experiencia de cada constructor de andenes. Según su naturaleza, éste puede ser de piedra o de tierra independientemente de las particularidades de la pendiente, del ancho de la terraza o de la erosión del suelo. En lo que respecta a la altura del talud puede ser parejo al nivel del suelo, que

es lo predominante o, un poco más elevado que aquél, lo cual es lo conveniente, pues evita los posibles desbordes del suelo. El grosor del muro está constituido de una hilera de piedras grandes y rellena en los intersticios. En cuanto a la inclinación, se tiende a mantener los muros rectos, no obstante que una ligera inclinación favorecería la retención del volumen del suelo.

El control que ejercen los andenes sobre la erosión, especialmente la hídrica, se debe a que las plataformas de éstos presentan una pendiente lo suficientemente ligera como para que la lámina de agua que cae sobre ellas discurra tan despacio que no llega a mover cantidades importantes del suelo. Por otro lado, el agua de escorrentía tampoco provoca daños importantes, debido a que el corte escalonado de la ladera impide que este flujo aumente en velocidad a lo largo de la misma.

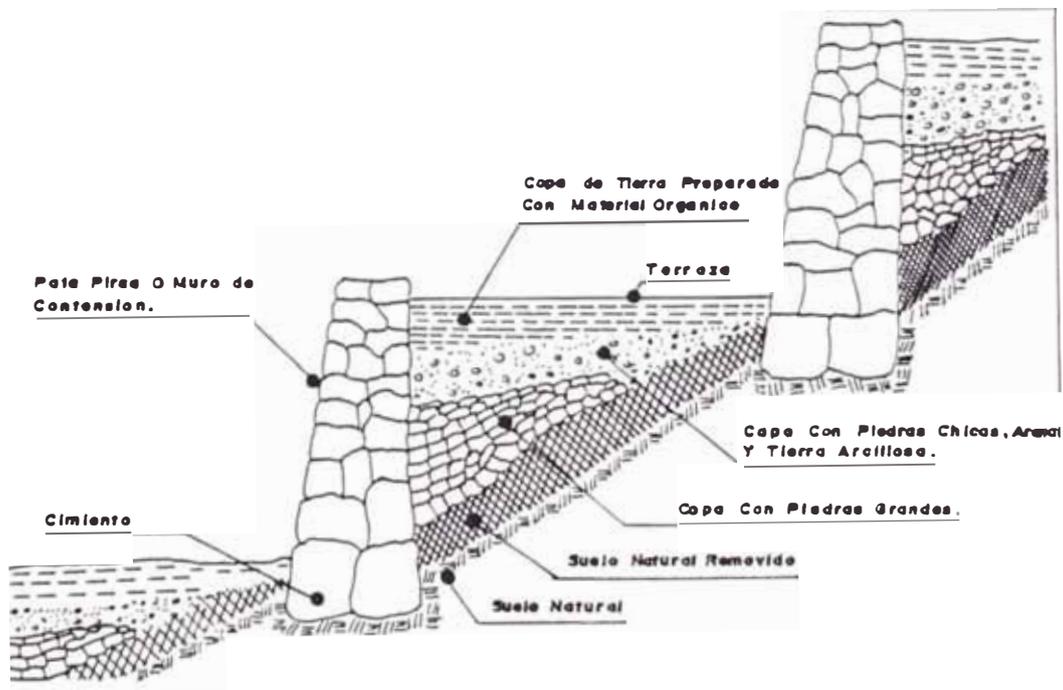


Fig. 3.1 Adén típico

3.1.1.1. TIPOS DE ANDENES

1.- **Andenes Agrícolas**, de superficies variables desde 2 a 3 metros hasta más de 1,000 m², soportados por muros de construcción de piedras y barro, con sistemas de riego y drenaje.

2.- **Andenes para Vivienda**, ubicados en las partes altas, en suelos muy pedregosos, no aprovechables para la agricultura. Su superficie varía entre 80 a 150 m².

Luis Masson (1983) ha estimado que existe aproximadamente un millón (1'000,000) de hectáreas de andenes en diverso estado de conservación y utilización. Los más difundidos los encontramos al sur del país: en Arequipa (valle del Colca); Puno, Apurímac, Moquegua y en el Cuzco están los mejores. También se encuentran en Lima (Cuenca del Río Rímac) y en Junín (Tarma).

Debemos tener presente que no es posible rehabilitar todos los sistemas de andenes que existen en el país; unos están deteriorados más que otros. Para proceder a la rehabilitación de andenes se tendrá en cuenta los siguientes requisitos:

- La disponibilidad de agua
- La disponibilidad de mano de obra
- Aspectos socio-económicos
- Estabilidad de la litología
- Características de las zonas de vida
- Garantizar el mantenimiento permanente de los andenes rehabilitados

3.1.1.2. CARACTERISTICAS DE LOS ANDENES EN LA CUENCA DEL RIO RIMAC

Dentro de cada formación de la sub-cuenca del río Rímac, los andenes se disponen en diversos paisajes fisiográficos, como se observa en el siguiente cuadro:

Cuadro 3.1: Estado de los andenes y su litología en la cuenca del Rímac

LITOLOGIA	ES-TABILIDAD	CON-SERVADO	SEMI RUI-NOSO	RUI-NOSO	TOTAL
Serie Volcánico (ti-v)	Inestable	1074 Ha.	607.5 Ha.	441 Ha.	2122.5 Ha.
Bat. Andino (kt-i)	Estable	765.5 Ha.	153 Ha.	31 Ha.	949.5 Ha.
Grupo Caliza (km-m)	Estable	540 Ha.	371 Ha.	168 Ha.	1079 Ha.
TOTAL		2379.5 Ha.	1131.5 Ha.	640 Ha.	4151 Ha.

Fuente: Helena Cotler

Se observa que el 51% (2,122.5 Ha.) se ubican en la serie volcánica dentro de una zona sumamente meteorizable. En zonas húmedas, la inestabilidad se expresa en procesos erosivos como coladas de barro o huaycos.

El 22.8% (949.5 Ha.) de los andenes de la cuenca del río Rímac se disponen sobre el Batolito Andino, formado a partir de rocas ígneas intrusivas: granito, granodioritas, tonalitas y dioritas, que bajo la influencia de una región árida limitan sus procesos erosivos a escurrimientos superficiales concentrados, pudiendo originar cárcavas.

La mayor concentración de los andenes se hallan en las laderas de montaña, mientras que en los valles aluviales sólo se han encontrado evidencias en San Mateo y en la quebrada de Canchacalla, estando cultivados en ambos lugares.

No obstante en los tipos de paisajes donde es necesario tomar mayores precauciones son en los abanicos aluviales, debido a que se encuentran en desembocaduras de quebradas o cárcavas que pueden estar áctivas o bien reactivarse, causando importantes deterioros.

Los andenes de la sub-cuenca del río Rímac presentan dos tipos de pendientes: longitudinal y lateral. La pendiente longitudinal es siempre hacia afuera (hacia el andén inferior), mientras que la pendiente lateral está dirigida hacia el canal principal.

La dinámica de estas dos pendientes permite un adecuado flujo del agua dentro de la plataforma, para luego facilitar la salida hacia otro piso de andenes. En la mayoría de los andenes, estas plataformas cortan la pendiente de la ladera con la siguiente característica: en laderas suaves la inclinación de la plataforma varía de 2 a 5 %, y en laderas pronunciadas varía del 25 % a 40 %.

Es así que uniendo los resultados obtenidos por Masson (1983) en la sub-cuenca del río Santa Eulalia, con los de la Ing. Helena Cotler realizados en la sub-cuenca de San Mateo, se obtiene en toda la cuenca del río Rímac 10,533 Has. (105.33 km²) andenadas. Además se ha calculado para esta misma cuenca, que el área que comprende a todas las zonas cuya precipitación media anual está por

encima de los 200 mm. es 1,650 Km², esto pues nos indica que solo el 6.5 % de la superficie se encuentra andenada, y es con seguridad el mejor índice que indica el porque la cuenca del río Rímac se encuentra atacada frecuentemente por fenómenos geodinámicos externos (erosión, huaycos e inundaciones).

De este modo, en una región donde las condiciones topográficas limitan considerablemente el área de cultivo, donde la escasez de vegetación, la inestabilidad litológica y el efecto climático aumentan la erosión del medio; se plantea la urgente necesidad de iniciar la construcción y recuperación de los andenes en la cuenca del río Rímac.

3.1.2. METODOS DE CULTIVO

Son Prácticas generalmente asociadas a un solo cultivo, un conjunto de cultivos o una forma de cultivar como tal. Tienen como fin lograr el uso racional del suelo según sus particularidades, mejorar las características del suelo y reducir la escorrentía superficial, con lo cuál se podría evitar los torrentes de huaycos.

a) Selección de Cultivos.- Este método se apoya en la adecuada selección de cultivos que más se adaptan al tipo de suelo y a las características topográficas del lugar. Los cultivos anuales deben desarrollarse en las zonas más llanas y menos susceptibles a la erosión; los permanentes deben establecerse en aquellos sitios donde por razones erosivas y de la topografía del suelo a través de sus raíces, disminuyan la acción del viento y del agua, acumulan restos vegetales en la superficie y elevan el contenido de humus de los suelos.

b) Siembra en surcos a Nivel.- Consiste en disponer las hileras de siembra y realizar todas las labores de cultivo, en forma transversal a la pendiente del terreno, siguiendo las curvas de nivel, lo que provoca la disminución de la velocidad de las aguas y sus efectos erosivos.

c) Siembra con rotaciones de cultivo.- Consiste en la disposición de los cultivos en fajas de ancho variable en función de la irregularidad y pendiente del terreno, el grado de erosión y la intensidad de las lluvias, lo que unido a una correcta rotación de los mismos, aumentará la fertilidad y disminuirá la erosión.

d) Plantas de cobertura y abonos verdes.- La vegetación de cobertura se emplea con los propósitos esenciales de proteger el suelo contra la acción directa de las lluvias y el viento, mejorando sus condiciones físicas y químicas para un cultivo posterior.

e) Barreras vivas.- Este método consiste en sembrar plantas o pastos perennes de crecimiento denso, siguiendo casi siempre las curvas de nivel, con el objetivo de disminuir la velocidad de aguas y retener el suelo. El espaciamiento horizontal entre cada hilera depende del tipo de plantación y de la pendiente del terreno. Las barreras contribuyen a la formación de terrazas de banco.

3.1.3. REFORESTACION

Existen evidencias para suponer que la región andina, en general, estuvo cubierta con bosques naturales homogéneos en épocas prehispánicas. Durante la

colonia, los bosques fueron desapareciendo al ser utilizados con propósitos mineros (apuntalamiento de socavones). Por último el ganado caprino traído por los españoles, acabó por destruir esta preciosa vegetación.

A fines del siglo pasado, se inició con marcado éxito, una limitada reforestación con eucaliptos traídos de Australia. Sin embargo, se descuidó la propagación de especies nativas. Actualmente, la vertiente occidental andina se encuentra casi totalmente desprovista de vegetación forestal, existiendo plantaciones aisladas de eucaliptos así como unos cuantos relictos de bosques de especies nativas.

El hombre, por lo general, tala en exceso lo cual junto con el sobrepastoreo del ganado, son las dos principales causas de la erosión de los suelos. Por consiguiente, el hombre deberá reorganizar sus actividades y cambiar sus hábitos.

La repoblación natural de las plantas nativas es el método más barato y fácil de reforestar una zona, sea para producir leña o como medida de protección de la erosión.

Estas prácticas de reforestación, se emplean en terrenos con pendientes pronunciadas donde el objetivo es captar e infiltrar el agua de lluvia uniformemente y a la vez controlar la erosión; ello es igualmente válido para zonas áridas y semiáridas. Para tales condiciones, tanto en el Perú como en otras partes del mundo, plantar al lado de zanjas o canales en curvas a nivel tienen varias ventajas.

La topografía en la sierra es demasiado accidentada y rocosa para permitir el uso de maquinaria, por lo tanto es muy deseable dar empleo a los miembros de la comunidad para abaratar la reforestación.

3.1.4. METODOS MECANICOS O DE DRENAJE

EL control de los huaycos se puede lograr mediante la regulación del escurrimiento superficial, aplicando un método que se apoye en el drenaje natural del terreno y obligue a las aguas excesivas a tomar recorridos que no saturen ni dañen los suelos.

La solución técnica consiste en la construcción de canales o de terrazas consecutivas, las cuales dividen las cuencas naturales en cuencas elementales pequeñas, en los que puede lograrse que el escurrimiento, producto de las precipitaciones quede regulado.

Un conjunto de esta naturaleza se denomina **"SISTEMA DE DRENAJE"** , que logrado integralmente evitarán la ocurrencia de un huayco, además controla la erosión, favorece las infiltraciones y retiene los arrastres de los suelos (fig. 3.2).

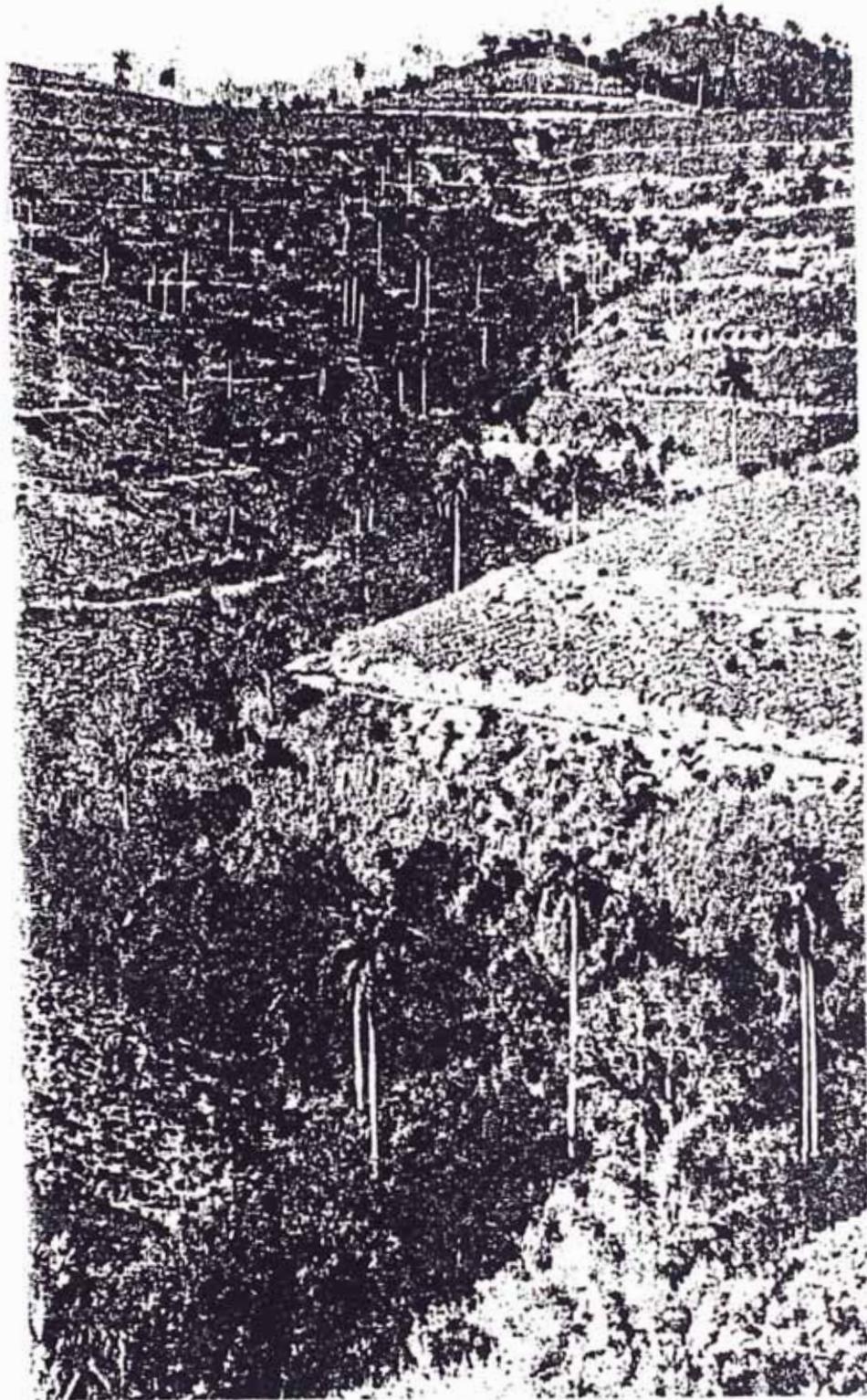


Fig. 3.2 Sistema de corrección de drenaje con terrazas en las laderas de la sierra Rosario - Cuba.

Fuente: Sanchez, O.

3.2. MEDIDAS ALTERNATIVAS PARA LA MITIGACION

Las medidas de mitigación de huaycos tienen el objetivo principal de **Controlar** o mermar los efectos que producen estas avalanchas de lodo y piedras para que no ocasionen desastres a las comunidades cercanas a la quebrada activa.

3.2.1. PRESAS SABO

Las obras de presa SABO, son las más populares en el Japón y se construyen en las quebradas peligrosas para defenderse de los fenómenos de geodinámica externa. El objetivo y punto esencial de las presas SABO pueden ser para:

1. Presa para fijar la ladera.
2. Presa para controlar la erosión vertical.
3. Presa para coger sedimentos extraordinarios de arroyos.
4. Presa para defenderse contra la avalancha de barro y piedras.
5. Presa para la regulación y el control del flujo de sedimentos.

Para tener una idea más clara de los objetivos, empezaremos a describir una sinopsis de estas obras.

1.- PRESA PARA FIJAR LA LADERA

Esta presa tiene por objeto retener el flujo de los sedimentos que se acumulan en la falda del derrumbamiento. La presa se construye generalmente en el punto

más bajo del derrumbamiento; en consecuencia, los sedimentos se acumulan en el embalse, y ángulo de sedimentos forma el reposo.

Es deseable que se incluyan todos los sedimentos en el interior de la línea de acumulación proyectada. sin embargo, cuando no se pueda tener la altura suficiente de presa a causa de la condición del fundamento que pone esta presa o condiciones topográficas, y la escala de derrumbamiento sea demasiado grande, hay que proyectar una pared hacia arriba de la presa. Esta pared resulta en el fundamento de obras de ladera (fig. 3.3).

2.- PRESA PARA CONTROLAR LA EROSION VERTICAL

Cuando la erosión vertical abre alguna parte de arroyo, y baje el lecho y amplifique el arroyo, hay que construir la presa para controlar la erosión vertical. Cuando esta parte consista de larga distancia o longitud, hay que construir presas continuas; estas presas continuas se llaman "Obra de Escalera" en el Japón, (fig.3.4) y tienen por objeto consolidar el lecho.

En este caso, la presa que se construye más abajo de todas tiene que establecerse sobre una fundación dura como la roca.

3.- PRESA PARA COGER SEDIMENTOS EXTRAORDINARIOS

Esta presa tiene por objeto coger los sedimentos extraordinarios que se han acumulado por grandes inundaciones. Generalmente, se construyen presas pe-

queñas continuas; pero si se construye sólo una presa, hay que elegir la zona que pueda captar la capacidad de todos los sedimentos (fig. 3.5).

4.- PRESA PARA DEFENDERSE CONTRA LAS AVALANCHA Y HUAYCOS

En Japón, ocurre a menudo la avalancha de barro y piedras, y por este fenómeno, fallece mucha gente todos los años. Este problema es muy difícil de resolver, y actualmente se continúa el estudio.

Especialmente, la condición para la avalancha es el problema más difícil de estos fenómenos . Los Japoneses pensaron que se puede detener la avalancha si la pendiente del lecho es más pequeña que $1/30$. Por eso, se tiene que formar esta pendiente mediante una presa, pero generalmente como es difícil con una sola presa, se necesitan dos o tres presas consecutivas. Cuando se detiene la avalancha debido a que la pendiente ha sido regulada, el agua que pasa por encima erosiona la parte inferior de la presa; por lo tanto se necesita tener cuidado con este tipo de presas (fig 3.6).

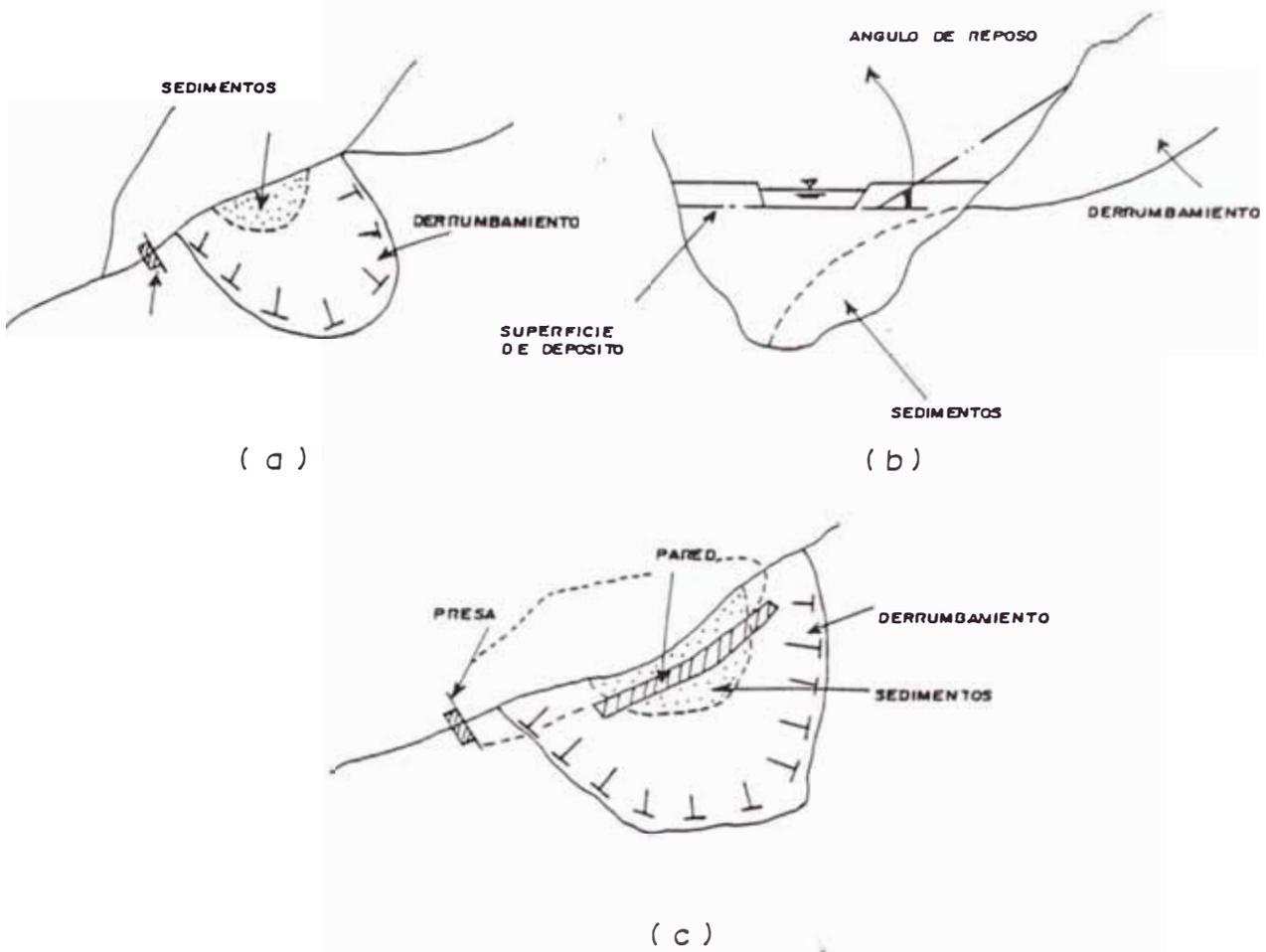


Fig. 3.3 Presa para fijar la ladra

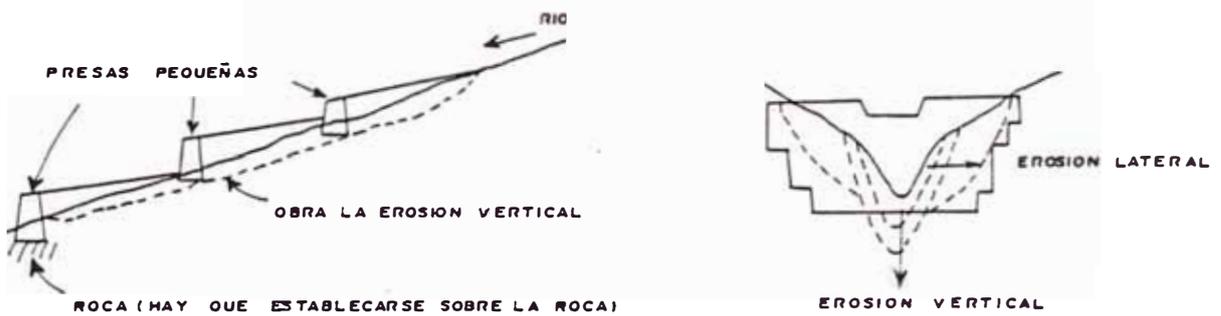


fig. 3.4 Presa para controlar la erosión vertical

FUENTE: PLAN MAESTRO DEL RIO RIMAC "



fig. 3.5 Presa Para coger sedimentos

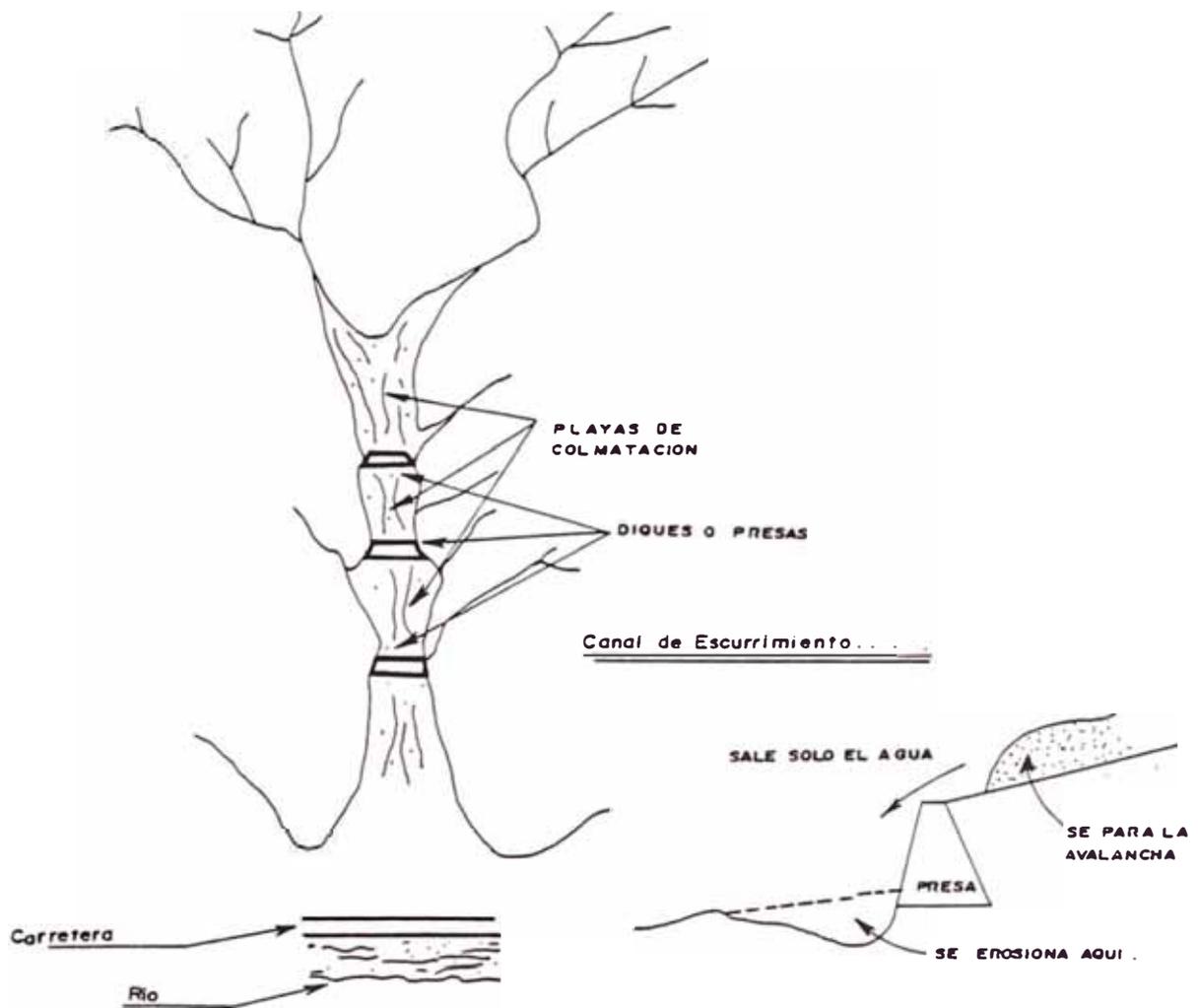


Fig. 3.6 Presa para defenderse contra avalanchas y huaycos

FUENTE : PLAN MAESTRO DEL RIO RIMAC (JICA)

5.- PRESA PARA LA REGULACION Y EL CONTROL DEL FLUJO DE SEDIMENTOS

Según Du-Boys, la fuerza de tracción que obra el lecho del arroyo se muestra en la fórmula siguiente:

$$S = g. H. I$$

S = Fuerza de tracción

g = aceleración de la gravedad

H = profundidad del agua

I = pendiente de la solera (lecho)

El efecto de la presa produce "H" poco profundo y suaviza "I". Generalmente, cuando las lluvias son torrenciales, la presa acumula gran cantidad de sedimentos provisionalmente. En la inundación ligera, estos sedimentos salen lenta e ino- cuamente. Esta operación se llama "La operación de regulación" de la presa.

También, en este caso, la presa acumula piedras de tamaño grande y hace fluir granos pequeños como la ceniza o la arena. esta operación se llama "La operación de control" o la "Operación de tamiz". Estas dos operaciones continúan para siempre e inocuamente. Para realizar estas operaciones todo lo posible, hay que elegir el sitio en que se pueda aumentar la capacidad de embalse, haciendo poco profundo el agua, porque estas operaciones se influyen por el cambio de profun- didad de agua y la mitigación de la pendiente.

3.2.2. MUROS DE MAMPOSTERIA TIPO PIRCA

Esta tecnología para controlar las avalanchas y los huaycos, es propuesta por el Ing. Alberto Martínez Vargas, cuyos estudios están respaldadas por numerosas obras construidas por los incas en las laderas inestables de los valles interandinos, mediante los "andenes". Estos muros pircas de rocas es una de las partes principales de los andenes.

Inspirado en el principio del máximo uso de los recursos disponibles como la roca, Martínez ha diseñado las pircas (secas, diques, muro y dique vertedero) como control de defensa y encauzamiento, como la vía capaz de mitigar los efectos de los desastres naturales por huaycos.

La tecnología de la construcción de los muros de mampostería con pircas es rescatada por Martínez y en su diseño considerará los parámetros y condiciones locales para la zona de su aplicación (fig. 3.7).

3.2.3. ENMALLADOS

Los enmallados, son redes constituídas por mallas de alambre galvanizados (recubierto con zinc) de diversas escuadrías, adoptándose la más conveniente según el tamaño de la piedra disponible para su relleno. El espesor del alambre debe ser el adecuado (mayor de 5 mm) y la resistencia a la tensión mayor de 50 kg/cm². (fig. 3.8).

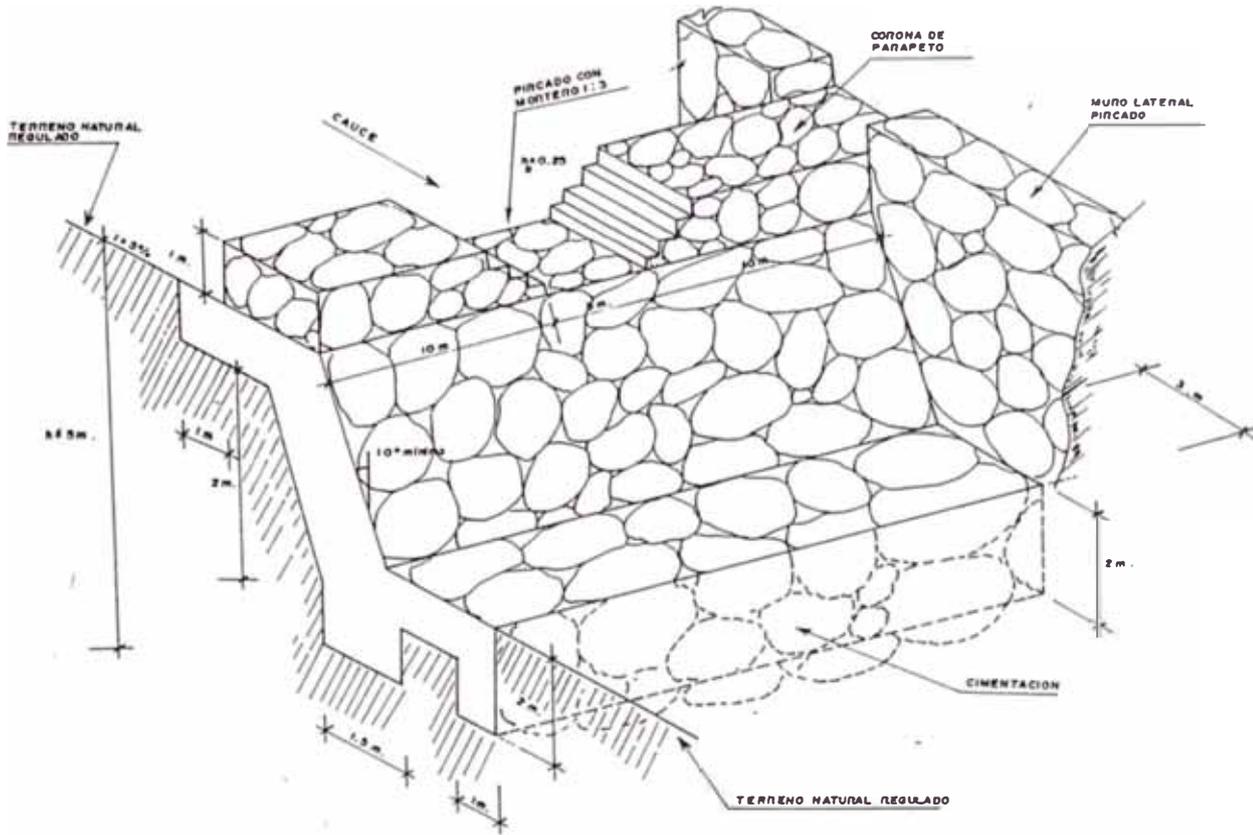


Fig. 3.7 Pirca, dique vertedor

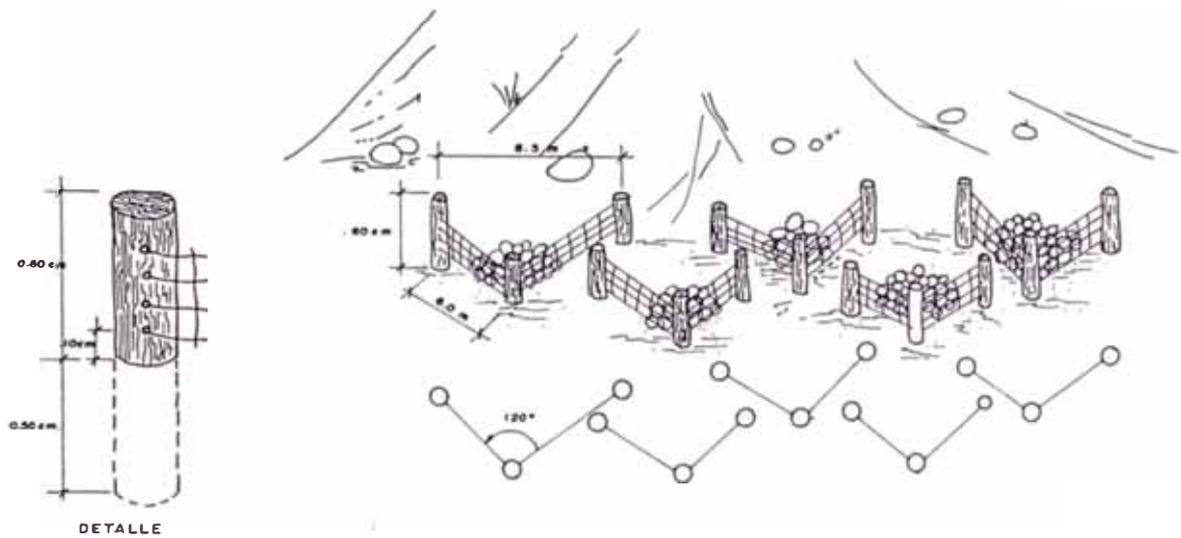


Fig. 3.8 Diagramas de mallas de contención para estabilizar laderas

Fuente: Martínez V.

Cumplen doble función de sostén y drenaje, pudiendo utilizarse para la protección de taludes poco estables o que estén sujetos a erosiones superficiales, así como en correcciones fluviales y torrente, especialmente cuando hay erosión retrogresiva y socavamiento en riberas de los ríos; las rocas y moles colocadas para frenar este proceso erosivo, deben estar enmalladas.

Estos enmallados generalmente se ubican en el área de recepción de la cuenca para que cumpla mejor su función de drenaje.

3.2.4. ENCAUZAMIENTO DEL HUAYCO

El encauzamiento del huayco es una solución propuesta por el Ing. Martínez Vargas como una medida de mitigación, en la cuál define el trazo del cauce en el cono de deyección (parte baja de la cuenca), teniendo en cuenta el carácter socio-económico y técnico para la afectación de viviendas.

El dimensionamiento del cauce es diseñado y realizado en función de la velocidad promedio de flujo de huayco, para lo cual Martínez realiza un estudio hidrodinámico del fenómeno, determinando la velocidad de diseño para el encauzamiento con rocas, y que deberá ser menor de 8 m/seg.; luego aplica la fórmula: $Q = V A$, para determinar la sección del encauzamiento promedio.

Esta alternativa utiliza la roca como material básico en todas las obras de encauzamiento.

3.2.5. DIQUES PARA EL CONTROL DE CARCAVAS

Cárcava es una zanja causada por la erosión del suelo que sigue generalmente la máxima pendiente del terreno y constituye un cauce natural en donde se concentra y corre el agua proveniente de las lluvias. El agua que corre por la cárcava arrastra gran cantidad de partículas de suelo producto de la erosión la cual se va acentuando con una masa de agua mayor y una velocidad que va en aumento, formándose primeramente pequeños canales, los que se van agrandando horizontal y verticalmente hasta que finalmente se forman las cárcavas, llamadas también zanjas, barrancos o torrenteras.

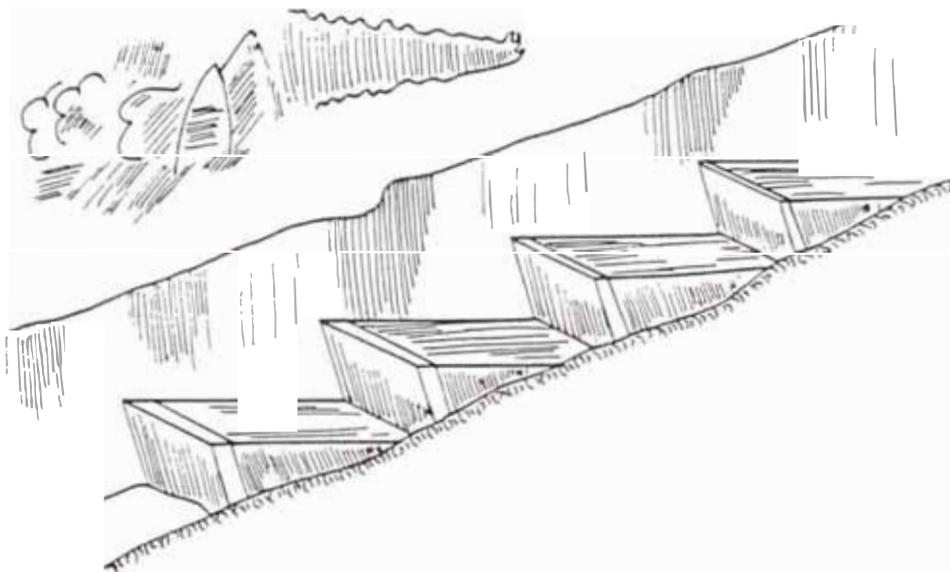
La primera acción que se debe llevar a cabo para controlar una cárcava es eliminar la causa que la originó, para lo cual se tiene que efectuar trabajos **a nivel de ladera o área de drenaje**, que en muchos casos resulta ser suficiente, cuando con las prácticas conservacionistas ejecutadas se controla o anula el escurrimiento superficial de esta zona. En caso contrario, si después de haber tratado la ladera todavía sigue corriendo agua por la cárcava, entonces se efectúan trabajos **a nivel de la cárcava misma**, consistentes en la construcción o colocación de diques o barreras transversales a la cárcava, a fin de disminuir la velocidad del agua y favorecer la sedimentación de las partículas que lleva el agua en suspensión. Generalmente se construyen diques o muros de tres tipos.

- a. Barreras vivas.- construidas con piedras y plantones de agave y sauce, pero solamente en zonas donde la cárcava está en proceso de formación.

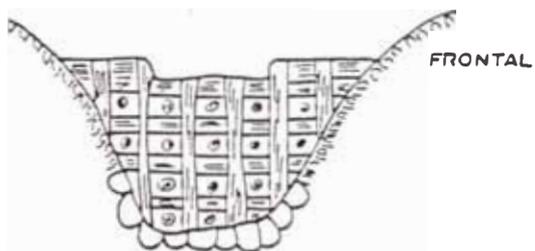
- b. Diques de piedra.- que son complementados con cemento, con estribos y cimientos en zonas medias de cárcavas pequeñas y medianas.
- c. Diques con muros monolíticos de piedra y mortero de cemento.- ejecutados con diseños especiales que evitan el volcado del dique, estas prácticas se realizan cuando hay que proteger áreas de alta productividad o donde existen valiosas construcciones. Su costo es elevado.

La principal medida para el control de cárcavas, sea en zonas de cultivos, de pastos o de forestales, consiste en tratar primero las laderas adyacentes con conservación de suelos y luego, si no se logra evitar el escurrimiento por la cárcava se emplean diques de control (fig. 3.9).

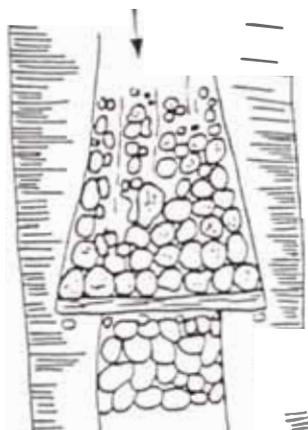
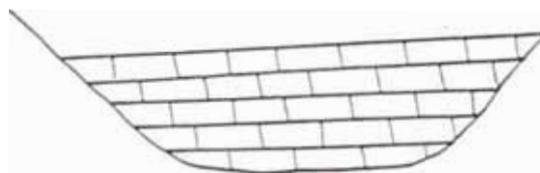
Fig. 3.9 Protección de fondo de la cárcava (tipos de azudes)



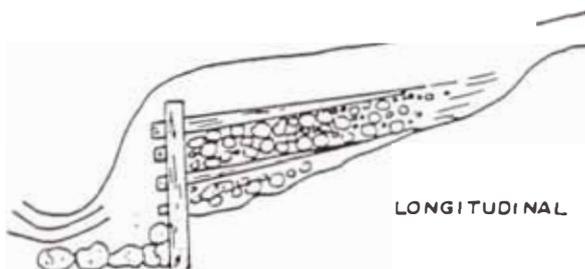
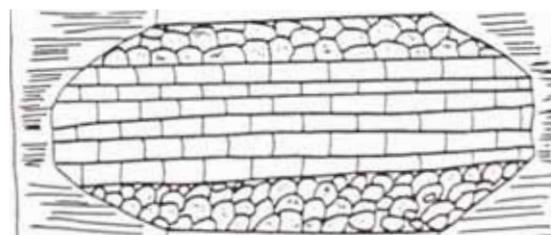
ESQUEMA DE ADAPTACION DE FONDO



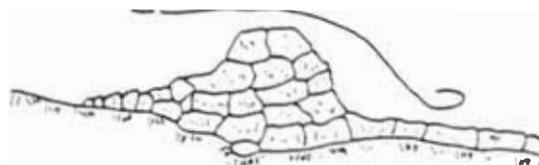
FRONTAL



PLANTA



LONGITUDINAL



AZUD DE RAMAJE Y MATERIAL PETREO

AZUD DE PIEDRA

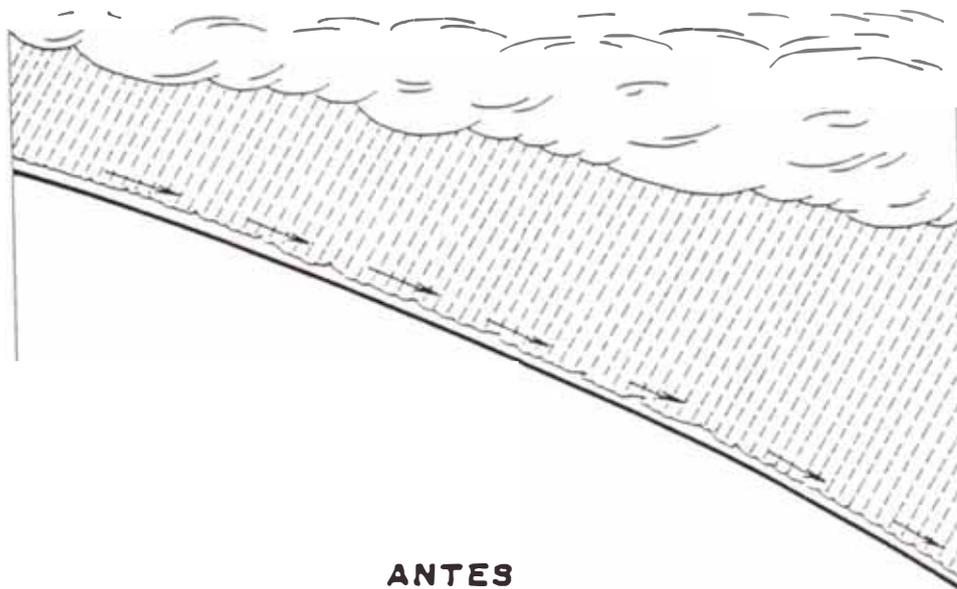
Fuente: INGEMMET

CAPITULO IV: ESTUDIO DEL METODO DE CORRECCION DEL DRENAJE PARA EVITAR LOS HUAYCOS

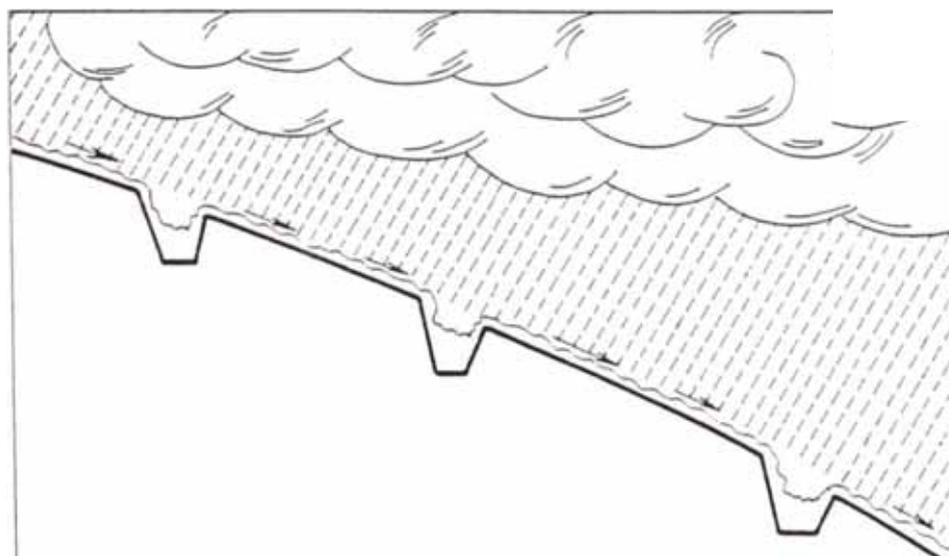
El agua estancada o en movimiento es el peor enemigo de los suelos. El agua cuando se encuentra estancada provoca el ablandamiento por saturación del suelo, y ésta en movimiento presenta el fenómeno de la erosión, hacen que ella sea la causa principal de la mayor parte de las fallas, deslizamientos, avalanchas y huaycos en las quebradas.

Por esta razón es necesario adoptar sistemas que permitan conducirlos, acopiarlos, extraerlos y eliminarlos. Para conseguir esta finalidad es indispensable utilizar el drenaje, el cual se define como el conjunto de elementos capaz de controlar el movimiento de las aguas superficiales principalmente, con el fin de eliminar el exceso de agua absorbida por el suelo, cuando esta no se puede realizar por el sub-suelo. Es así que el drenaje se constituye en un factor de importancia para reducir los gastos de conservación de suelo (fig.4.1).

El agua que debe ser drenada proviene principalmente de las precipitación pluviométrica, pero además, puede provenir de los deshielos, de los desbordes de las quebradas y de las obras de regadío en general.



ANTES



DESPUES

Fig. 4.1 CORRECCION DE DRENAJE EN ZONAS ARIDAS

4.1. SISTEMA DE DRENAJE

El sistema de drenaje tiene como premisa fundamental la de interceptar y conducir convenientemente las aguas, de modo que la erosión natural se reduzca, sin producir erosión acelerada y la posible ocurrencia de una avalancha o un huayco.

Para garantizar este objetivo es necesario cortar la lámina de escurrimiento superficial en el punto que ha adquirido suficiente energía para iniciar la erosión, lo que se logra si el espaciamiento vertical que se fije para el sistema, satisface el máximo calculado para las diferentes pendientes.

El agua en exceso que ha sido interceptada se evacúa a través de los drenes hacia las cañadas, cárcavas o torrenteras. Las dimensiones y pendientes de estos drenes (canales o terrazas de banco) deben calcularse dentro del rango que no produzca erosión y a la vez, se logre la máxima infiltración pero sin producir los desbordamientos.

Cada cañada natural actuará como colectora del agua drenada, incrementando su volúmen en la medida en que descende en altura tal como lo hacía antes, pero ahora regulando el movimiento del agua en la ladera (fig. 4.2).

Los drenes, al interceptar las cañadas, producen un escalonado, que actúa como disipador de energía del agua, al producirse el choque, con el consiguiente

cambio en la dirección del movimiento. Tratándose de la parte superior de la cañada, el caudal ha sido incrementado por la influencia de nuevas áreas, lo que conllevaría a un nuevo perfil de equilibrio para la misma.

El sistema de drenaje se puede complementar con la construcción de pequeños embalses, en la parte baja, los cuales tiene la finalidad de retener los arrastres; o con la construcción de alcantarillas o badenes con la finalidad de evacuar los excesos hacia los ríos.

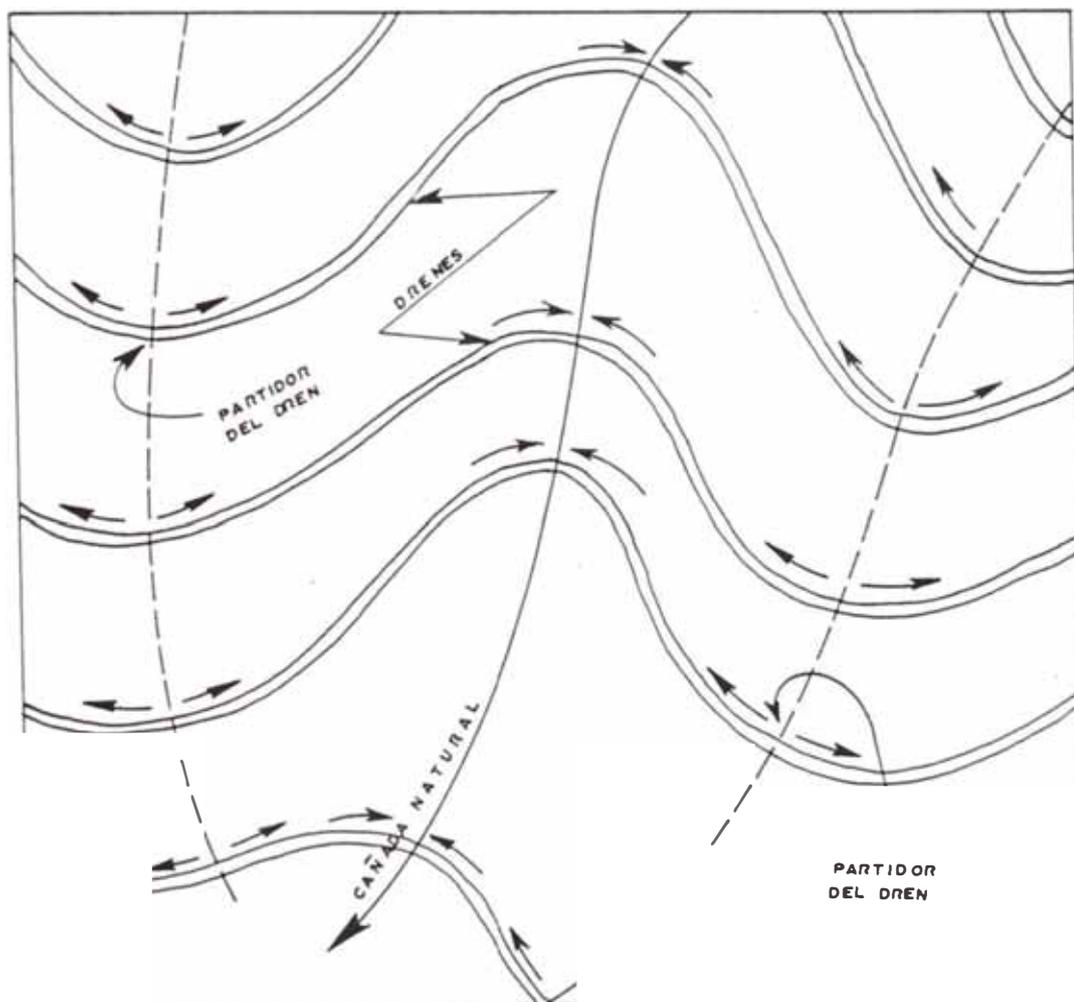


Fig. 4.2 SISTEMA DE DRENAJE

4.1.1. DRENAJE NATURAL

Se entiende por drenaje natural la forma en que el agua de lluvia discurre por la superficie del terreno sin que la mano del hombre actúe sobre la topografía original.

Generalmente los cerros que conforman una quebrada se componen de innumerables irregularidades, con elevaciones y depresiones que forman lomos y hondonadas y actúan, desde el punto de vista del drenaje, de manera muy característica. En la fig. 4.3, se pueden apreciar los lomos y hondonadas que desde el punto de vista del drenaje se denominan partidores y cañadas respectivamente, puesto que el agua de lluvia que cae en los partidores, discurre siguiendo el sentido de la mayor pendiente y se reúne posteriormente en las cañadas que actúan como canales de evacuación.

Si se toma como referencia un punto de la cañada (punto A, fig. 4.4) y se localiza la divisoria general de las aguas que se reúnen en dicho punto, se habrá localizado el límite del área tributaria para el punto en cuestión, o lo que es lo mismo, el límite de la cuenca natural que está en relación con el punto escogido.

Nótese que el concepto de cuenca es relativo a un punto previamente escogido. Por ejemplo, para el punto "A" de la fig. 4.4, el límite de la cuenca está dibujado en líneas de rayas y para el punto "B" está trazado en línea de puntos.

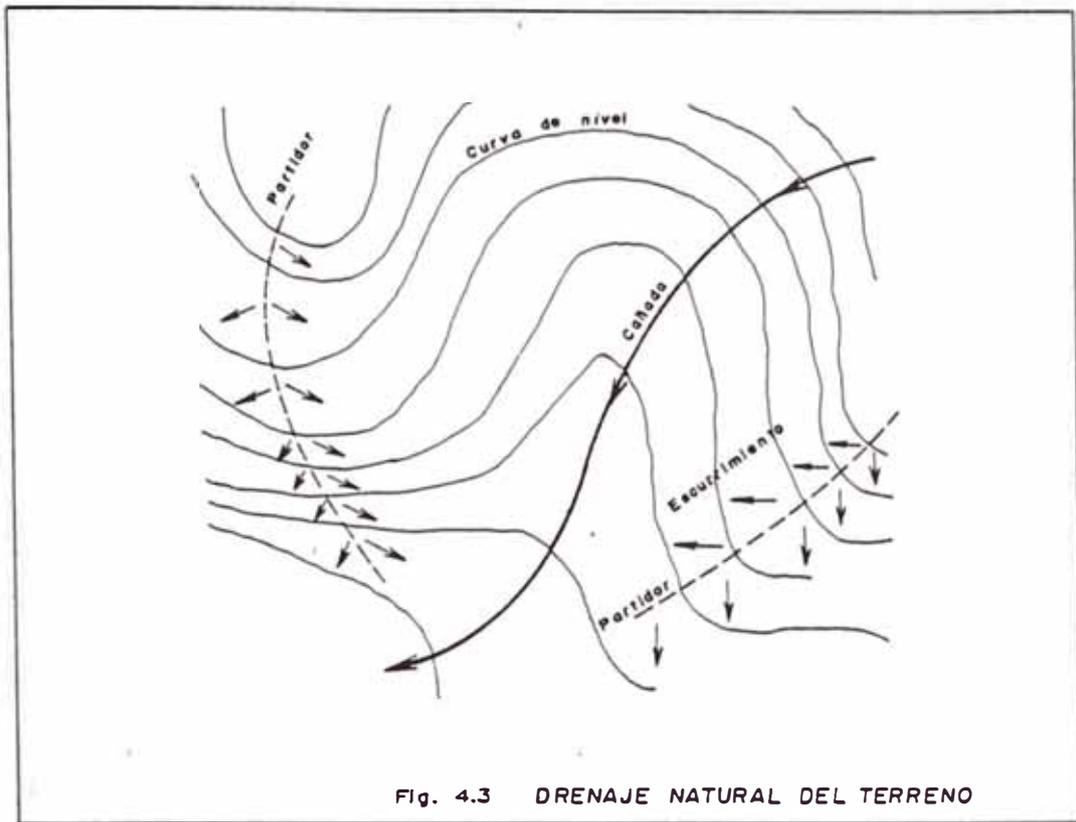


Fig. 4.3 DRENAJE NATURAL DEL TERRENO

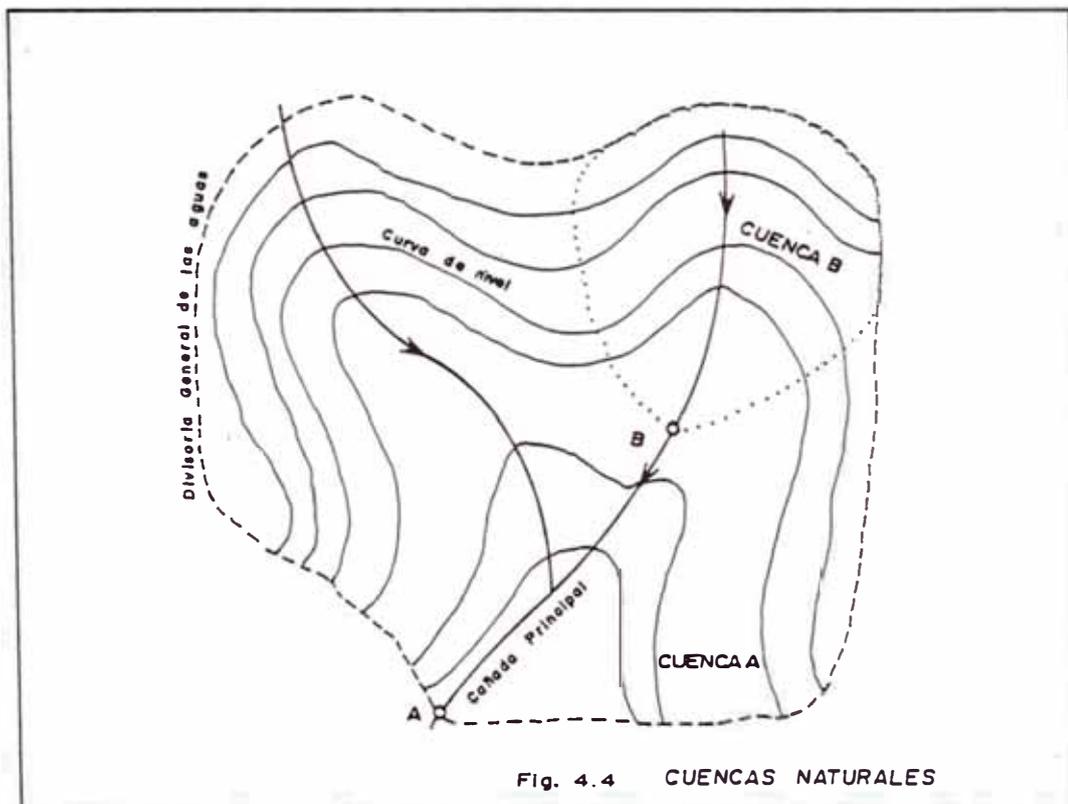


Fig. 4.4 CUENCAS NATURALES

En este caso, "B" es un punto de la cuenca "A"; por consiguiente, la cuenca "B" estará dentro de la cuenca "A".

En general, para cuencas grandes (cuenca "A") el drenaje es mucho más complejo que para las cuencas pequeñas (cuenca "B").

La velocidad del agua de escurrimiento depende directamente de la pendiente del terreno. Donde las pendientes suelen ser abruptas, tanto en las laderas como en los lechos al inicio de las cañadas, la velocidad del agua rebasa el límite permisible para que no se produzca erosión en el terreno. Para ilustrar este concepto se supone (fig. 4.5) el perfil de una cañada natural cuyo lecho es irregular. La lamina de agua que corre por ese perfil, ocasional o permanente, erosiona los puntos salientes y arrastra las partículas hasta que en las depresiones, donde la velocidad disminuye, ocurre la sedimentación.

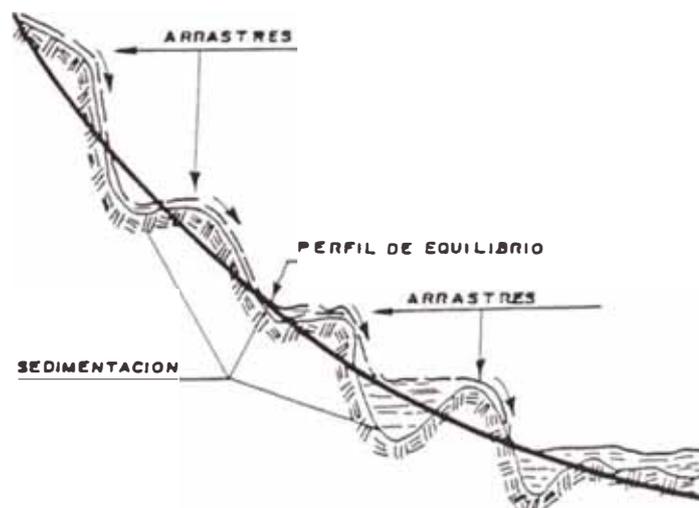


Fig. 4.5 PERFIL DE EQUILIBRIO HIDRAULICO

Este proceso de desgaste y recrecimientos forma, a lo largo de los años, un perfil (dibujado con trazo oscuro en la fig. 4.5), aproximadamente parabólico, que se denomina perfil de equilibrio hidráulico del fondo de la cañada. Sobre su superficie, la acción del agua es benévola.

4.1.2. DRENAJE ARTIFICIAL

Como se ha dicho anteriormente, uno de los objetivos fundamentales que persigue el sistema de drenaje, es controlar la erosión en los suelos de los cerros, disminuyéndola la velocidad de la lámina de escurrimiento superficial. Además existen otros sistemas para lograr este objetivo, de los cuales serán analizados: El método del profesor Tomasso del Pelo Pardi (Italiano), y el método de defensa y restauración de los suelos (Argelino).

El método de Pelo Pardi o del descenso en peine, se basa en dispersar el caudal de escurrimiento por toda la superficie del terreno para disminuirle la velocidad, y con ello, su poder erosivo; o sea, evita la concentración natural en las cañadas mediante desagües o sangrías laterales dentro de un sistema de terrazas o canales, de modo que el caudal que corre por una sangría se divide en dos al llegar a la terraza inmediata inferior, lo que da una cantidad de sangrías que es aproximadamente el doble de la superior en cada caso.

La fig. 4.6, ilustra esquemáticamente el método de drenaje de Pelo Pardi. El mayor inconveniente que presenta este método es que no respeta el drenaje natural del terreno. No se apoya en los beneficios que puede reportar el aprovechamiento

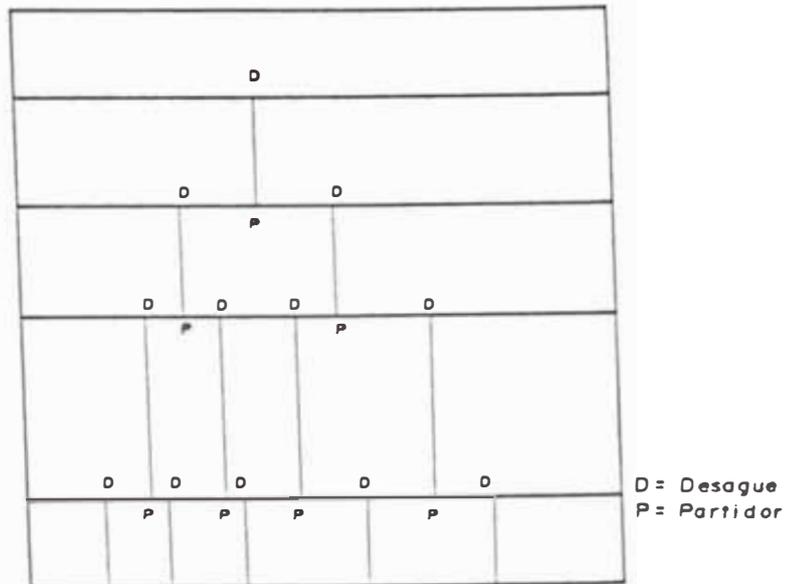


Fig. 4.6 DESCENSO EN PEINE

de las cañadas naturales en que la erosión es poca. Por el contrario, crea nuevos desagües en lugares donde antes no existían. Al concentrar en estos puntos un gasto mayor que el original, este terreno comenzará a erosionar hasta alcanzar su perfil de equilibrio debido al nuevo gasto. Esto ocurre independientemente de que se diseñe el desagüe para evacuar el nuevo caudal. El problema se presenta aguas abajo del desagüe, o sea, en el recorrido que hace el agua al bajar de un canal a otro.

Este método ocasiona un incremento progresivo de las obras de drenaje con el aumento excesivo de sangrías en los drenes inferiores.

El método de defensa y restauración de suelos sustenta la teoría de que, por lo general, las cañadas principales de una cuenca presentan gran estabilidad a los efectos de la erosión, por estar sus lechos constituidos por rocas y por presentar aproximadamente el perfil de equilibrio hidráulico.

El método respeta el drenaje natural del terreno, al llevar el caudal de escurrimiento a cada una de las cañadas naturales correspondientes, las que por acción continua de las lluvias se encuentra en estado de equilibrio para sus condiciones de escurrimiento. la fig. 4.2 presentada anteriormente ilustra este método llamado también el método Argelino.

4.2. FACTORES QUE INFLUYEN EN EL SISTEMA DE DRENAJE

Los factores que intervienen en la solución técnica se pueden dividir, de acuerdo a sus características en naturales y técnicos.

1.- Factores Naturales.- Entre los factores naturales están la pendiente del terreno, la naturaleza de los suelos, la vegetación existente, la intensidad y régimen de lluvias, la erosión y la geología de la zona.

La pendiente del terreno es un factor de gran importancia, pues de ella depende el espaciamiento vertical de los drenes, además influyen en la construcción de terraceamientos a nivel en las laderas, dadas que estas estructuras seccionan las pendientes, las escalonan de tal manera que impiden la circulación violenta del agua.

La naturaleza de los suelos es un factor que influye en los escurrimientos superficiales, dado que a mayor permeabilidad del suelo aumenta la infiltración

y, por lo mismo, hay menor porcentaje de escurrimiento y consiguientemente habrá también menor aporte de agua a los arroyos.

Si un suelo es arenoso, el agua de lluvia no sólo no correrá, sino que se infiltrará en su totalidad hasta el grado de saturación, y si un suelo es compacto o impermeable, el agua de lluvia encontrará dificultades más o menos insuperables para infiltrarse, y la totalidad o la casi totalidad de ella tendrá a seguir el camino que le indique la fuerza de la gravedad e irá a engrosar los arroyos y, por lo tanto, hará de este caudal un volumen excesivo capaz de ocasionar una avalancha.

Este factor de la naturaleza de los suelos puede ser modificado por la mano del hombre, mediante la incorporación de materia orgánica de ellos. Los abonos verdes, los estiércoles los compost y los mejoradores modifican la estructura de los suelos haciéndolos porosos y sueltos, además de las roturaciones profundas y las escarificaciones.

Todo ello hace que los suelos adquieran una consistencia esponjosa, suelta, que permite la infiltración del agua a las capas profundas y por ello la retención de las aguas de lluvia en su interior.

La vegetación existente es uno de los factores naturales más influyentes, porque cada planta, así sea un insignificante pastito, detiene el peso del agua, y porque en cada planta se retiene una cantidad del líquido elemento que de escasa llega a ser de cuantía, según sea el tamaño de cada vegetal.

Puede fomentarse la vegetación existente y aún revegetarse donde no haya, mediante plantaciones de pastos, arbustos, árboles, y, por lo tanto, es indudable que el problema de la vegetación existente, sí es susceptible de ser controlada por la mano del hombre, pues estamos en condiciones de hacer plantaciones o siembras en cualquier punto dentro de los límites de la vida vegetal, con pastos o reforestaciones propias del lugar.

La intensidad y el régimen de las lluvias tienen una influencia determinante en el sistema de drenajes. Las capacidades de evacuación de los diferentes elementos del sistema serán una función directa de la intensidad y frecuencia de las lluvias. El control de los escurrimientos de las aguas de lluvia, mediante el sistema de drenaje permitirá que ellos sean conducidos por canales o zanjas colectoras, cuidadosamente trazados hacia los ríos, o en zonas agrícolas a depósitos, pequeñas presas, estanques o cochas, en donde deben quedar almacenados, y lejos de constituir un peligro, servirán de fuentes de vida utilizables durante el estiaje, en cochas o como depósitos para riego.

Todo esto constituye un uso inteligente del agua de lluvia, es decir, su aprovechamiento máximo para la vida misma, conduciéndola a que trabaje permanentemente en beneficio del ser humano, en vez de dejarla correr incontrolada por los barrancos y quebradas. Y al mismo tiempo que se hace un aprovechamiento racional del agua de lluvia, por añadidura, como se decía antes, se logra el objetivo de evitar que el agua ocasione destrozos, produzca derrumbes, deslizamientos, huaycos e inundaciones.

Se plantea que en el supuesto caso de que el agua de lluvia no fuera posible controlarla en los estanques, en pequeñas presas, o en cochas, porque estas estuvieran satisfechas en su capacidad máxima, entonces podrían construirse desagües apropiados que lleven el caudal excedente a los ríos, sin el peligro de que conduzcan lodo.

Por último, entre los factores naturales, se encuentran la erosionabilidad de los suelos y la geología de las zonas donde se aplica la solución planteada. Ellas influyen en la pendiente longitudinal y la longitud de los canales o terrazas, en la productividad que se puede lograr en la construcción y en los tipos de desagüe a utilizar.

2.- Factores Técnicos .- Entre los factores técnicos se encuentran los factores constructivos y los de mantenimiento. Dichos factores se evalúan al diseñar la sección de los drenes pues de ellos depende del ancho y la inclinación de la plataforma de corte, así como la pendiente de los taludes de corte y de relleno del terraplén; parámetros que una vez determinados, permanecen constantes a través de todo el cálculo como veremos más adelante.

ANCHO DE LA PLATAFORMA.- Es el ancho que se obtiene al cortar y rellenar la ladera y que constituye la base funcional del dren. Está determinado solamente por el análisis de los factores técnicos, teniendo en cuenta que el funcional tiene siempre preferencia sobre el constructivo, esto es: si el factor funcional exige un ancho mayor que el constructivo, se debe optar siempre por satisfacer el primero.

INCLINACION DE LA PLATAFORMA.- Para determinar la inclinación de la plataforma, además de los factores técnicos, deben analizarse los naturales ya que los mismos tienen gran influencia. Entre estos últimos se deben analizar la intensidad de la lluvia y la erosión en dependencia del tipo de suelo predominante.

En el caso de las terrazas de drenaje o de plataforma constante, una de las funciones que debe cumplir ésta, es que la misma trabaje como canal de desvío de las aguas de escurrimiento que caen en el área superior a ella. Este canal se logra entre ancho de corte y el talud correspondiente, con una adecuada inclinación hacia el interior de la plataforma de la terraza hasta un valor prefijado.

Esta inclinación debe ser tal, que los asentamientos posteriores de la plataforma en la zona de terraplén siempre garanticen la circulación del agua desde el borde exterior hacia el interior de la misma.

PENDIENTE DEL TALUD DE CORTE (Pt).- La inclinación de los taludes de corte está determinada, principalmente, por la resistencia al cortante de los suelos en los cuales se construyen. No debe olvidarse también que esta inclinación está determinada en gran medida por las posibilidades de construcción a media ladera, que son difíciles.

PENDIENTE DEL TALUD DE TERRAPLEN (Pr).- Este parámetro está en relación directa con las características del material que compone el terraplén y por el grado de compactación y saturación del mismo.

Si se analizan las posibilidades constructivas es fácil observar que la pendiente de estos taludes es el ángulo de reposo del material, ya que de acuerdo a la altura que tienen los mismos esta inclinación es suficiente para garantizar su estabilidad.

TALUDES RECOMENDADOS

Los taludes de los drenes guardan estrecha relación con el material geológico que atraviesan en su recorrido, por lo que deberán considerarse los siguientes:

CORTES	TALUD
Conglomerados, suelos arcillosos	1:1
Tierra arenosa suelta	2:1
Tierra con protección rocosa	1:1
Arcilla firme o tierra para zanjas pequeñas	1.5:1
-Roca suelta	1/4:1
-Roca fija	1/10:1
RELLENOS	TALUD
Tierra vegetal	1.5:1
Suelos arenosos	3:1
Suelo enrrocado	1:1
Pircado con piedra	1/2:1

Desde el punto de vista de la tecnología propia, los factores más importantes son los funcionales y constructivos, ya que en función de estos se fija el ancho, otros elementos de la sección y se determina la técnica a emplear para la construcción de los canales colectores y de la plataforma de la terraza.

El sistema de drenaje puede estar conformado por terrazas de drenaje o canales de acopio de acuerdo a la zona de su aplicación, como ya habíamos mencionado anteriormente, y que seguidamente trataremos estos puntos.

4.3. TERRAZAS DE DRENAJE

Se define como terraza de drenaje al movimiento de tierra realizado a media ladera del que se obtiene una plataforma plana cuya sección transversal se mantiene constante, siguiendo el trazado aproximado de las curvas de nivel.

4.3.1. ELEMENTOS Y DEFINICIONES

Pendiente Del Terreno (P).- Declive que presenta el terreno entre dos puntos (fig. 4.7). Se define como la tangente expresada en % del ángulo formado entre la horizontal y la línea del terreno normal a las curvas de nivel.

Talud de corte.- Plano lateral del corte de una terraza cuya pendiente (P_t) es mayor que la del terreno natural. Está formado por el material normalmente consolidado.

Talud de Terraplén.- Plano lateral del terraplén formado por el material removido de corte, dejado caer libremente sobre la pendiente del terreno. La pendiente que toma este plano se denomina pendiente de reposo (P_r) y depende de la densidad del material suelto, de la forma y grosor de los granos.

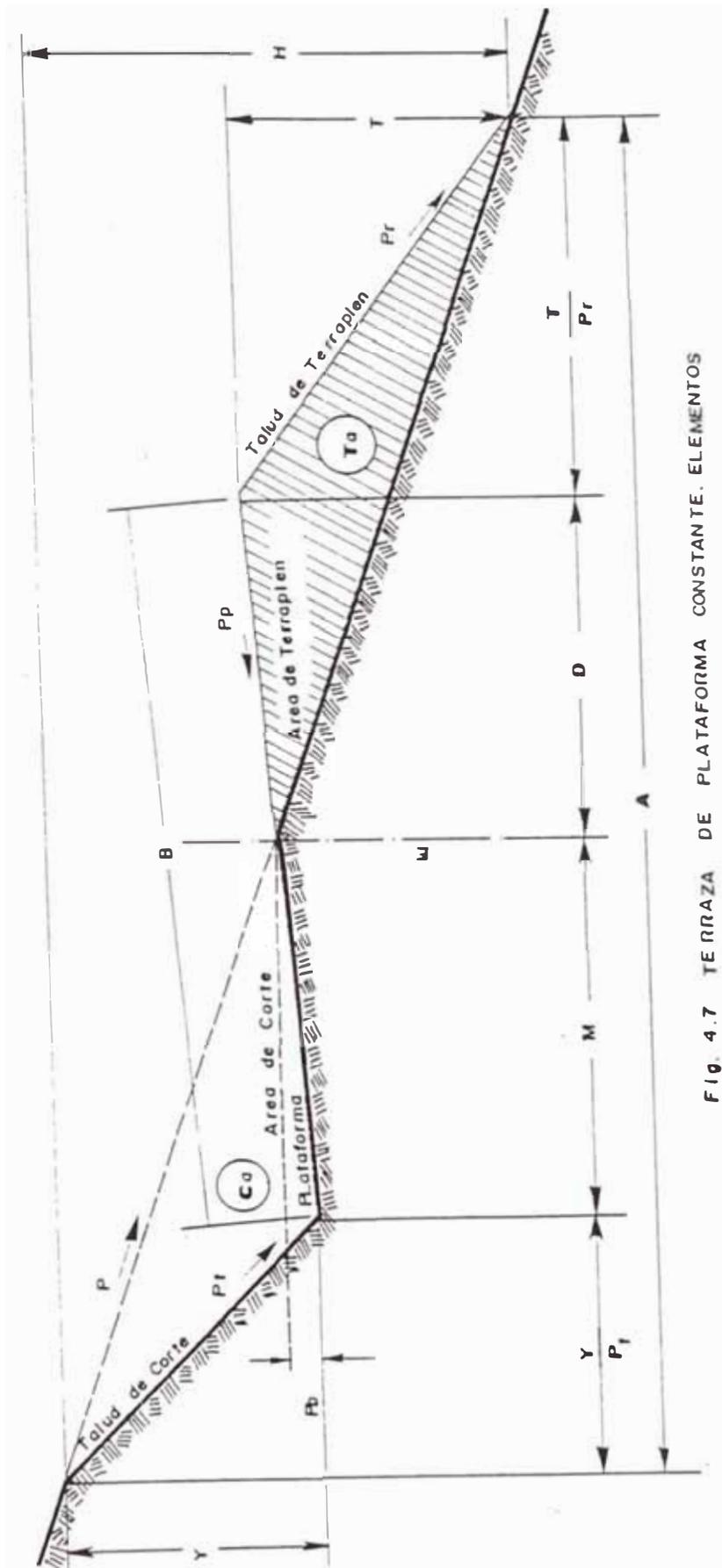


FIG. 4.7 TERRAZA DE PLATAFORMA CONSTANTE. ELEMENTOS

Pendientes de los taludes (Pt y Pr).- Se expresa como una relación entre distancias. Generalmente la distancia vertical se fija como la unidad y, en consecuencia, la variación de la horizontal dará las distancias entre las inclinaciones de los taludes (fig. 4.8).

Plataforma.- Superficie plana de las terrazas, de pequeña inclinación, donde se efectúan, la recolección y se conducen las aguas de escurrimiento superficial. Lograr esta plataforma es el objetivo del diseño de la sección de la terraza de drenaje.

La inclinación hacia el talud de corte de esta plataforma cuya pendiente es P_p , hace que la terraza funcione desde el punto de vista hidráulico como un canal; este concepto es la base del sistema de drenaje.

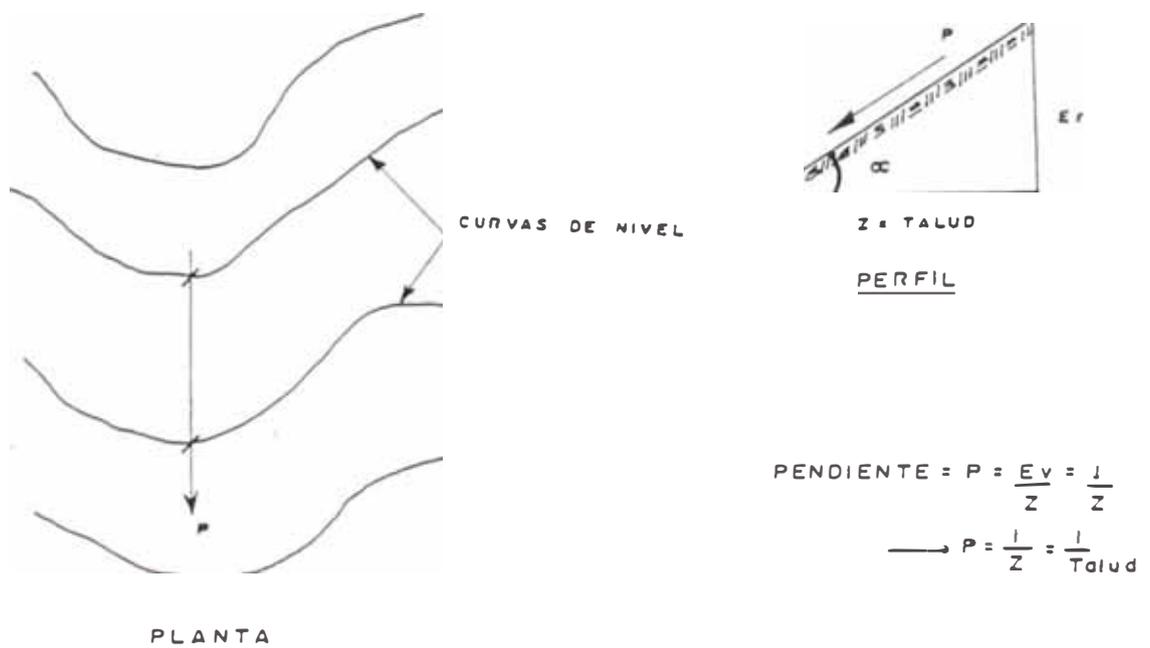


Fig. 4.8 PENDIENTE DEL TERRENO

Ancho de la Plataforma (B).- Distancia inclinada medida entre el punto más alto y el más bajo de la misma. debe ser tal que satisfaga las condiciones de diseño.

Eje de la terraza (E).- Unico punto de la plataforma que pertenece al perfil original del terreno.

Ancho de corte (M).- Distancia horizontal del eje de la terraza al punto más bajo de la plataforma.

Ancho del terraplén (D).- Distancia horizontal del eje de la terraza al punto más alto de la plataforma.

Altura de corte (Y).- Distancia vertical o diferencia de nivel entre el punto más alto y el más bajo del talud de corte.

Altura del canal (Fh).- Distancia vertical o diferencia de nivel entre el punto más bajo de la plataforma y el eje de la terraza.

Altura de Terraplén (T).- Distancia vertical o diferencia de nivel entre el punto más alto y el punto más bajo del talud de terraplén.

Ancho del talud de corte (Y/Pt).- Distancia horizontal entre el punto más alto y el punto más bajo del talud de corte.

Ancho del talud de Terraplén (T/Pr).- Distancia horizontal entre el punto más alto y el punto más bajo del talud del terraplén.

Ancho total de la terraza (A) .- Distancia horizontal entre el punto más alto del talud de corte y el punto más bajo del talud del terraplén.

Altura total de la Terraza (H).- Distancia vertical o diferencia de nivel entre el punto más alto del talud de corte y el punto más bajo del talud de terraplén.

Area de Corte (Ca).- Area excavada o extraida para construir el terraplén. Está formada por el triángulo cuyos lados son: El terreno natural, el talud de corte y la sección de corte de la plataforma.

Area de Terraplén (Ta).- Area rellenada para construir el terraplén. Está formada por el triángulo cuyos lados son: El terreno natural, el talud del terraplén y la sección de terraplén de la plataforma.

4.3.2. TIPOS DE TERRAZAS

a) Terraza en escalera.- Es el método más antiguo utilizado para el aprovechamiento de los terrenos de altas pendientes, su construcción era manual. Consiste en plataformas o escalones a través de la pendiente, con el talud del terraplén sostenido por muros de piedra, empalizadas o con la ayuda de la vegetación. Su perfil es horizontal y la plataforma tiene una cierta inclinación en el sentido del declive. Se puede construir en terrenos de pendiente fuerte y como el muro se adapta a la configuración topográfica, el ancho de su plataforma es variable (fig 4.9).

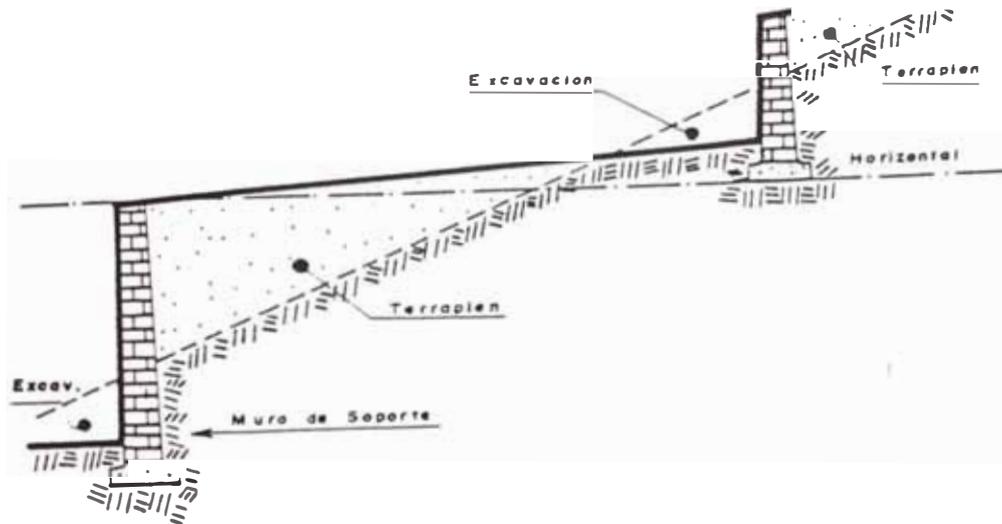


Fig. 4.9 Terraza en escalera

FUENTE . O . SANCHEZ

b) Terrazas de camellón .- Este tipo de terraza se construye donde las precipitaciones resultan escasas y los suelos son permeables. Son casi horizontales y no tienen desagües, con la finalidad de retener la mayor cantidad de agua posible, aumentar la humedad del suelo y disminuir la erosión. En ella el elemento más importante lo constituye el camellón, el cuál debe ser suficientemente grande para retener el volumen de agua.

Se construyen en terrenos con pendientes entre el 2 y el 5 %, y si es posible se puede cultivar en toda su superficie (fig. 4.10).

c) **Terraza de Canal.**- Esta terraza es utilizada en terrenos en los que las precipitaciones anuales son excesivas y tienen baja permeabilidad, con el fin de llevar las aguas con velocidades no erosivas hacia canales de desagües protegidos. Se construyen en terrenos cuyas pendientes no rebasen el 12 % y puedan ser cultivadas en toda su superficie según el terreno. El terraplén se obtiene por un suave acordonamiento del material escavado (fig. 4.11).

d) **Terraza Simple.**- Es una variante de la terraza de canal en la que el talud del borde inferior no ha sido trabajado y posee el ángulo de reposo del material. No permite la utilización de equipos de labranza en dichas áreas. Este tipo de terrazas se utiliza hasta pendientes del 20 % (fig. 4.12).

e) **Terraza de Banco.**- Las plataformas de este tipo tienen una pendiente de un 5% hacia el talud superior y un declive longitudinal hacia el desagüe que puede llegar al 1 %. Este tipo de terraza se adopta en terrenos con pendientes entre el 20 y el 60 %. En ellas se conserva el agua necesaria para mantener la humedad, disminuyendo la erosión (fig. 4.13).

f) **Banqueta de Perfil Normal.**- La banqueta de perfil normal se construye con equipos. Su sección transversal tiene forma de canal, con un talud del 100 % y un camellón en el borde exterior. Su fondo es plano con una pendiente transversal hacia el corte entre el 5 y el 10 % y su perfil generalmente tiene una caída hacia el desagüe del 0.5 % .

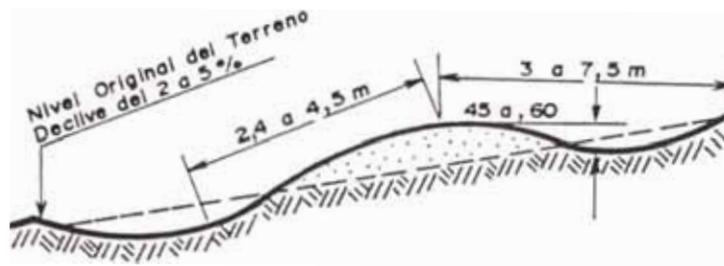


Fig. 4.10 TERRAZA DE CAMELLON CONSTRUIDA A AMBOS LADOS

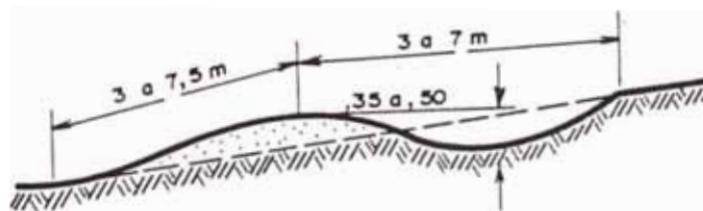


Fig. 4.11 TERRAZA DE CANAL

FUENTE : O . SANCHEZ

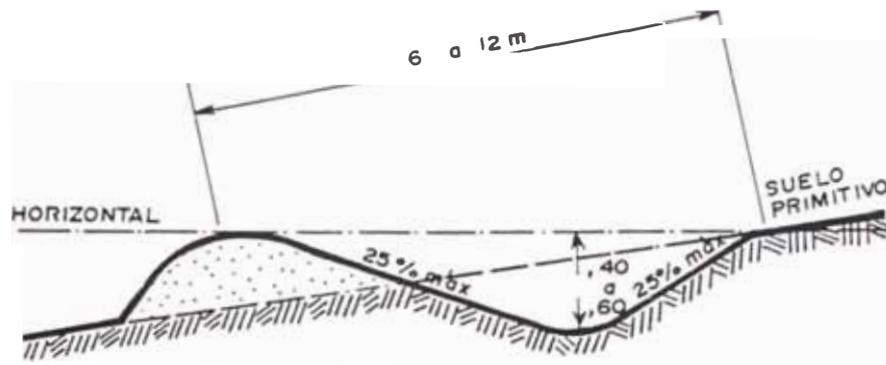


Fig. 4.12 TERRAZA SIMPLE

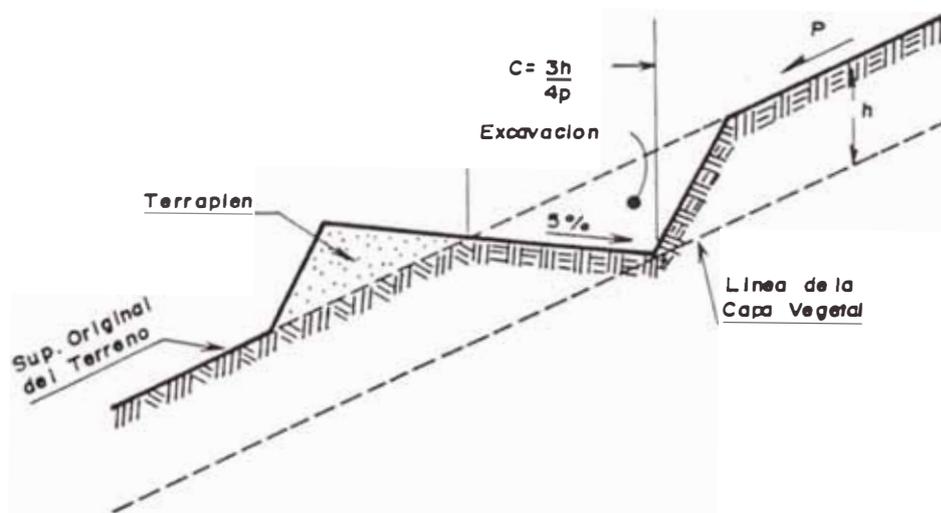


Fig. 4.13 TERRAZA DE BANCO

FUENTE : O . SANCHEZ

Esta sección es favorable a las infiltraciones, asegura el desaguë de las lluvias más fuertes a velocidades no erosivas, además de permitir su cultivo. La construcción de esta banqueta se hace en pendientes de un 25 a un 60% ; el ancho de su plataforma puede ser de 1.25 a 3 metros. En determinadas circunstancias de suelo y lluvia, la forma trapezoidal del camellón es necesario sustituirla, eliminando las aristas, por una forma alomada (fig. 4.14).

g) Banqueta de talud cortado.- Constituye una modificación de la anterior y se diferencia en que la pendiente del talud de corte fue disminuida hasta valores comprendidos entre el 25 y el 40 % con la finalidad de que pueda ser arado, al menos con animales. Este tipo de banqueta es utilizada en terrenos cuya pendiente no excede del 30 % (fig. 4.15).

h) Grada de perfil Normal.- Las gradas se diferencian de las banquetas fundamentalmente en que la dimensión de su sección transversal es menor, y además que la superficie de la plataforma es continua.

Las gradas de perfil normal tienen un ancho que oscila entre 1 a 2 metros, con una pendiente hacia el talud de corte que va de 0 al 5 %. El terraplén se asienta sobre una superficie roturada y tiene en su extremo un camellón. Se recomienda en pendientes del 50 al 60 % en terrenos permeables, pero nunca en arcillas (fig. 4.16).

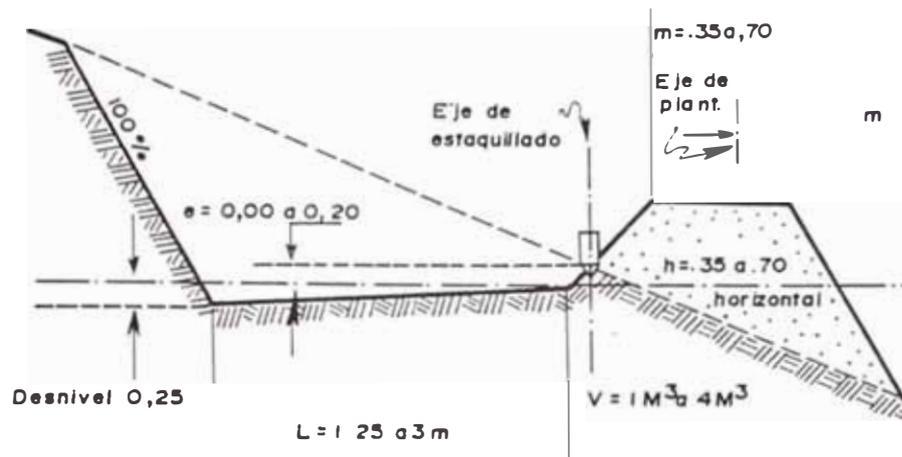


Fig. 4.14 BANQUETE DE PERFIL NORMAL

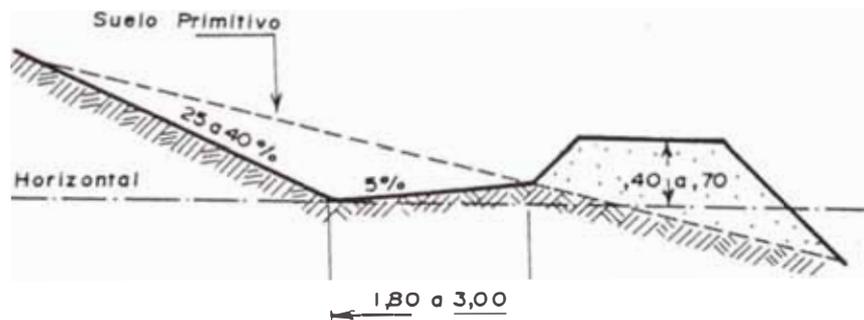
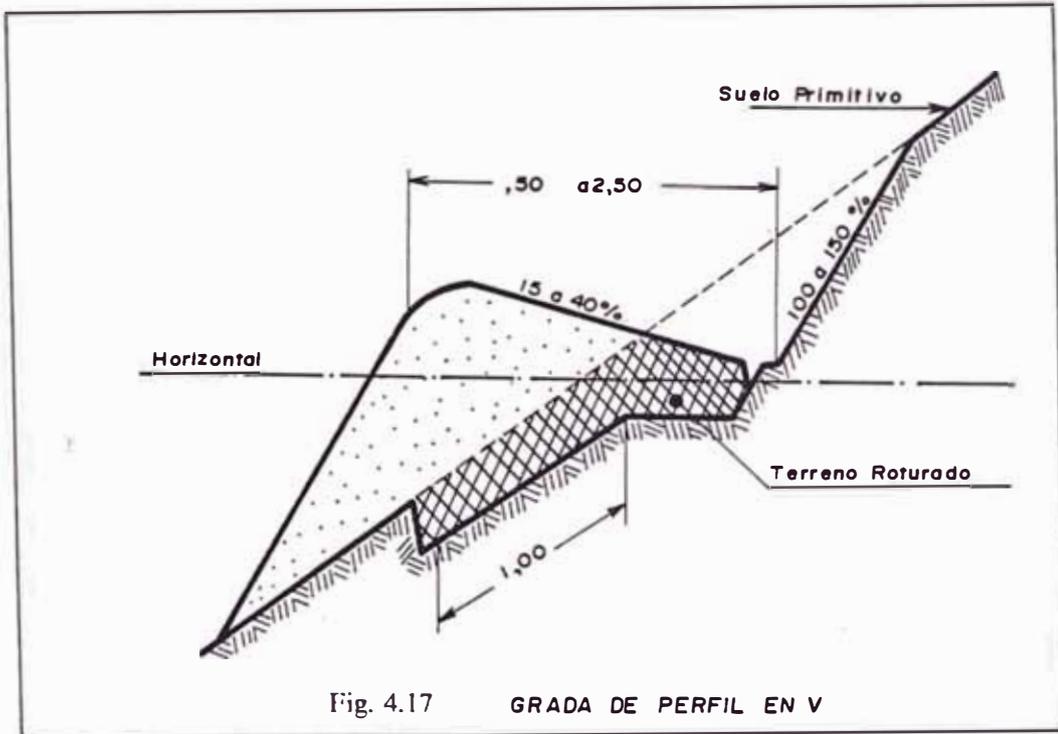
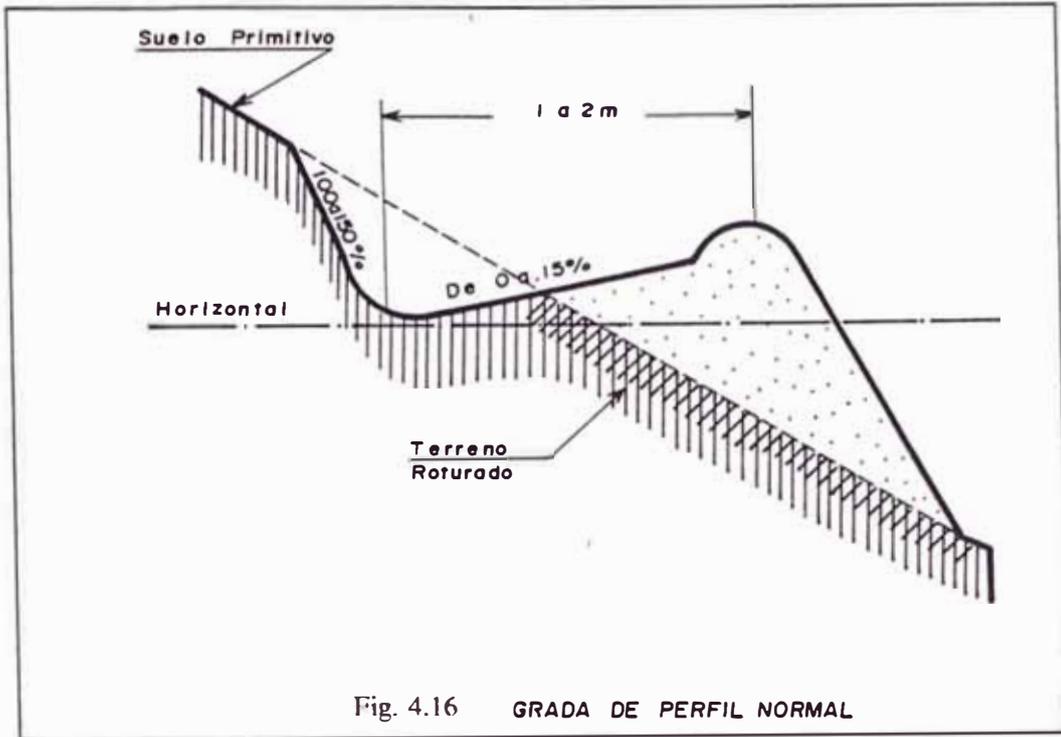


Fig. 4.15 BANQUETE DE TALUD CORTADO

FUENTE : O . SANCHEZ



FUENTE : O. SANCHEZ

i) Grada de perfil en V .- Se diferencia fundamentalmente de la anterior en la inclinación de la plataforma, ya que el límite inferior de esta coincide con el superior de la otra. el valor máximo que puede tomar esta pendiente es de del 45 %. La sección transversal tiene un ancho de plataforma de 0.50 a 2.50 metros y no presenta camellón. Estas gradas se emplean en pendientes incluso superior al 60 % y no tienen limitación en cuanto al tipo de suelo (fig. 4.17).

j) Plataforma constante.- Este tipo de terraza se ha desarrollado en la sierra Rosario en Cuba. El método utilizado surgió de la necesidad de mecanizar su construcción y desarrollar el trabajo en un sistema montañoso con pendientes superiores al 45 %, que a menudo alcanzan hasta el 100 %. El objetivo fue crear un elemento que sustancialmente ayudará a evitar la erosión y, al mismo tiempo, se convirtiera en un área reforestada, dando acceso a las montañas y al desarrollo de áreas hasta entonces inaccesibles. Estas condiciones obligaron a encontrar soluciones que, respetando el drenaje natural de la montaña, controlarán la erosión, harán accesible y hasta cultivable la misma (fig. 4.18).

La terraza de plataforma constante, que puede construirse en pendientes que oscilan entre el 15 y 100 %, se acerca en su recorrido a las cuvas de nivel, haciendo variable su corte o talud solamente por dependencias geométricas de acuerdo con el declive del terreno. Su diseño hidráulico responde al régimen de lluvias y permeabilidad de los suelos. El espaciamiento vertical de las terrazas está determinado por la pendiente predominante del terreno.

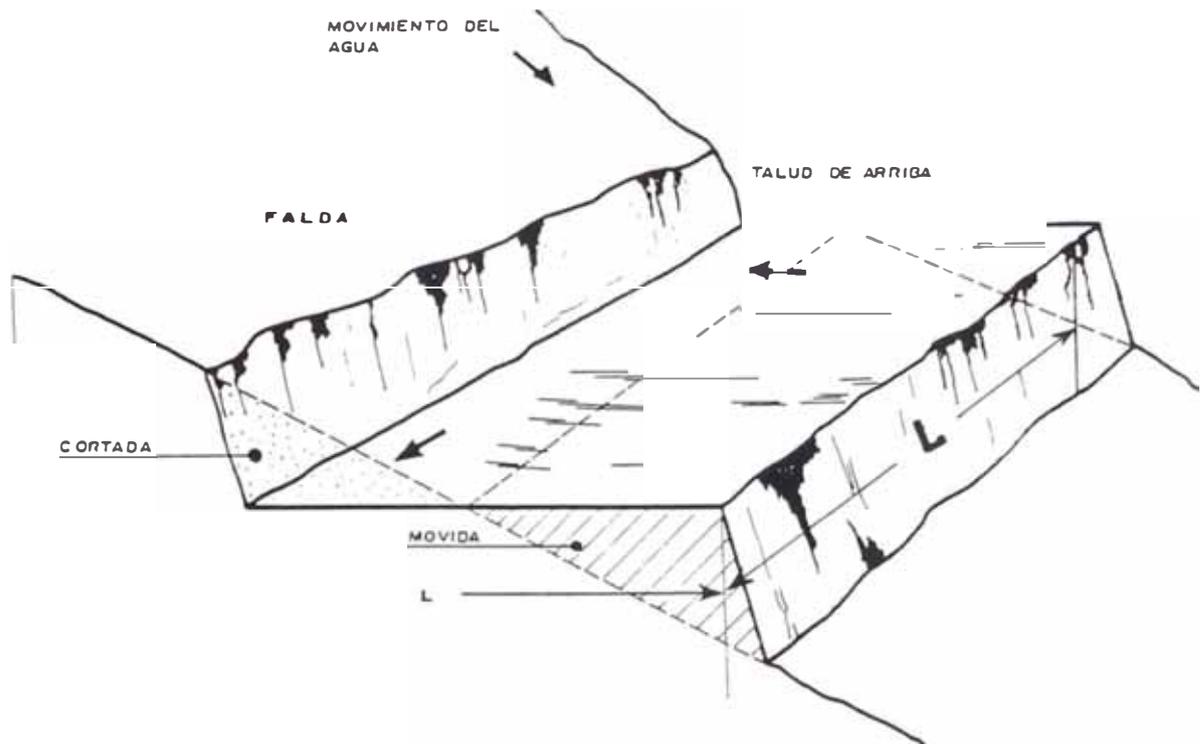


Fig. 4.18 Terraza de plataforma constante

4.3.3. DEDUCCION DE FORMULAS

Para la solución matemática de la sección de la terraza de drenaje es necesario la determinación de las variables dependientes M, Y, D y T , para lo cual, dado la cantidad de elementos que intervienen, debe determinarse cuales de ellos son parámetros fijos para un caso general. Mediante el análisis de los elementos componentes, se llega a la siguiente conclusión: P_r y P_t son dos parámetros que dependen solamente de las características del tipo de suelo, pudiéndose asumir como parámetros fijos una vez conocido este. A su vez P_p y B son parámetros fijos, dependientes únicamente de los factores que influyen en la solución técnica.

Puede concluirse que P es la única variable independiente que condiciona el cálculo de las variables M, Y, D y T, las cuales, como se verá más adelante, son las necesarias para la solución técnica de los problemas derivados de la construcción de las terrazas.

Del análisis geométrico y trigonométrico de los triángulos de corte y terraplén de la figura 4.7, y teniendo en cuenta que a los efectos prácticos es posible la compensación entre ambos ($C_a = T_a$) se obtiene:

$$P = \frac{Y - M P_p}{M + Y / P_t}$$

$$Y = \frac{P + P_p}{1 - P / P_t} M$$

$$\frac{P + P_p}{1 - P / P_t} = a \dots (1)$$

$$Y = a M \dots (2)$$

$$P = \frac{T - D P_p}{D + T / P_r}$$

$$T = \frac{P + P_p}{1 - P / P_r} D$$

$$\frac{P + P_p}{1 - P / P_r} = b$$

$$T = b D \dots (3)$$

$$B^2 = P_p^2 (M + D)^2 + (M + D)^2$$

$$M + D = B / (P_p^2 + 1)^{0.5}$$

$$A_c = 0.5M (1 + P_p/P_t) (Y - M P_p) + 0.5M P_p(1 + P_p/P_t)$$

$$a M^2$$

$$A_c = \frac{\dots}{2} (1 + P_p/P_t)$$

$$A_t = \frac{D}{2} (1 + \frac{P_p}{P_r}) (T - D P_p) + \frac{D}{2} P_p (1 + \frac{P_p}{P_r})$$

$$A_t = \frac{D^2 b}{2} (1 + \frac{P_p}{P_r})$$

Planteando la compensación transversal $C_a = T_a$

$$\frac{b}{2} (1 + \frac{P_p}{P_r}) D^2 = \frac{a}{2} (1 + \frac{P_p}{P_t}) M^2$$

$$M = D \left| \begin{array}{c} \frac{P_p}{P_r} \\ b (1 + \frac{\dots}{\dots}) \\ \dots \\ \frac{P_p}{P_t} \\ a (1 + \frac{\dots}{\dots}) \end{array} \right| (0.5)$$

$$K = \frac{b \left(1 + \frac{P_p}{P_r} \right)}{a \left(1 + \frac{P_p}{P_t} \right)} \quad \dots (5)$$

$$M = K D \quad \dots (6)$$

$$K D + D = \frac{B}{(P_p^2 + 1)^{0.5}}$$

$$D = \frac{B}{(K + 1) (P_p^2 + 1)^{0.5}} \quad \dots (7)$$

Del desarrollo anterior, D (fórmula 7) queda en función de los parámetros fijos y a través de las variables de cálculo en función de P; esta es la solución del problema, pues con las relaciones de dependencia ya establecidas (fórmulas 2,4 y 6) puede calcularse las demás variables dependientes.

Debe notarse que la fórmula 3, se indetermina para los valores $P = P_r$. La fig 4.19, esquematiza la secuencia de cálculo para la obtención de M,Y,D y T. De la fig. 4.20 se deduce el proceso para la obtención del radio hidráulico, recogándose todos los parámetros que intervendrán para los cálculos de la terraza en las tablas 4.1, 4.2 y 4.3. para anchos de plataforma de 2.0, 3.0 y 4.0 m., respectivamente a manera de ejemplo.

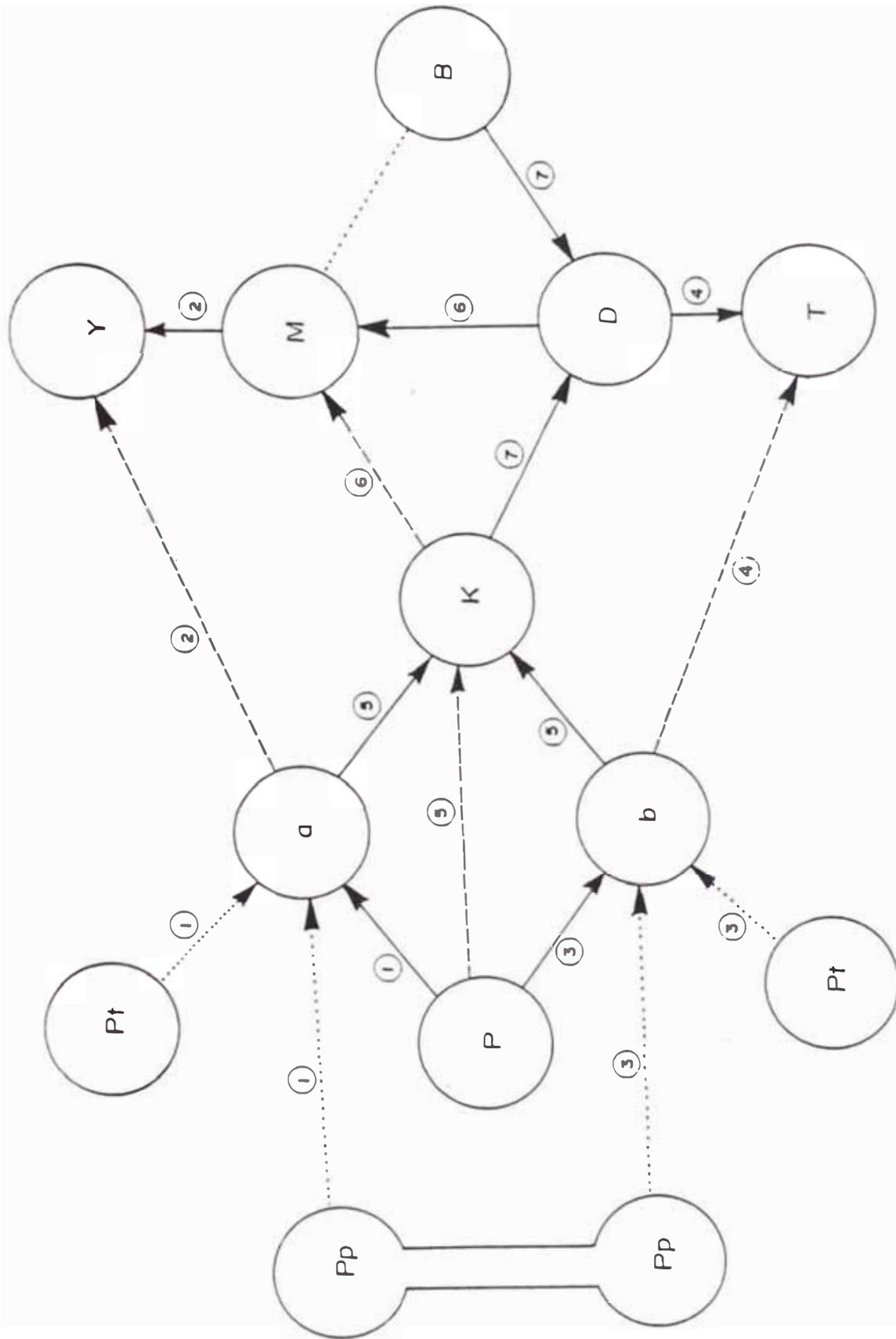


Fig 4.19 SECUENCIA DE CALCULOS EN LA DEDUCCION DE FORMULAS PARA LAS TERRAZAS DE DRENAJES

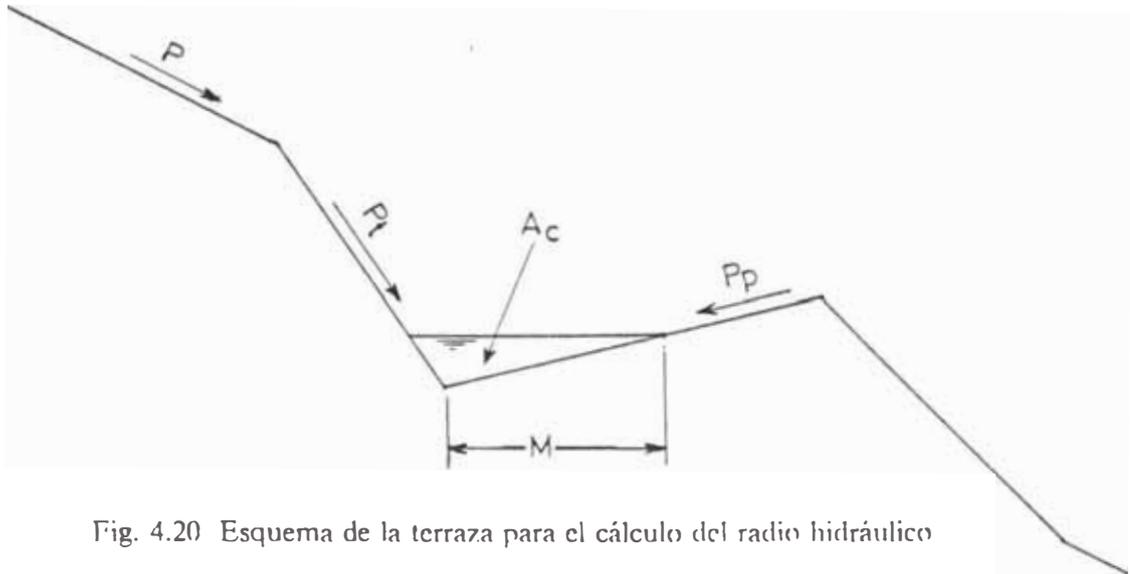
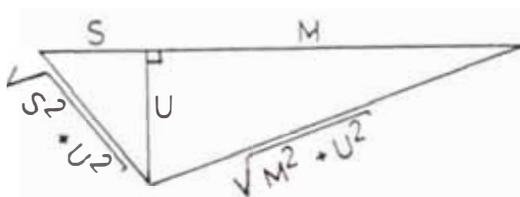


Fig. 4.20 Esquema de la terraza para el cálculo del radio hidráulico

Del gráfico 4.20:



$$P_p = \frac{U}{M} ; \quad P_t = \frac{U}{S}$$

Entonces:

$$U = M P_p$$

$$S = M P_p / P_t$$

Sustituyendo valores tenemos:

$$S + M = \frac{M}{P_t} (P_p + P_t)$$

$$\sqrt{U^2 + M^2} = M \sqrt{1 + P_p^2}$$

$$\sqrt{S^2 + U^2} = \frac{M P_p}{P_t} \sqrt{P_t^2 + 1}$$

Luego

A_c = Area del canal

P_m = Perimetro mojado

R_h = Radio hidráulico

$$A_c = \frac{1}{2} \left(\frac{M}{P_t} (P_p + P_t) (M P_p) \right) = \frac{M^2 P_p}{2 P_t} (P_p + P_t)$$

$$P_m = \frac{M P_p}{P_t} \sqrt{1 + P_t^2} + M \sqrt{1 + P_p^2}$$

Simplificando " P_m "

$$P_m = \frac{M}{P_t} (P_p \sqrt{1 + P_t^2} + P_t \sqrt{1 + P_p^2})$$

Entonces:

$$R_h = \frac{M P_p (P_t + P_p)}{2 (P_p \sqrt{1 + P_p^2} + P_t \sqrt{1 + P_p^2})} \dots (8)$$

Tabla 4.1. Parámetros de la terraza: B = 2 mts.; Pp = 0.15; Pt = 2, suelo aluvial; Pr = 0.67, suelo aluvial.

P (m/m.)	M (m.)	D (m.)	Y (m.)	T (m.)	Y/Pt (m.)	T/Pr (m.)	Fb (m.)	A (m.)	H (m.)	Ca ₂ (m ²)	Ac ₂ (m ²)	Pm (m.)	Rh (m.)
0.05	1.03	0.94	0.21	0.20	0.11	0.30	0.16	2.39	0.26	0.12	0.09	1.22	0.07
0.10	1.05	0.93	0.28	0.27	0.14	0.41	0.16	2.52	0.39	0.16	0.09	1.24	0.07
0.15	1.06	0.91	0.35	0.35	0.17	0.53	0.16	2.68	0.54	0.20	0.09	1.25	0.07
0.20	1.08	0.90	0.42	0.45	0.21	0.67	0.16	2.86	0.71	0.24	0.09	1.28	0.07
0.25	1.10	0.87	0.50	0.56	0.25	0.83	0.17	3.06	0.90	0.30	0.10	1.30	0.08
0.30	1.13	0.85	0.60	0.69	0.30	1.04	0.17	3.31	1.12	0.36	0.10	1.33	0.08
0.35	1.15	0.82	0.70	0.86	0.35	1.29	0.17	3.61	1.39	0.43	0.11	1.36	0.08
0.40	1.19	0.79	0.82	1.08	0.41	1.61	0.18	4.00	1.72	0.52	0.11	1.40	0.08
0.45	1.23	0.75	0.95	1.37	0.48	2.04	0.18	4.50	2.14	0.63	0.12	1.45	0.08
0.50	1.28	0.70	1.11	1.79	0.55	2.67	0.19	5.20	2.70	0.76	0.13	1.51	0.09
0.55	1.35	0.63	1.30	2.46	0.65	3.67	0.20	6.30	3.56	0.94	0.15	1.59	0.09
0.60	1.45	0.53	1.56	3.77	0.78	5.63	0.22	8.39	5.11	1.21	0.17	1.71	0.10

Tabla 4.2. Parámetros de la terraza: B = 3 mts.; Pp = 0.15; Pt = 2, suelo aluvial; Pr = 0.67. suelo aluvial.

P (m/m.)	M (m.)	D (m.)	Y (m.)	T (m.)	Y/Pt (m.)	T/Pr (m.)	Fb (m.)	A (m.)	H (m.)	Ca (m ²)	Ac (m ²)	Pm (m.)	Rh (m.)
0.05	1.55	1.42	0.32	0.31	0.16	0.46	0.23	3.58	0.39	0.27	0.19	1.83	0.11
0.10	1.57	1.39	0.41	0.41	0.21	0.61	0.24	3.79	0.59	0.35	0.20	1.85	0.11
0.15	1.60	1.37	0.52	0.53	0.26	0.79	0.24	4.02	0.81	0.44	0.21	1.88	0.11
0.20	1.62	1.34	0.63	0.67	0.32	1.00	0.24	4.28	1.06	0.55	0.21	1.91	0.11
0.25	1.65	1.31	0.76	0.84	0.38	1.25	0.25	4.59	1.35	0.67	0.22	1.95	0.11
0.30	1.69	1.28	0.89	1.04	0.45	1.55	0.25	4.97	1.68	0.81	0.23	1.99	0.12
0.35	1.73	1.23	1.05	1.29	0.52	1.93	0.26	5.42	2.08	0.98	0.24	2.04	0.12
0.40	1.78	1.19	1.22	1.62	0.61	2.41	0.27	5.99	2.58	1.17	0.26	2.10	0.12
0.45	1.84	1.12	1.43	2.05	0.71	3.07	0.28	6.75	3.28	1.41	0.27	2.17	0.13
0.50	1.92	1.05	1.66	2.68	0.83	4.00	0.29	7.80	4.06	1.72	0.30	2.26	0.13
0.55	2.02	0.94	1.95	3.68	0.98	5.50	0.30	9.44	5.34	2.13	0.33	2.39	0.14
0.60	2.18	0.79	2.33	5.66	1.17	8.45	0.33	12.58	7.67	2.73	0.38	2.57	0.15

Tabla 4.3. Parámetros de la terraza: B = 4 mts.; Pp = 0.15; Pt = 2, suelo aluvial; Pr = 0.67, suelo aluvial.

P (m/m.)	M (m.)	D (m.)	Y (m.)	T (m.)	Y/Pt (m.)	T/Pt (m.)	Fb (m.)	A (m.)	H (m.)	Ca (m ²)	Ac (m ²)	Pm (m.)	Rh (m.)
0.05	2.07	1.89	0.42	0.41	0.21	0.61	0.31	4.78	0.52	0.47	0.34	2.44	0.14
0.10	2.10	1.86	0.55	0.55	0.28	0.82	0.31	5.05	0.78	0.62	0.35	2.47	0.14
0.15	2.13	1.83	0.69	0.71	0.35	1.05	0.32	5.36	1.08	0.79	0.37	2.51	0.15
0.20	2.16	1.79	0.84	0.89	0.42	1.33	0.32	5.71	1.41	0.98	0.38	2.55	0.15
0.25	2.21	1.75	1.01	1.12	0.50	1.67	0.33	6.13	1.79	1.20	0.39	2.60	0.15
0.30	2.25	1.70	1.19	1.39	0.60	2.07	0.34	6.62	2.24	1.44	0.41	2.66	0.15
0.35	2.31	1.65	1.40	1.72	0.70	2.57	0.35	7.23	2.78	1.74	0.43	2.72	0.16
0.40	2.38	1.58	1.63	2.16	0.82	3.22	0.36	7.99	3.43	2.09	0.45	2.80	0.16
0.45	2.46	1.50	1.90	2.74	0.95	4.09	0.37	8.99	4.27	2.51	0.49	2.90	0.17
0.50	2.56	1.40	2.22	3.58	1.11	5.34	0.38	10.40	5.41	3.05	0.53	3.02	0.18
0.55	2.70	1.26	2.61	4.91	1.30	7.33	0.40	12.59	7.11	3.78	0.59	3.18	0.18
0.60	2.90	1.05	3.11	7.55	1.56	11.27	0.44	16.78	10.22	4.86	0.68	3.42	0.20

4.4. CANALES COLECTORES

Consiste en construir canales que intercepten las aguas que escurren de las partes altas y conducir las a desagües protegidos. En el borde superior de estos canales es recomendable situar una franja de vegetación en forma de barreras a fin de reducir la entrada de arrastres. La separación vertical entre las mismas depende de la pendiente del terreno, su dimensión en profundidad está en dependencia del régimen de lluvias local y de su espaciamiento; en zonas agrícolas también depende del tipo de cultivo.

La construcción de canales se puede realizar con equipos o con la mano de obra del hombre, de acuerdo a los factores que influyen en el sistema de drenaje. Estos canales dan lugar a la formación de **“Cuencas Elementales”** en áreas inclinadas, así como de la llanura, la idea es crear un equilibrio hidráulico artificial que impida la erosión o causar una avalancha.

La topografía en nuestra serranía es demasiado accidentada y rocosa para permitir el uso de maquinaria, además por su alto costo no conviene a las comunidades. Por lo tanto desde el punto de vista social es deseable dar empleo a los miembros de la comunidad, partiendo del hecho de que en la sierra hay mano de obra abundante y barata.

Las dimensiones de los canales drenadores para que cumplan la función de drenaje y derivación de las aguas pluviales, dependen de las características

topográficas del terreno, es decir estos canales para que cumplan mejor su función deben seguir los mismos parámetros y variables deducidas en las terrazas de drenaje, pero teniéndose que relacionar ahora el tirante "d" con la solución matemática de la sección del canal. Ver fig 4.21.

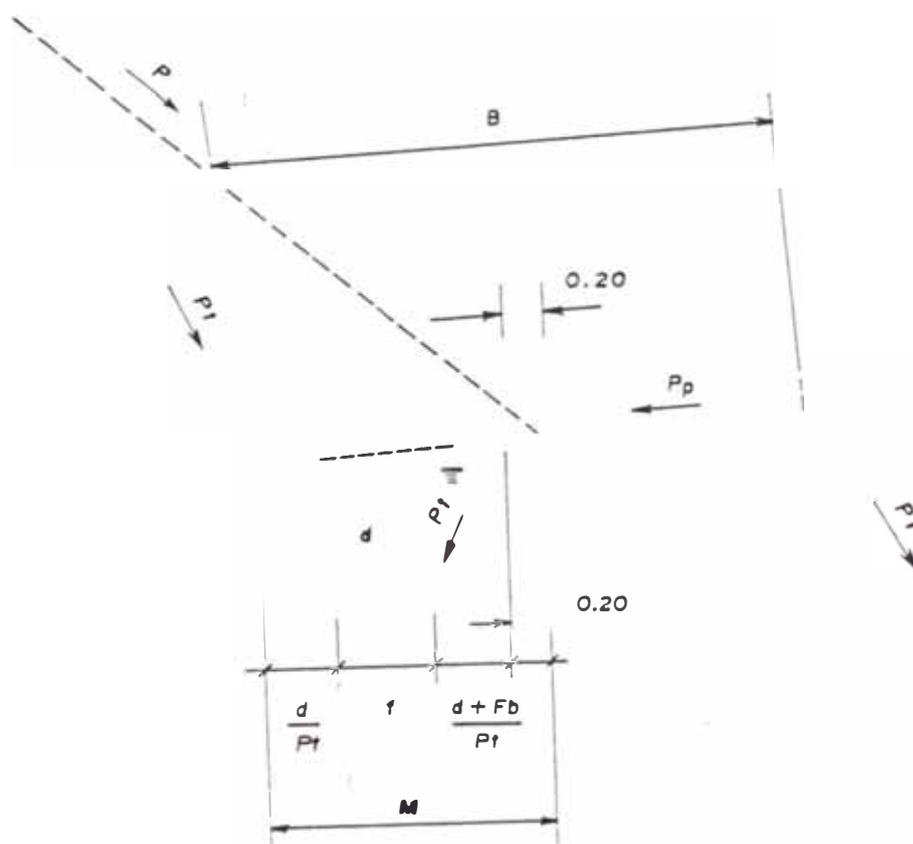


Fig. 4.21 Canal colector de forma trapezoidal

4.4.1. ELEMENTOS Y DEFINICIONES

Ancho de Plataforma (B).- Las características principales del canal drenador de forma trapezoidal, es que en una primera etapa de su construcción viene a constituir una terraza de plataforma constante, contando con los mismos elementos que la definen, es decir los taludes de corte y de relleno (Pt y Pr). La dimensión del ancho de plataforma "B", queda definido de acuerdo a la función que va a desempeñar el canal, es decir si va a actuar como canal drenador o como canal principal colector.

El canal principal o colector es un canal drenador de mayor dimensión, éste canal capta gran cantidad de aguas pluviales debido a la altura de la cuenca elemental que es drenada porque actúa como canal perimetral o debido a que se encuentra en la parte baja de la cuenca y actúa como canal colector general. En tal sentido el ancho de plataforma "B" generalmente para canales drenadores varía de 1 a 2 mts.; y para canales colectores o perimetrales entre 4 a 6 mts.

Inclinación de la Plataforma (Pp).- Esta inclinación permite la mejor captación de las lluvias del material de relleno hacia el canal propiamente dicho. Para laderas empinadas esta inclinación ya no es tan elevada como en el caso de las terrazas en donde esta pendiente Pp hacia funcionar como canal a la terraza.

Talud del relleno (Pr).- Este talud está conformado generalmente por el material removido de corte, pero en laderas de fuerte pendiente es recomendable que este

talud sea constituido por materiales rocosos para tener mejor estabilidad del relleno.

Altura libre (Fb).- La altura libre de un canal es la distancia vertical desde la parte superior del canal a la superficie del agua en la condición de diseño. Esta distancia vertical es igual al Fb determinado para las terrazas, la cual debe ser lo suficiente para prevenir las fluctuaciones del agua y no desborden por los lados.

Tirante de agua (d).- Altura de agua que discurre en el canal debido a las precipitaciones pluviales correspondientes a la cuenca o área elemental.

Máxima eficiencia hidráulica.- Es conocido que el caudal de transporte de un canal aumenta con el aumento del radio hidráulico, entonces, la sección del canal que tenga menor perímetro mojado para una área dada tendrá el máximo transporte de caudal; tal sección es conocida como la sección de máxima eficiencia hidráulica. En general, una sección del canal debiera ser diseñada para la mejor eficiencia hidráulica.

A continuación se incluyen las relaciones $x = f/d$, de máxima eficiencia hidráulica para estos canales en el siguiente cuadro.

Taludes (Pt)	0	4	2	1	2/3	1/2	1/3
Relación $x = f/d$	2.0	1.56	1.24	0.83	0.65	0.47	0.32

4.4.2. TIPOS DE CANALES

Estos canales pueden cumplir las siguientes funciones:

a) CANAL DE DERIVACION .- Esta práctica se hace con la finalidad de disminuir el efecto de la erosión en quebradas y cárcavas en las que es posible su total control. Estos canales conducen el excedente del agua a las quebradas más estabilizadas o a los pequeños riachuelos, o de lo contrario a un canal colector general ubicado en la parte más baja de todos ellos; Así se puede impedir las inundaciones y huaycos que se producen en las ciudades y pueblos de la sierra.

b) CANAL DE INFILTRACION.- Son canales de sección retángular o trapezoidal y generalmente asimétricos, que se construyen transversalmente a la máxima pendiente del terreno y siguiendo las curvas de nivel separadas una de otra en función del grado de infiltración de agua en el suelo, y de la pendiente. Estos canales se hacen no sólo en las laderas, sino que atraviesan las pequeñas cárcavas y quebradas, interceptando la escorrentía del agua desde de sus inicios. Se pueden hacer en las áreas donde es posible posteriormente hacer andenes o terrazas agrícolas.

Estas prácticas con canales complementan el control de la erosión y se emplean en terrenos con pendientes pronunciadas donde el objetivo es captar e infiltrar el agua de la lluvia uniforme y a la vez controlar la erosión. Ello es igualmente

válido para zonas áridas y semiáridas donde el agua es el factor determinante en el prendimiento de ciertos tipos de plantación.

4.4.3. DEDUCCION DE FORMULAS PARA EL CANAL

$F_b = M P_p$ – Borde libre

$$M = \frac{d}{P_t} + f + \left(\frac{d}{P_t} + \frac{F_b}{P_t} \right) + 0.20 \dots (8)$$

donde: f = fondo del canal
 d = Tirante de agua

luego: Máxima eficiencia Hidráulica = $x = \frac{f}{d}$

Entonces: $f = x d$

En (8) : $M P_t = d + x d P_t + d + M P_p + 0.20 P_t$

$$M (P_t - P_p) = d (2 + x P_t) + 0.20 P_t$$

despejando "d"

$$d = \frac{M (P_t - P_p) - 0.20 P_t}{2 + x P_t}$$

Luego para la subcuenca el Pedregal de Chosica tenemos
 que: $P_t = 2$ (Suelo aluvional)
 $x = 1.24$

Entonces:
$$d = \frac{M (2 - P_p) - 0.40}{4.48} \dots(9)$$

Como se puede observar la fórmula (9), da la solución del diseño del canal colector, teniéndose los cálculos para diferentes anchos de plataforma en las tablas 4.4, 4.5 y 4.6 respectivamente a manera de ejemplo. Asimismo presentamos los cálculos para los canales perimetrales en las tablas 4.7, 4.8 y 4.9

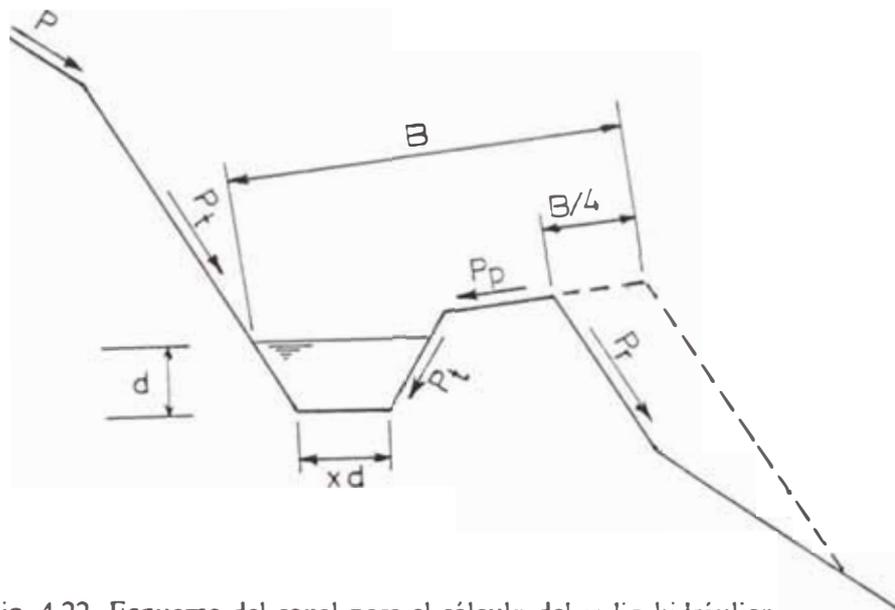
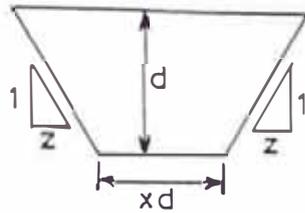


Fig. 4.22 Esquema del canal para el cálculo del radio hidráulico



$z =$ talud del canal

$x =$ relación base de fondo - altura

$$P_t = 1/z$$

El área mojada será igual a:

$$A = x d^2 + \frac{d^2}{P_t} = d^2 \left(x + \frac{1}{P_t} \right)$$

El perímetro mojado será:

$$P_m = d \left(x + 2 \sqrt{1 + \frac{1}{P_t^2}} \right)$$

El radio hidráulico será:

$$R_h = \frac{A}{P} = \frac{d \left(x + \frac{1}{P_t} \right)}{x + 2 \sqrt{1 + \frac{1}{P_t^2}}}$$

Reemplazando el valor de "d" obtenido anteriormente tenemos:

$$R_h = \frac{M(P_t - P_p) - 0.20 P_t}{2 + x P_t} \left[\frac{x + 1/P_t}{x + 2 \sqrt{1 + 1/(P_t)^2}} \right] \dots (10)$$

Tabla 4.4. Parámetros del canal de drenaje: B = 1 mts.; Pp = 0.10; Pt = 2, suelo aluvial; Pr = 1, suelo aluvial; x = 1.24

P (m/m)	M (m.)	D (m.)	Y (m.)	T (m.)	Y/Pt (m.)	T/Pr (m.)	Fb (m.)	A (m.)	H (m.)	Ca m ²	d (m.)	f (m.)	Ac m ²	Pm (m.)	Rh (m.)
0.40	0.54	0.46	0.34	0.38	0.17	0.38	0.05	1.54	0.66	0.10	0.14	0.17	0.03	0.48	0.07
0.45	0.55	0.45	0.39	0.45	0.19	0.45	0.05	1.64	0.78	0.11	0.14	0.18	0.04	0.49	0.07
0.50	0.55	0.44	0.44	0.53	0.22	0.53	0.06	1.75	0.92	0.13	0.15	0.18	0.04	0.51	0.07
0.55	0.56	0.43	0.50	0.63	0.25	0.63	0.06	1.87	1.07	0.15	0.15	0.18	0.04	0.52	0.07
0.60	0.57	0.42	0.57	0.74	0.29	0.74	0.06	2.02	1.25	0.17	0.15	0.19	0.04	0.53	0.08
0.65	0.58	0.41	0.65	0.88	0.32	0.88	0.06	2.20	1.47	0.20	0.16	0.20	0.04	0.55	0.08
0.70	0.60	0.40	0.74	1.06	0.37	1.06	0.06	2.42	1.73	0.23	0.16	0.20	0.05	0.57	0.08
0.75	0.62	0.38	0.84	1.29	0.42	1.29	0.06	2.71	2.07	0.27	0.17	0.21	0.05	0.60	0.09
0.80	0.64	0.36	0.95	1.61	0.48	1.61	0.06	3.09	2.51	0.32	0.18	0.22	0.06	0.63	0.09
0.85	0.66	0.33	1.10	2.10	0.55	2.10	0.07	3.64	3.13	0.38	0.19	0.24	0.06	0.67	0.10
0.90	0.70	0.29	1.28	2.93	0.64	2.93	0.07	4.56	4.13	0.47	0.21	0.26	0.08	0.73	0.10
0.95	0.76	0.23	1.53	4.84	0.76	4.84	0.08	6.60	6.60	0.61	0.23	0.29	0.10	0.82	0.12
0.99	87	0.12	1.89	13.11	0.94	13.11	0.09	15.05	15.05	0.87	0.28	0.35	0.14	0.98	0.14

Tabla 4.5. Parámetros del canal de drenaje: B = 1.5 mts.; Pp = 0.10; Pt = 2, suelo aluvial; Pr = 1, suelo aluvial; x = 1.24

P (m/m)	M (m.)	D (m.)	Y (m.)	T (m.)	Y/Pt (m.)	T/Pr (m.)	Fb (m.)	A (m.)	H (m.)	Ca ₂ m ²	d (m.)	f (m.)	Ac m ²	Pm (m.)	Rh (m.)
0.40	0.81	0.68	0.51	0.57	0.25	0.57	0.08	2.32	0.99	0.21	0.25	0.31	0.11	0.88	0.13
0.45	0.82	0.67	0.58	0.67	0.29	0.67	0.08	2.46	1.17	0.25	0.26	0.32	0.12	0.90	0.13
0.50	0.83	0.66	0.66	0.79	0.33	0.79	0.08	2.62	1.38	0.29	0.26	0.33	0.12	0.91	0.13
0.55	0.84	0.65	0.76	0.94	0.38	0.94	0.08	2.81	1.61	0.33	0.27	0.33	0.13	0.93	0.13
0.60	0.86	0.63	0.86	1.11	0.43	1.11	0.09	3.03	1.88	0.39	0.27	0.34	0.13	0.96	0.14
0.65	0.88	0.62	0.97	1.32	0.49	1.32	0.09	3.30	2.21	0.45	0.28	0.35	0.14	0.98	0.14
0.70	0.90	0.60	1.10	1.59	0.55	1.59	0.09	3.63	2.60	0.52	0.29	0.36	0.15	1.01	0.15
0.75	0.92	0.57	1.25	1.94	0.63	1.94	0.09	4.06	3.10	0.61	0.30	0.37	0.16	1.05	0.15
0.80	0.95	0.54	1.43	2.42	0.72	2.42	0.10	4.63	3.76	0.72	0.32	0.39	0.17	1.10	0.16
0.85	1.00	0.50	1.65	3.15	0.82	3.15	0.10	5.46	4.69	0.86	0.33	0.41	0.19	1.16	0.17
0.90	1.05	0.44	1.92	4.39	0.96	4.39	0.11	6.84	6.20	1.06	0.36	0.44	0.22	1.24	0.18
0.95	1.15	0.35	2.29	7.26	1.15	7.26	0.11	9.90	9.44	1.38	0.40	0.49	0.27	1.38	0.20
0.99	1.31	0.18	2.83	19.66	1.42	19.66	0.13	22.57	22.36	1.95	0.47	0.58	0.38	1.62	0.23

Tabla 4.6. Parámetros del canal de drenaje: B = 2 mts.; Pp = 0.10; Pt = 2, suelo aluvial; Pr = 1, suelo aluvial; x = 1.24

P (m/m)	M (m.)	D (m.)	Y (m.)	T (m.)	Y/Pt (m.)	T/Pr (m.)	Fb (m.)	A (m.)	H (m.)	Ca ₃ m ²	d (m.)	f (m.)	A _c m ²	Pm (m.)	Rh (m.)
0.40	1.08	0.91	0.67	0.76	0.34	0.76	0.11	3.09	1.33	0.38	0.37	0.46	0.29	1.28	0.18
0.45	1.09	0.90	0.77	0.90	0.39	0.90	0.11	3.28	1.56	0.44	0.37	0.46	0.24	1.30	0.19
0.50	1.11	0.88	0.89	1.06	0.44	1.06	0.11	3.49	1.83	0.51	0.38	0.47	0.25	1.32	0.19
0.55	1.12	0.87	1.01	1.25	0.50	1.25	0.11	3.74	2.15	0.60	0.39	0.48	0.26	1.35	0.19
0.60	1.14	0.85	1.14	1.48	0.57	1.48	0.11	4.04	2.51	0.69	0.40	0.49	0.27	1.38	0.20
0.65	1.17	0.82	1.30	1.76	0.65	1.76	0.12	4.40	2.94	0.80	0.41	0.50	0.29	1.41	0.20
0.70	1.20	0.79	1.47	2.12	0.74	2.12	0.12	4.84	3.47	0.92	0.42	0.52	0.30	1.45	0.21
0.75	1.23	0.76	1.67	2.58	0.84	2.58	0.12	5.41	4.13	1.08	0.43	0.54	0.33	1.50	0.22
0.80	1.27	0.72	1.91	3.23	0.95	3.23	0.13	6.17	5.01	1.27	0.45	0.56	0.35	1.57	0.23
0.85	1.33	0.66	2.19	4.20	1.10	4.20	0.13	7.28	6.26	1.53	0.47	0.59	0.39	1.65	0.24
0.90	1.40	0.59	2.55	5.85	1.28	5.85	0.14	9.12	8.27	1.88	0.51	0.63	0.45	1.76	0.25
0.95	1.53	0.46	3.06	9.68	1.53	9.68	0.15	13.20	12.59	2.45	0.56	0.69	0.54	1.94	0.28
0.99	1.75	0.24	3.78	26.22	1.89	26.22	0.17	30.10	29.82	3.47	0.65	0.81	0.74	2.27	0.33

Tabla 4.7. Parámetros del canal perimetral: B = 2 mts.; Pp = 0.10; Pt = 4, terreno rocoso; Pr = 1, enrocado; x = 1.56

P (m/m)	M (m.)	D (m.)	Y (m.)	T (m.)	Y/Pt (m.)	T/Pr (m.)	Fb (m.)	A (m.)	H (m.)	Ca ₃ (m ²)	d (m.)	f (m.)	Ac ₂ (m ²)	Pm (m.)	Rh (m.)
0.40	1.11	0.88	0.62	0.73	0.15	0.73	0.11	2.88	1.24	0.35	0.43	0.67	0.33	1.56	0.21
0.45	1.13	0.86	0.70	0.86	0.18	0.86	0.11	3.02	1.45	0.41	0.44	0.68	0.35	1.59	0.22
0.50	1.15	0.84	0.79	1.01	0.20	1.01	0.12	3.19	1.68	0.47	0.45	0.70	0.36	1.62	0.22
0.55	1.17	0.82	0.88	1.18	0.22	1.18	0.12	3.39	1.95	0.53	0.46	0.71	0.38	1.66	0.23
0.60	1.20	0.79	0.99	1.39	0.25	1.39	0.12	3.62	2.25	0.60	0.47	0.73	0.40	1.70	0.23
0.65	1.23	0.76	1.10	1.64	0.27	1.64	0.12	3.90	2.61	0.69	0.48	0.75	0.42	1.75	0.24
0.70	1.26	0.73	1.22	1.95	0.30	1.95	0.13	4.25	3.05	0.79	0.50	0.78	0.45	1.80	0.25
0.75	1.30	0.69	1.36	2.36	0.34	2.36	0.13	4.69	3.59	0.90	0.52	0.81	0.48	1.87	0.26
0.80	1.34	0.65	1.51	2.92	0.38	2.92	0.13	5.28	4.29	1.04	0.54	0.84	0.52	1.95	0.27
0.85	1.40	0.59	1.69	3.74	0.42	3.74	0.14	6.15	5.29	1.21	0.57	0.88	0.58	2.05	0.28
0.90	1.48	0.51	1.91	5.12	0.48	5.12	0.15	7.59	6.88	1.44	0.60	0.94	0.66	2.18	0.30
0.95	1.60	0.39	2.20	8.28	0.55	8.28	0.16	10.82	10.32	1.80	0.66	1.03	0.78	2.38	0.33
0.99	1.79	0.20	2.59	21.72	0.65	21.72	0.18	24.36	24.14	2.38	0.75	1.17	1.02	2.72	0.38

Tabla 4.8. Parámetros del canal perimetral: B = 2.5 mts.; Pp = 0.10; Pt = 4, terreno rocoso; Pr = 1, enrocado; x = 1.56

P (m/m)	M (m.)	D (m.)	Y (m.)	T (m.)	Y/Pt (m.)	T/Pr (m.)	Fb (m.)	A (m.)	H (m.)	Ca m ²	d (m.)	f (m.)	Ac m ²	Pm (m.)	Rh (m.)
0.40	1.39	1.10	0.77	0.91	0.19	0.91	0.14	3.59	1.55	0.55	0.56	0.88	0.57	2.03	0.28
0.45	1.41	1.07	0.88	1.07	0.22	1.07	0.14	3.78	1.81	0.63	0.57	0.89	0.59	2.07	0.29
0.50	1.44	1.05	0.99	1.26	0.25	1.26	0.14	3.99	2.10	0.73	0.58	0.91	0.62	2.11	0.29
0.55	1.47	1.02	1.10	1.48	0.28	1.48	0.15	4.24	2.43	0.83	0.60	0.93	0.64	2.16	0.30
0.60	1.50	0.99	1.23	1.73	0.31	1.73	0.15	4.53	2.82	0.95	0.61	0.95	0.68	2.21	0.31
0.65	1.53	0.96	1.37	2.05	0.34	2.05	0.15	4.88	3.27	1.08	0.63	0.98	0.71	2.27	0.31
0.70	1.57	0.92	1.52	2.44	0.38	2.44	0.16	5.31	3.81	1.23	0.65	1.01	0.76	2.34	0.32
0.75	1.62	0.87	1.69	2.95	0.42	2.95	0.16	5.86	4.48	1.41	0.67	1.04	0.81	2.43	0.33
0.80	1.68	0.81	1.89	3.64	0.47	3.64	0.17	6.60	5.36	1.62	0.70	1.09	0.88	2.52	0.35
0.85	1.75	0.74	2.11	4.67	0.53	4.67	0.18	7.69	6.61	1.89	0.73	1.14	0.97	2.65	0.37
0.90	1.85	0.64	2.38	6.40	0.60	6.40	0.18	9.49	8.60	2.26	0.78	1.21	1.09	2.81	0.39
0.95	1.99	0.49	2.75	10.35	0.69	10.35	0.20	13.53	12.90	2.81	0.85	1.32	1.30	3.07	0.42
0.99	2.24	0.25	3.24	27.15	0.81	27.15	0.22	30.45	30.17	3.72	0.96	1.50	1.68	3.49	0.48

Tabla 4.9. Parámetros del canal perimetral: B = 3 mts.; Pp = 0.10; Pt = 4, terreno rocoso; Pr = 1, enrocado; x = 1.56

P (m/m)	M (m.)	D (m.)	Y (m.)	T (m.)	Y/Pt (m.)	T/Pr (m.)	Fb (m.)	A (m.)	H (m.)	Ca ₂ (m ²)	d (m.)	f (m.)	Ac (m ²)	Pm (m.)	Rh (m.)
0.40	1.67	1.32	0.93	1.10	0.23	1.10	0.17	4.31	1.86	0.79	0.69	1.08	0.87	2.51	0.35
0.45	1.70	1.29	1.05	1.29	0.26	1.29	0.17	4.54	2.17	0.91	0.71	1.10	0.90	2.56	0.35
0.50	1.73	1.26	1.18	1.51	0.30	1.51	0.17	4.79	2.52	1.05	0.72	1.12	0.94	2.61	0.36
0.55	1.76	1.23	1.33	1.77	0.33	1.77	0.18	5.09	2.92	1.19	0.74	1.15	0.98	2.66	0.37
0.60	1.80	1.19	1.48	2.08	0.37	2.08	0.18	5.44	3.38	1.36	0.75	1.17	1.03	2.73	0.38
0.65	1.84	1.15	1.65	2.46	0.41	2.46	0.18	5.85	3.92	1.55	0.77	1.21	1.08	2.80	0.39
0.70	1.89	1.10	1.83	2.93	0.46	2.93	0.19	6.37	4.57	1.77	0.80	1.24	1.15	2.88	0.40
0.75	1.94	1.04	2.03	3.54	0.51	3.54	0.19	7.03	5.38	2.03	0.82	1.28	1.23	2.98	0.41
0.80	2.01	0.97	2.27	4.37	0.57	4.37	0.20	7.92	6.44	2.34	0.86	1.34	1.33	3.10	0.43
0.85	2.10	0.88	2.53	5.60	0.63	5.60	0.21	9.22	7.93	2.73	0.90	1.40	1.46	3.25	0.45
0.90	2.22	0.77	2.86	7.69	0.72	7.69	0.22	11.39	10.32	3.25	0.95	1.49	1.64	3.45	0.48
0.95	2.39	0.59	3.30	12.42	0.82	12.42	0.24	16.23	15.48	4.04	1.04	1.62	1.94	3.75	0.52
0.99	2.69	0.30	3.89	32.58	0.97	32.58	0.27	36.54	36.20	5.36	1.17	1.83	2.50	4.25	0.59

4.5. ESPACIAMIENTO DE DRENES

El proyecto de la solución técnica exige la construcción de drenes consecutivos en fajas que alternan con otras. Las fajas se establecen en sentido transversal a la pendiente: siguen el recorrido aproximado de las curvas de nivel y sus límites superior e inferior son dos canales o terrazas maestras, de modo que la altura de la faja determina el espaciamiento vertical (E_v), entre las mismas.

La determinación de la altura límite de la faja está condicionada hidráulicamente de forma tal que la terraza inferior sea capaz de coleccionar y conducir convenientemente hasta los desagües el exceso de las precipitaciones que escurren en la faja. La cuenca elemental queda delimitada por el área comprendida entre los bordes exteriores de los drenes superior e inferior, los partidores puntos altos de las mismas y la cañada de drenaje correspondiente (fig. 4.23).

En las áreas desprovistas de vegetación el espaciamiento de los drenes maestros se determina con criterios prácticos para cumplir la función asignada, que es aproximadamente entre 40 a 50 m. Esto se debe tal como se explico anteriormente, por las funciones asignadas de correctores hidráulicos y de guías en la ejecución de los drenes intermedios.

Para seleccionar el espaciamiento entre drenes, debe hacerse un estudio previo de las pendientes de la zona. Si se escoge la máxima pendiente, las posibilidades de ejecución de los drenes que atraviesan el sistema completo no tiene limitaciones

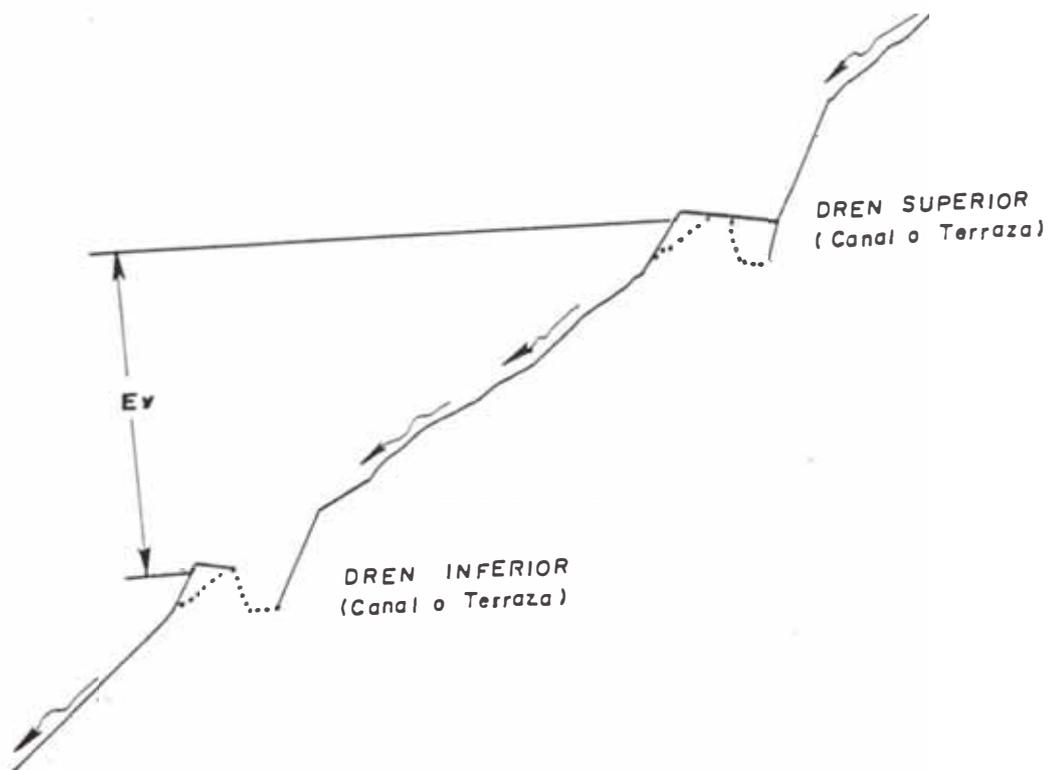
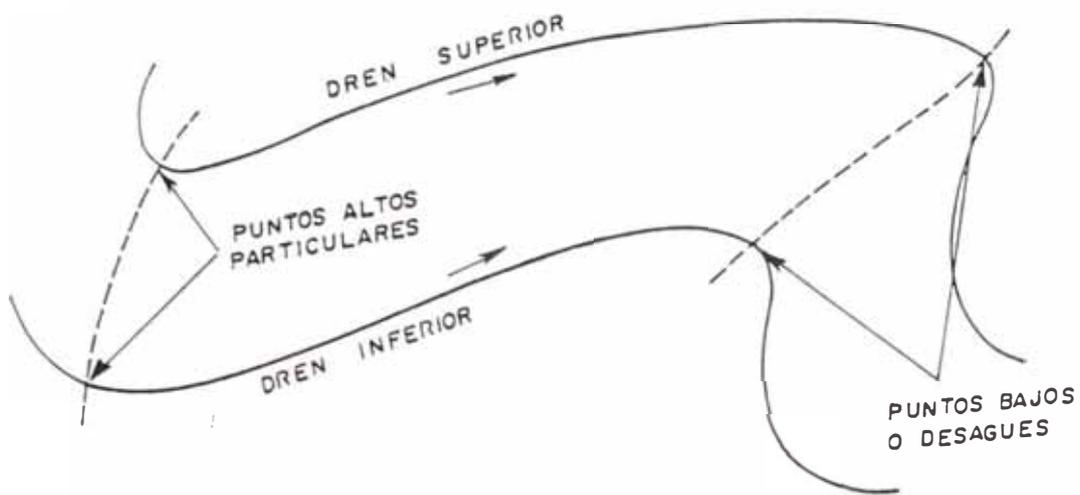


Fig. 4 23 CUENCA ELEMENTAL DEL DISEÑO DE LA FAJA

desde el punto de vista geométrico, pero habría que intercalar un número muy grande de drenes entre ellas, que presentan problemas de acceso en muchas áreas.

Si el intervalo se determina utilizando la pendiente promedio habrá limitaciones de construcción para los drenes que atraviesan para todos los puntos donde sea superada esta pendiente. Debe decidirse, entonces, el intervalo entre los drenes de acuerdo con una pendiente superior al promedio por su abundancia, quedando solo excepcional posibilidad de atravesar con los drenes, puntos de pendientes superiores a esta, en cuyos casos se darían soluciones especiales.

4.6. APLICACIONES SEGUN LA ZONA

La mejor forma de evitar el problema de la erosión, los huaycos y las inundaciones es que en el país se desarrolle una política de manejo de cuencas y subcuencas.

Hay que confesar que hasta ahora, la única fórmula que se ha seguido para contrarrestar los huaycos e inundaciones ha sido la de impedir sus efectos mediante presas y muros de contención, es decir cuando el agua ya es un peligro y una amenaza; pero no se ha pensado en la parte hidráulica para controlar las precipitaciones pluviales, cuando son fácilmente controlables por la mano del hombre, antes de que constituyan un serio peligro capaz de causar daños irreparables.

Las soluciones anteriores propuestas por los investigadores son lógicas por que atacan el mal, pero sin ver la causa, **“Curan la causa más no la causa del dolor”**. El agua que se produce en la cuenca, en forma de precipitación, escorrentía y subterránea es el poderoso agente dinámico y tenaz, que ocasiona todos los problemas geodinámicos dando lugar a los desastres naturales que en último término habría que eliminar o por lo menos reducir tanto como sea posible. Es en la cuenca, es decir en las partes altas de las montañas donde ineludiblemente se originan estos procesos hidrogeológicos, a partir de la precipitación variable en su intensidad y es allí donde proponemos que se deben establecer los controles mediante un adecuado **sistema de drenaje pluvial**, llamado corrección del drenaje de la escorrentía superficial.

Como conclusión general, deducidas las consideraciones anteriores, se llega a que existen soluciones reales, efectivas y económicas para los problemas de esta índole. Ante esta situación se presenta en esta tesis los estudios y la posibilidad de construir un sistema de drenaje que permitan evacuar las aguas pluviales de estas zonas.

Los sistemas de drenaje serían horizontales y verticales, constituidos por andenes, terrazas de drenaje, terrazas de absorción, canales colectores, zanjas de infiltración y control de cárcavas; los cuales serían aplicados de acuerdo a una zonificación de la cuenca (árida, semiárida y húmeda) cuyos parámetros principales son las precipitaciones pluviales, la altitud y la vegetación existente.

Los conceptos de cuenca HUMEDA y cuenca ARIDA son claros y definidos y sus características también.

El ingeniero peruano Carlos W. Sutton estableció tentativamente que, en cuencas peruanas, se podría admitir que lluvias hasta 250 mm/año, es decir, unos 250,000 m³ de agua por Km², de cuenca satisfacen cuando más a todos los usuarios y no se produce escorrentía. Lluvias mayores de 250 mm/año producen escorrentía y los caudales generados serán tanto más grandes cuanto más supere la precipitación esa intensidad límite. La isoyeta 250, por consiguiente, separa aquella área de cuenca llamada "árida" porque no produce escorrentía de la "húmeda".

CUENCA HUMEDA.- Recibe agua suficiente para cubrir las demandas de los usuarios y por consiguiente mantiene una vegetación permanente, las condiciones para la erosión son mínimas o nulas y los problemas derivados de la dinámica de las aguas superficiales y/o subterráneas son previsibles y, hasta cierto punto manejables.

CUENCA ARIDA.- Es en teoría aquella que no recibe lluvia, sin embargo se considera hasta unos pocos milímetros de precipitación anual no le quita su carácter de tal. La vegetación varía entre nula a escasa, por lo que la cuenca en general, ofrece muy poca defensa contra la erosión pues los suelos son fáciles de remover y también los subsuelos.

CUENCA SEMI-ARIDA.- Esta zona no esta muy bien definida por que desde que la isoyeta 250 mm/año no permanece inmóvil a lo largo de los años sino que, por ser un proceso definitivamente dinámico cambia constantemente de ubicación según el tipo de año hidrológico, donde alternativamente, se presentan condiciones de aridez o de humedad (en el sentido de la isoyeta superior a 250 mm/año).

4.6.1. ZONIFICACION CLIMATOLOGICA DE LA CUENCA DEL RIMAC

Las cuencas peruanas de la vertiente del Pacífico presentan, normalmente, los tres tipos de cuenca, húmeda, árida y semi-árida. Mientras no reciban la influencia del fenómeno del Niño el complejo hidrogeológico funciona dentro de los límites "normales".

Consecuentemente con la variable disposición de las lluvias en una cuenca, en función del año hidrológico, se acusa la presencia de áreas variables y de límites poco precisos correspondientes a cada tipo de cuenca: húmeda, semi-árida y árida. Como ejemplo se incluye un plano esquemático de la zonificación climatológica de la cuenca del río Rímac donde han ocurrido en los últimos años huaycos e inundaciones cuyas secuelas originaron daños a ciudades y vías de comunicación. Dicha zonificación es el resultado de la superposición de los mapas de vegetación general de la cuenca con el mapa de isoyetas mínimas, por ser estos los principales agentes determinantes del estudio (fig. 4.24).

CUENCA ARIDA: Comprendida desde el nivel del mar hasta aproximadamente los 3,000 m.s.n.m. incluye a las formaciones: Matorral Desértico-Montano Bajo Tropical, Matorral-Desértico Premontano Tropical, y Estepa Espinosa-Montano Bajo Tropical. Esta zona se caracteriza debido al déficit hídrico, ya que la precipitación media anual es inferior a 250 mm. y la temperatura promedio anual varía de 12 a 18°C.

CUENCA SEMI-ARIDA: Desde los 2,500 hasta los 3,800 m.s.n.m. aproximadamente, incluye a las zonas de vida: Matorral Desértico-Montano Tropical, Estepa-Montano Tropical y al Bosque Húmedo-Montano Tropical. En esta zona la lluvia provee naturalmente de agua a los cultivos durante unos tres o cuatro meses al año, entre diciembre y marzo. La precipitación media anual varía entre 200 y 700 mm., mientras que la temperatura media anual, en sus niveles máximos y mínimo varía de 7 a 14°C.

CUENCA HUMEDA: Comprende desde los 4,000 a los 5,000 m.s.n.m. aproximadamente, incluye las formaciones Páramo Húmedo-Sub Alpino Tropical. En esta zona el factor limitante no es el agua, ya que la precipitación oscila entre 700 y 1,000 mm. total/año, sino la altitud, que restringe el establecimiento de la mayoría de cultivos y áreas de vegetación.

De acuerdo con la zonificación climatológica deducida para la cuenca del río Rímac se propone las siguientes **medidas estructurales a utilizarse para la prevención de huaycos** en dicha cuenca.

PROPUESTA PARA ZONAS ARIDAS:

1. - Sistema de drenaje pluvial:
 - a. Canales de acopio y de derivación en las laderas de los cerros.
 - b. Terrazas de drenaje en el llano aluvial.
2. - Diques para el control de cárcavas en las partes altas.
3. - Sistemas de uso de agua de escorrentía de cárcavas.
4. - Forestación de las laderas.

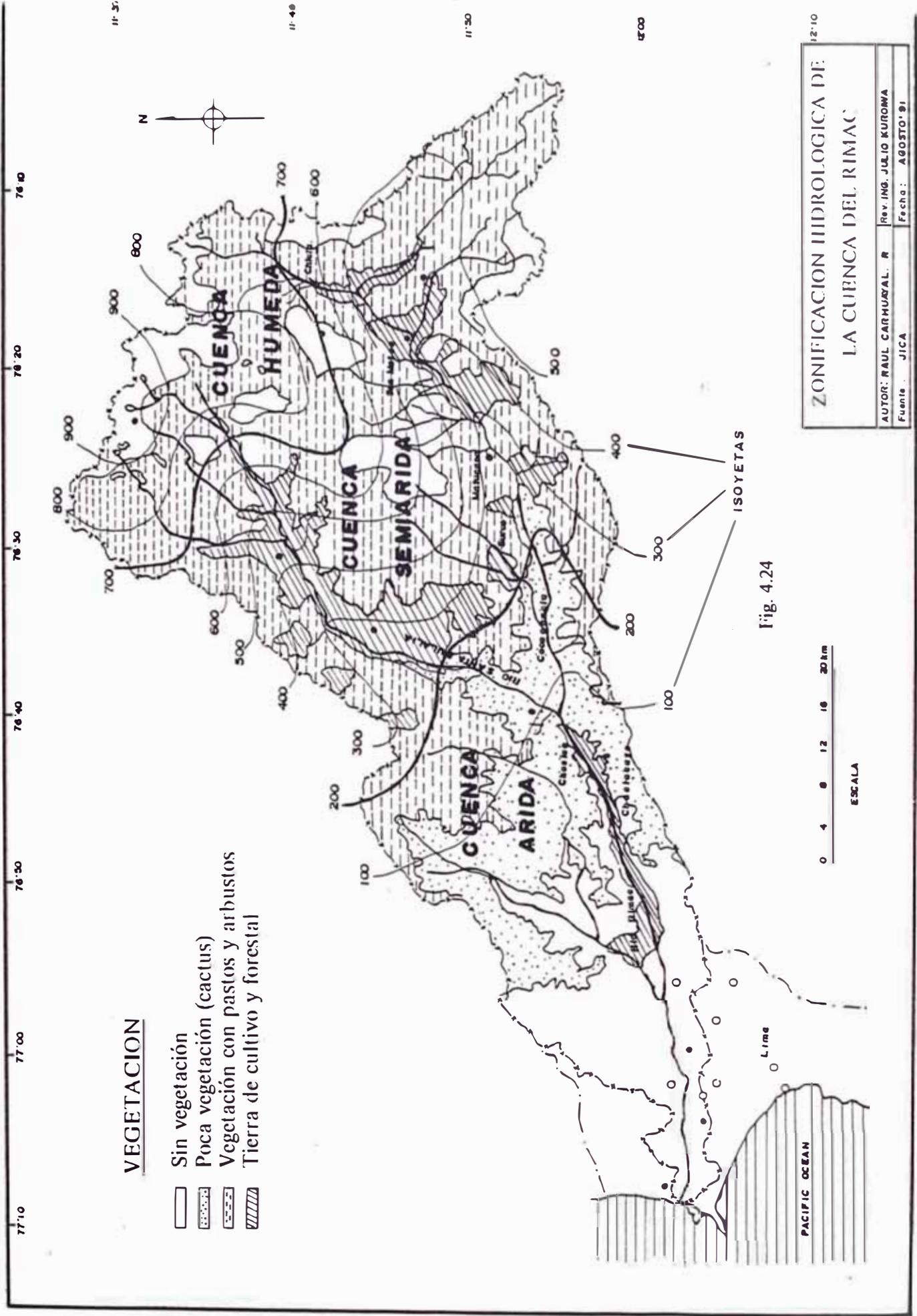
PROPUESTA PARA ZONAS SEMI-ARIDAS

1. - Sistema de drenaje pluvial:
 - a. Canales de infiltración en las laderas de los cerros
 - b. Terrazas de infiltración en el llano de la cuenca
 - c. Rehabilitación y construcción de andenes
2. - Diques para el control de cárcavas
3. - Reforestación o regeneración de pastos en zonas sobrepastoreadas

PROPUESTA PARA ZONAS HUMEDAS

1. - Andenes o terrazas agrícolas
2. - Muros de contención y diques para el control de cárcavas

El análisis en la solución técnica, del sistema del drenaje pluvial a utilizarse para evitar los huaycos guardando concordancia con la zonificación climatológica de la cuenca, y unido a la búsqueda de un método constructivo rápido y fácil, permitirá adoptar la decisión de construir canales o terrazas, cuyos anchos dependen de la pendiente del terreno. Esta característica los define de un modo general como **"DRENES"**.



ZONIFICACION HIDROLOGICA DE LA CUENCA DEL RIMAC	
AUTOR: RAUL CARHUAYAL, R	Rev. ING. JULIO KUROMA
Fuente: JICA	Fecha: AGOSTO '91

CAPITULO V: ZONA DE ESTUDIO

5.1. CIUDAD DE CHOSICA

5.1.1. UBICACION

Chosica es la Capital del distrito de Lurigancho, y está ubicada a 38 Km. de la Ciudad de Lima, perteneciendo a la provincia de Lima y Departamento de Lima (fig 5.1).

Geograficamente se encuentra en las siguientes coordenadas 11°53' latitud Sur y 76°40' longitud Oeste. Altimetricamente se ubica entre los 800 a 900 m.s.n.m., localizándose la ciudad en ambas márgenes del río Rímac.

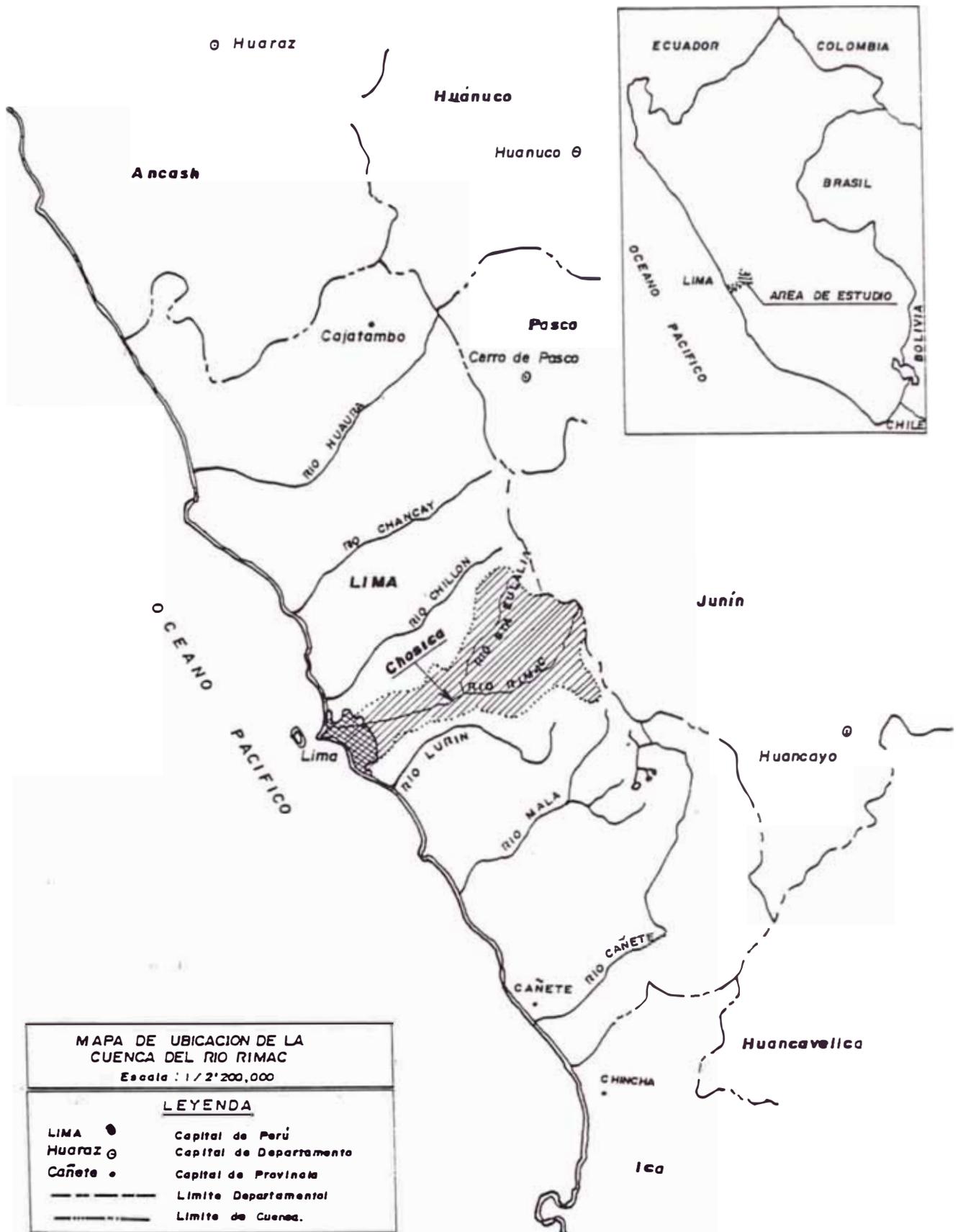
Limites:

NORTE: CHALLA

SUR : LIMA Y ATE-VITARTE

ESTE : RICARDO PALMA

OESTE: SAN JUAN DE LURIGANCHO



MAPA DE UBICACION DE LA CUENCA DEL RIO RIMAC
Escala : 1 / 2' 200,000

LEYENDA	
LIMA ●	Capital de Perú
Huacaz ○	Capital de Departamento
Cañete •	Capital de Provincia
-----	Limite Departamental
-----	Limite de Cuenca.

Fuente: Martínez V.

Fig. 3.1

En cuanto a la vegetación, está es muy escasa por las condiciones climáticas adversas y falta de suelos en los cerros y sus laderas (montañas áridas: 1,000 a 2,000 m.s.n.m.). Existe poca vegetación sólo cerca de los canales de agua que pasan por las laderas, quebradas y riberas del río y en terrazas fluvio-aluvionales donde se hallan zonas de cultivo, centros de esparcimiento, urbanizaciones, etc.

5.1.4. SUELOS

La ciudad se caracteriza por cortar transversalmente el flanco occidental de la Cordillera de los Andes, dando lugar a que su configuración geográfica actual, este constituida por laderas escarpadas, conos de deyección y desplomes rocosos, estando la ciudad ubicada en su mayor parte sobre terrazas fluviales.

En consecuencia el suelo superficial está constituido por material fluvio-aluviónico, estando su basamento constituido por rocas intrusivas dioritas y tonalitas muy diaclasadas y alteradas (disyucción esferoidal) ; Grupo litológico Vtdi.

El terreno de fundación tiene el siguiente perfil:

- **Aluvial:** cantos (65%), gravas (15%), sub-redondeados a redondeados, en una matriz arena limosa media a fina (20%), poco consolidada; esta secuencia tiene 1.50 m; inferior a ésta se encuentra:

- **Arena sucia fina** (95%), gravilla (5%), sub-redondeada a sub-angulosa, húmeda, medianamente compacta. (1 m. de potencia).

De acuerdo a los valores de la tabla 5.1. se puede estimar que la carga admisible sobre el suelo de Chosica se encuentra entre 2 a 3 kg/cm² . para fines constructivos de edificaciones. La napa freática se encuentra a una profundidad promedio de 8 y 10 m.

Tabla 5.1 Valores permisibles sobre suelos en kg/cm²

Cama de roca sólida cristalina masiva en buenas condiciones	100
Roca foliada (esquistos, pizarras) en buenas condiciones	40
Roca sedimentaria en buenas condiciones	15
Gravas o arenas excepcionalmente compactas	10
Gravas compactas o mezcla de grava y arena	6
Grava suelta; arena gruesa compacta	4
Arena gruesa suelta o mezclas de arena; grava, arena fina compacta o arena gruesa confinada y húmeda	3
Arena fina suelta o húmeda, arena fina confinada	2
Arcilla rígida	4
Arcilla media rígida	2
Arcilla suave	1

5.1.5. POBLACION

Chosica fue fundada el 13 de octubre de 1894 por el doctor Emilio del Solar y Mendiburu, por ese entonces era una población rural, hasta la construcción de la Carretera Central y posteriormente la construcción de la central hidroeléctrica

“Juan Carosio”, las cuales intensificaron la migración provinciana del centro del país hacia Lima, capital del Perú.

Según el censo de 1940, la ciudad de Chosica contaba con 4,160 habitantes y se caracterizaba como una ciudad de reposo y temporada de sol, durante los meses de invierno en Lima. Desde los años 50' se apreció una fuerte migración y dada la cercanía a Lima, Chosica ha crecido descontrolada e irracionalmente, desbordando sus límites urbanos iniciales e invadiendo tierras de cultivo y conos de deyección torrencial existentes en la zona, que permanecían inactivos y desocupados.

Poco a poco familiares de los primeros ocupantes de estas áreas fueron poblando todas las zonas libres con viviendas precarias, trayendo consigo la formación de los pueblos jóvenes, que se aprecian en la actualidad. En los años '70 Chosica se convirtió en una ciudad dormitorio de gente que trabajaba y estudiaba fuera, ya sea en Lima o en otras provincias.

Actualmente la mayor población se desarrolla en la margen derecha del río rímac, habiéndose expandido hacia los cerros y las quebradas debido a lo angosto del valle en esta zona. Los principales centros poblados son los siguientes:

Margen Derecha	Margen Izquierda
San Antonio de Pedregal Alto	San Juan de Bellavista
San Miguel de Pedregal	Virgen del Rosario
Nicolas de Piérola	Mariscal Castilla
Sierra Limeña	Santo Domingo
Buenos Aires	
La Libertad	
Moyopampa	
Don Bosco	
San Jose	

Se ha estimado la proyección urbana de Chosica mediante el método geométrico para poblaciones (fig. 5.2), obteniéndose aproximadamente 87,000 habitantes para el año 1990 y que acrecienta la tendencia de un alto crecimiento del 6% y habiéndose ocupado casi la totalidad del área disponible para la expansión urbana, incluyéndose quebradas de gran dimensión como Quirio y Pedregal.

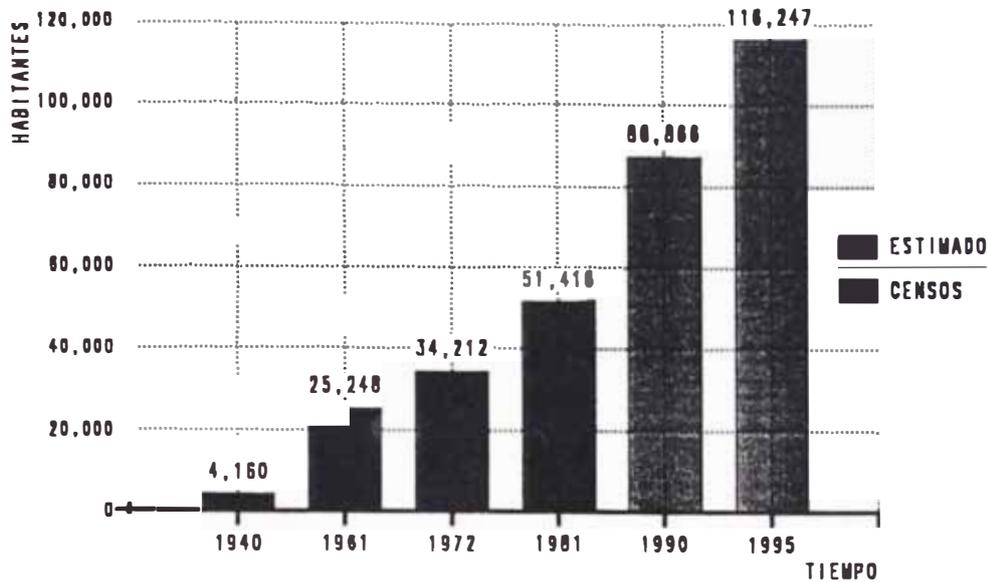
TABLA 5.2 POBLACION URBANA DE CHOSICA

AÑO	POBLACION	TASA	FUENTE
1940	4,160	----	ONEC
1961	25,248	8.97	ONEC
1972	34,212	2.80	INE
1981	51,416	4.63	INE
1990	86,866	6.00	ESTIMADO
1995	116,247	6.00	ESTIMADO

ONEC = Oficina Nacional de Estadística y censos

INE = Instituto Nacional de Estadística

Fig. 5.2 POBLACION URBANA DE CHOSICA



Pero Chosica ya no cuenta con áreas disponibles para su expansión urbana, por lo tanto coincidimos con la propuesta del Ing. O'connor que sugiere planes urbanísticos de edificaciones en sentido vertical o la redistribución de las propiedades, principalmente de los sectores de uso residencial temporal.

5.1.6. SOCIOLOGIA

Desde mediados del presente siglo, la población del país viene soportando una serie de procesos migratorios cuyo foco principal de expulsión es la sierra. Hasta hace 30 años, esta región era todavía la más poblada del país, actualmente lo es la costa.

Por otra parte, la población peruana aumenta. Así entre 1961 y 1990 se ha duplicado (de casi 10 ha pasado a 22 millones de habitantes). Para el año 2,000, se supone que será de unos 30 millones.

Los migrantes, principalmente se instalan en la costa, estableciéndose en las ciudades y particularmente en Lima Metropolitana (actualmente dos terceras partes de la población limeña está constituida por provincianos). Allí encuentran diversas formas de miseria: mendicidad, desempleo o subempleo, delincuencia, falta de vivienda adecuada; están expuestos a problemas de contaminación, insalubridad y desnutrición. No obstante, la migración prosigue en forma cada vez más intensa llegándose a situaciones socio-económicas verdaderamente alarmantes.

Chosica, por su corta cercanía a Lima y debido a que está no podía albergar su propio crecimiento poblacional, lo hacen comparativamente más ventajosa que otra alternativa posible de expansión de Lima. La población que se ubica en Chosica es principalmente la de bajos ingresos, habiéndose ocupado las áreas de mayor peligro ante la ocurrencia de cualquier tipo de fenómenos naturales.

Según el estudio de estratificación socio-económica de la población de Chosica, realizado por el Plan de Desarrollo Metropolitano PLANMET, tenemos que el 72.1%, pertenece a los estratos bajos, mientras que sólo el 3.5% pertenece a los altos y el 24.4% a los estratos medios. Esta predominancia de los estratos más bajos demuestra que la ciudad dejó de tener el carácter de residencia temporal

durante los meses de invierno, para convertirse en una ciudad netamente urbana, directamente ligada a Lima y con vida propia.

Generalmente las poblaciones migrantes son gentes que vienen en busca de trabajo y obtener una vivienda de acuerdo con sus ingresos económicos. Es así como se ven obligados a buscar la alternativa de adquirir terrenos más baratos pero que se encuentran en zonas vulnerables. También existe una vulnerabilidad social y económica determinada por la carencia de recursos económicos.

La siguiente tabla nos muestra los principales asentamientos humanos de Chosica, su fecha de ocupación el número de lotes y/o familias, el estado de sus servicios básicos, su situación legal y su ubicación que nos permite ver su vulnerabilidad.

TABLA 5.3 PRINCIPALES ASENTAMIENTOS HUMANOS DE CHOSICA

Asent. Humanos	fecha de ocupación	lotes o familias	servicios	ubicación
Barrio Rímac	1945	102	Total	Quebrada
Buenos Aires	1945	102	Total	Quebrada
Clorinda Málaga	1936	65	Parcial	Ribera
La Florida	1934	33	Total	Ribera
Libertad	1958	175	Total	Quebrada
Los Jardines	1940	16	---	---
Mcal. Castilla	1953	130	Total	Quebrada
Moyopampa	1948	522	Total	Quebrada
Nicolas de Piérola	1946	475	Total	Quebrada
Oswaldo Burga	1981	70	---	Ribera
1 de Enero	1973	46	Total	---
28 de Julio	1963	80	Parcial	Ribera
San Antonio de Pedregal alto	1960	862	Total	Quebrada
San Juan de Bellavista	1946	134	Casi total	Quebrada
Sto. Domingo	1948	127	Total	Quebrada
Señor de los Milagros	1964	120	Casi total	Quebrada
Sierra Limeña	1956	206	Tota	Quebrada
Asoc. La Cantuta	Antes de 1978	78	Parcial	Quebrada
Villa el Sol	1978	15	---	---
Virgen del Rosario	1949	193	Parcial	Quebrada
San Antonio de Pedregal bajo	1940			Quebrada

FUENTE: Lima en cifras: SERGE ALLOU. CIDAP-IFEA, 1989

5.1.7. DESASTRES NATURALES EN CHOSICA

Durante cada estación de lluvias (diciembre a abril) y en particular cuando éstas son muy intensas, La ciudad de Chosica ha venido soportando huaycos e

inundaciones, muchos de ellos de gran magnitud según sus antecedentes históricos.

Los huaycos son los que han ocasionado el mayor desastre en la zona, siendo los más catastróficos los ocurridos en 1,925 y 1,987, éste último ocasionó la muerte y desaparición de aproximadamente 120 personas, la destrucción total y parcial de 1,220 viviendas y grandes pérdidas materiales.

Historicamente la ocurrencia de los huaycos en Chosica se han presentado desde el siglo pasado en los años 1863, 1891 y 1894. En el presente siglo se produjeron huaycos en los años 1909, 1915, 1925, 1926, 1936, 1939, 1967, 1971, 1972, 1975, 1983, 1987 y 1989.

DESASTRE DEL 9 DE MARZO DE 1987

El lunes 9 por la mañana, el caudal del río Rímac llegó a los 120 m³/seg. lo que presagiaba inminentes desbordes e inundaciones del río, pero remota posibilidad de huaycos, por lo menos en el distrito de Chosica. Al mediodía las calles del pueblo joven San Antonio y San Miguel de Pedregal empezaron a anegarse debido a una lluvia persistente desatada la noche del sábado 7 (2 días antes del desastre).

Las lluvias, según SENAMHI; no fueron lo suficientemente intensas como para que se originaran huaycos, pero estas precipitaciones erosionaron y saturaron el suelo de las quebradas y formaron pequeños riachuelos que uniéndose

con otros más caudalosos descendieron aumentando su velocidad, y acarreando un volumen de lodo y rocas. Faltando 15 minutos para las 4 p.m. los vecinos de San Antonio y de San Miguel del pedregal, salieron de sus viviendas, sacudidos por el estrepitoso ruido proveniente de las alturas de las quebradas, algunos vecinos que ya habían divisado aquella avalancha buscaron refugio en sus azoteas o corrieron fuera del lugar para no ser arrastrados por el huayco.

Los ruidos producidos por los huaycos se deben posiblemente a la rotura de un dique natural formado por derrumbes ocasionados por huaycos anteriores, los cuales embalsan una masa gigantesca de agua y lodo. Otra de las causas de estos ruidos es debido a la fricción y choques de rocas que son removidos dentro de la zona de transporte, debido a la viscosidad del lodo y agua. Los huaycos descendieron por las quebradas de Quirio, Pedregal, Carosio y Cashahuacra, causando la destrucción de viviendas y la muerte de un centenar de personas.

DESASTRE DEL 16 DE FEBRERO DE 1989

En Chosica, alrededor de las 3 p.m. cayeron 5 huaycos mayores y otros tantos menores. Las avenidas torrenciales de mayor envergadura fueron las de la margen derecha en las quebradas de Quirio, Pedregal, Carosio, Corrales y Cashahuacra, que afectaron seriamente los pueblos de Nicolás de Piérola, San Antonio de Pedregal, Libertad, Moyopampa, Rayos del Sol, Pomaticlia y Santa Eulalia respectivamente. Los huaycos menores se precipitaron en la margen izquierda por las quebradas de la Cantuta, Santo Domingo, Mariscal Castilla,

Buena Vista, La Ronda y Piedra Grande, Ricardo Palma; los poblados afectados fueron los de la Cantuta, Pablo Patrón y varios aldeaños a cada quebrada.

De acuerdo a la evaluación realizada por Defensa Civil, los huaycos de la margen derecha destrozaron la plataforma vial y destrozaron varios tramos de la Carretera Central (esta vía está afectada especialmente en el tramo comprendido entre las quebradas Quirio y Pedregal y en el sector Rayos del Sol). Las familias damnificadas suman 300, veinte casas destruidas en Nicolás de Piérola y Rayos del Sol. Los pueblos de la margen derecha del Río quedaron sin abastecimiento normal de agua por la rotura de las tuberías principales y auxiliares, es así también que en Rayos del sol fueron derribados 7 postes de luz eléctrica.

CAUSAS DE LOS DESASTRES

Los desastres ocurridos en Chosica no se deben a la caída de huaycos sino a la combinación entre huaycos y viviendas.

Es muy cierto que las lluvias tienen que ver con el problema por que caen sobre suelos inconsolidados formándose así los huaycos, pero que no provocarían ningún desastre si no se hubiese instalado viviendas y demás infraestructuras en las inmediaciones. Nunca debieron construirse viviendas allí. La gente forzada por la falta de mejores terrenos para habitar y por la creencia que los lugares más seguros por su altura contra la crecida del río (no contra los huaycos), eran las áreas que constituían los conos de deyección de las quebradas.

Por lo tanto el desastre sigue latente, por que tarde o temprano va a pasar un huayco de gran magnitud y las viviendas y pobladores aún persisten, es pues necesario que las entidades estatales tomen acciones decisivas y reubiquen estas viviendas en zonas de menor riesgo.

5.2. SUB-CUENCA EL PEDREGAL

5.2.1. CARACTERISTICAS GENERALES

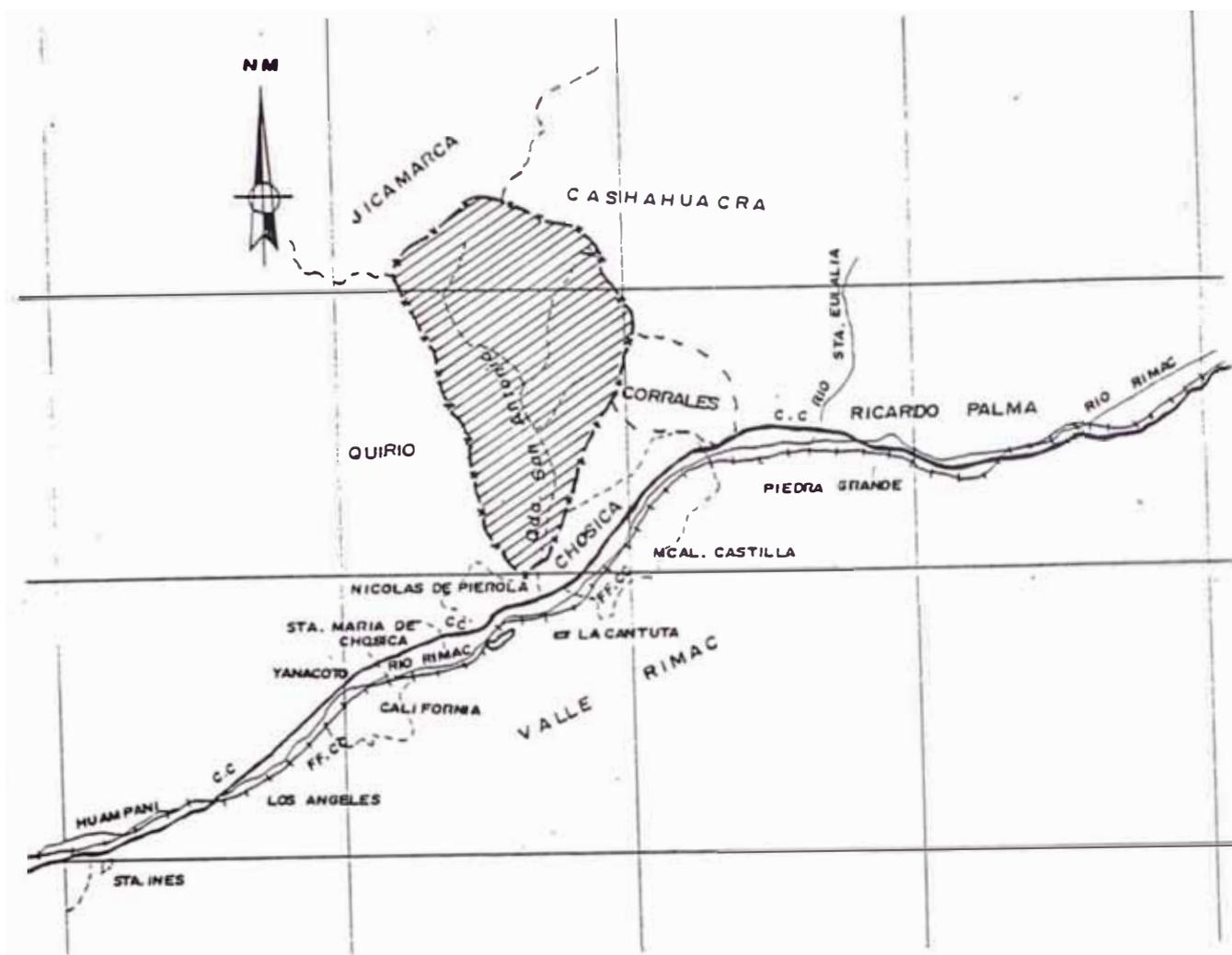
La sub-cuenca el pedregal, es una quebrada tributaria seca del valle del río Rímac, encontrándose a la margen derecha del curso del río.

Politicamente el área se encuentra ubicada en el distrito de Lurigancho-Chosica, provincia y departamento de Lima (fig. 5.3). La superficie que cubre la cuenca es de 10.4 km². (1,040 Ha.) aproximadamente, con una longitud de 6 km. como máximo y un ancho de 3 km. como máximo.

CENTROS POBLADOS: La sub-cuenca del Pedregal es asiento de numerosos pobladores, entre los que destacan el Pueblo Joven "San Antonio de Pedregal", así como la asociación de viviendas "San Miguel" que se ubican al pie de la quebrada.

LIMITES: Los límites de la sub-cuenca San Antonio de Pedregal son:

- Al Norte con la sub-cuenca Cashahuacra (valle Santa Eulalia).
- Al Sur con el valle del Rímac y Quebrada Jicamarca.
- Al Este con la ciudad de Chosica y sub-cuenca Corrales.



Fuente: Martínez V.

**PLANO DE UBICACION DE LA
SUB-CUENCA**
ESCALA: 1 / 100,000

Fig. 5.3

- Al Oeste limita con la sub-cuenca Quirio.

ACCESIBILIDAD: Es accesible vía la Carretera Central, Lima-La Oroya, km. 36, se ingresa por el Pueblo Joven San Antonio de Pedregal.

TOPOGRAFIA : El punto topográfico más bajo de la cuenca, es la desembocadura de la quebrada en el río Rímac, a 825 m.s.n.m. aproximadamente y el más elevado se encuentra en la cima de los cerros Piedra lagartos a 2,332 m. La diferencia de relieve es de 1,507 metros, en una distancia longitudinal de la cuenca de 6.0 km., lo que proporciona una pendiente de 25 % (14°), que puede calificarse de fuerte a muy fuerte en terminos de cursos de agua.

CLIMA Y VEGETACION : Su característica climática principal es la escasa precipitación por pertenecer a la región yunga. La humedad es relativamente baja durante el día y aumenta en la noche. La temperatura promedio es de 18°C; las noches son frescas a causa de los vientos que bajan de las regiones más altas.

En la zona alta de la quebrada se observan arbustos como los llamados: Huallarisquizga, cactáceas, gigantón, etc. Existe el antecedente de la existencia de una tupida vegetación que debido a la actividad del hombre, principalmente el sobre-pastoreo (con ganado caprino) y el abastecimiento de leña ha llevado a su extinción. En la zona media predominan el huanarpo, existiendo un canal que bordea las faldas de los cerros del Pedregal que conducen el agua proveniente de los restos de la hidroeléctrica "Juan Carossio", la cuál ha originado la forestación de zonas por donde pasa el canal; en la parte baja predominan las cactáceos y en los cursos de agua se encuentran el chillco, retama, huarango, etc.

5.2.2. GEOLOGIA

La geología regional esta comprendida dentro de la cuenca del río Rímac en donde afloran rocas volcánicas e intrusivas, con edades que fluctúan entre el Jurásico y el cuaternario reciente (fig. 5.4).

En la subcuenca el Pedregal afloran rocas intrusivas del tipo granodiorita, granito correspondientes al batolito de la costa (crétaceo superior-terciario inferior), las cuales se presentan fuertemente fracturadas y diaclasadas; superficialmente presentan intensa alteración y meteorización produciendo suelos arenosos-limosos altamente permeables con pesos específicos altos de 2.7 a 2.8 gr/cc (Martínez 1989). Los diaclasamientos presentan un juego de planos paralelos a las pendientes naturales de las laderas responsable de inestabilidad de taludes y el origen de bloques de roca en la quebrada.

Estas rocas se localizan mayormente en el curso inferior del río Rímac, encontrándose también pequeños cuerpos en el curso medio y superior.

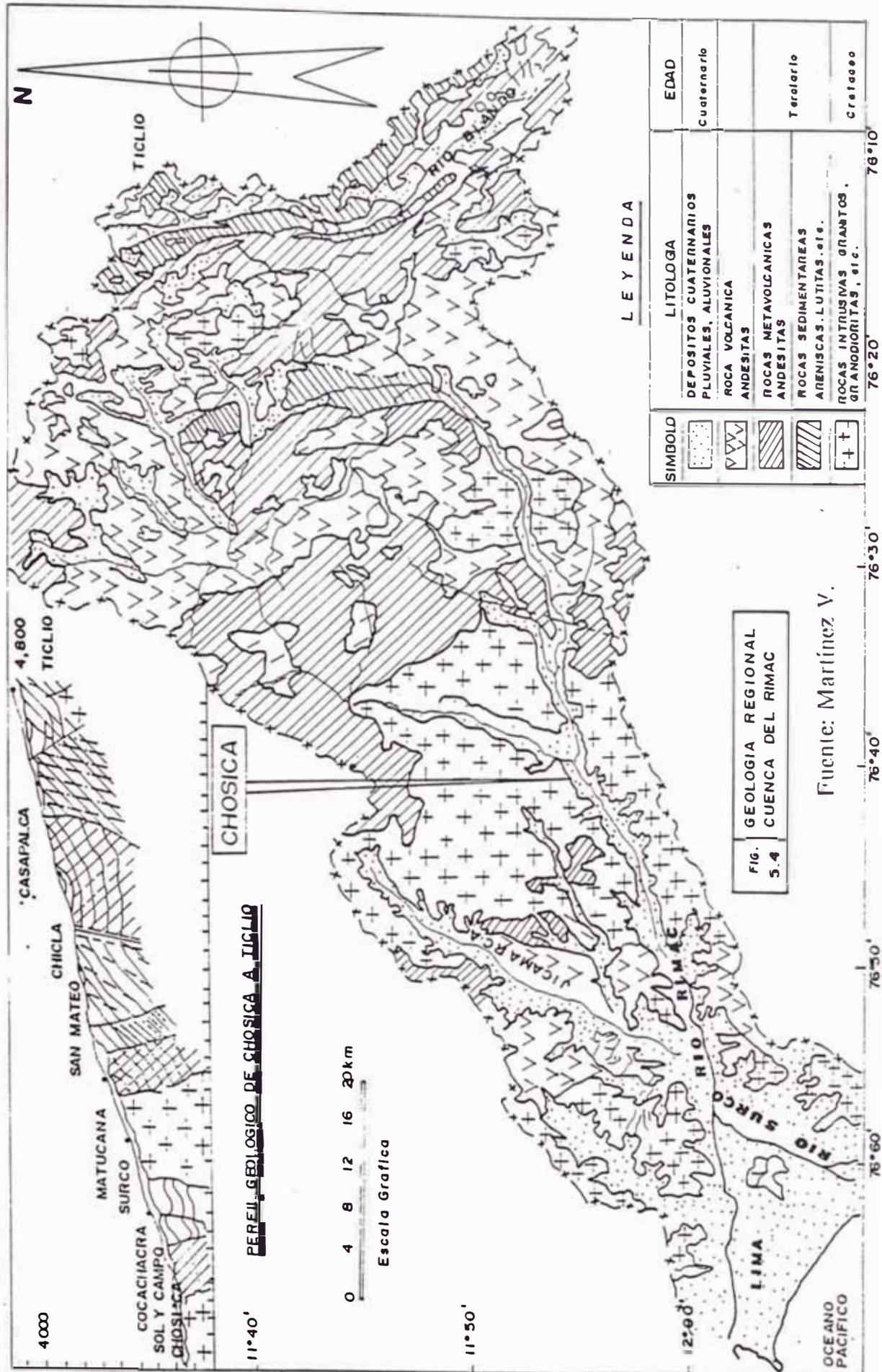
Su composición química varía de rocas básicas a ácidas, encontrándose cuerpos tales como dioritas, tonalitas, granodioritas, tonalitas-dioritas, tonalitas granodioritas, gabros y gabrodioritas. Se encuentran fracturadas, diaclasadas, meteorizadas, con disyunción esferoidal, generalmente con mediana resistencia.

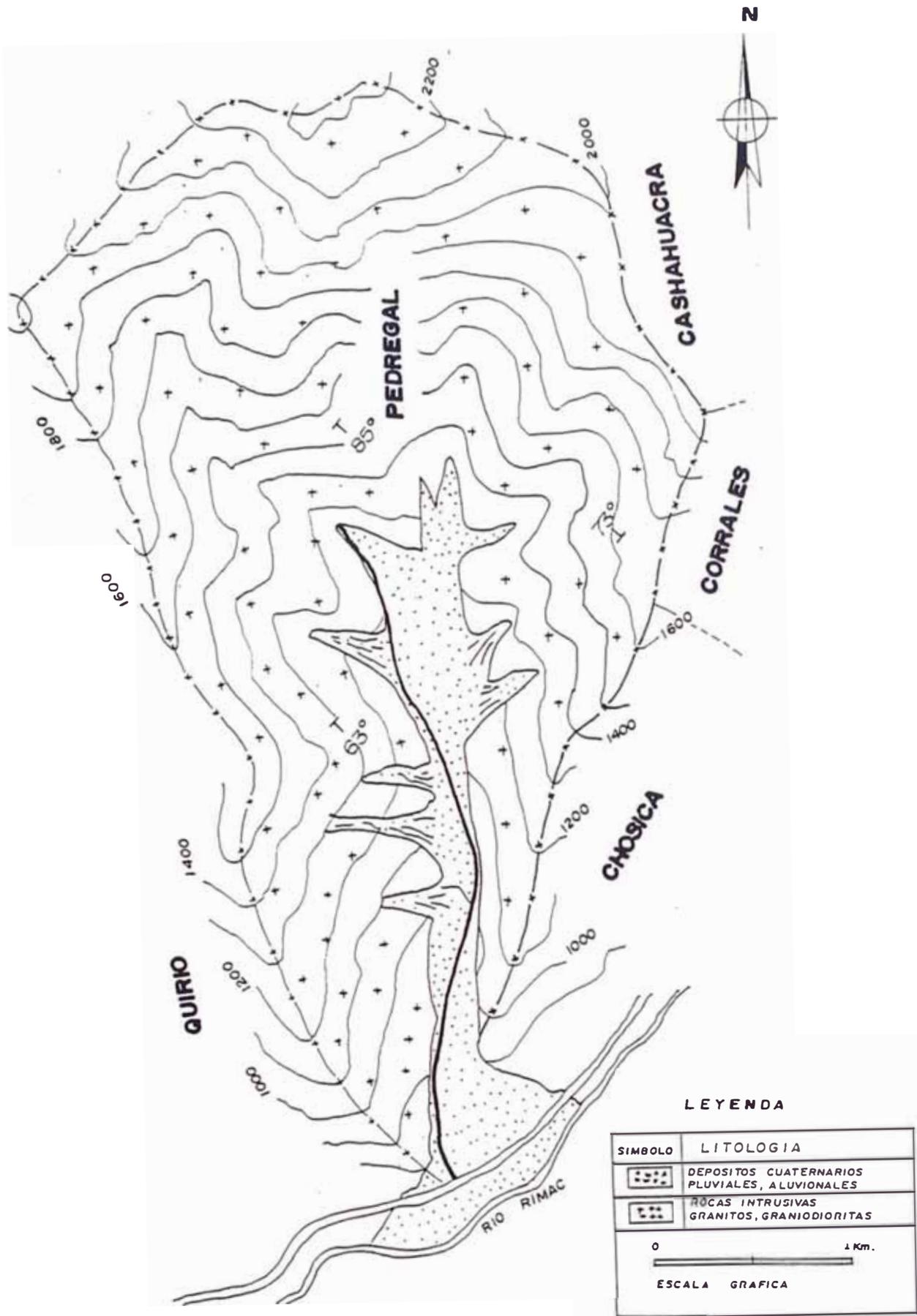
Presentan colores diversos, siendo los más comunes el gris claro y oscuro en mayor porcentaje; son de grano medio a grueso y cuando se encuentran fuer-

temente meteorizadas se disgregan en arenas de grano medio a grueso y también arena fina. El fracturamiento de las rocas dá lugar a desprendimientos de fragmentos y bloques que se acumulan en las laderas, o al pie de ellas; estos fenómenos sufren incentivación por efecto de sismos fuertes pudiendo ocasionar daños a las obras civiles. En general, estas rocas constituyen cerros con laderas de características moderadamente estables.

Según los estudios realizados por el Ing. Alberto Martínez Vargas, se determinó que en la margen derecha del Pedregal estos diaclasamientos miden un rumbo de N39°E y buzando 69°SE, en la margen izquierda N20°E y 73°W, hacia el Norte con N38°E y 85°SE, teniendo discontinuidad predominante al NE con inclinaciones en sentido de las pendientes del orden de 25° a mayor de 45° del macizo rocoso, se considera el sistema de fallamiento de segundo orden (fig. 5.5).

El fondo de la quebrada esta relleno por los aportes coluviales y aluvionales, existiendo varios eventos importantes que van desde el Pleistoceno al Holoceno, siendo el más reciente el aporte dejado por los últimos huaycos 1987 y 1989. En la parte alta o cuenca de recepción, el cauce se pega a la margen, derecha donde aflora el granito que impide su erosión, socavando y profundizándose con pendientes del 25% (14°), factor que muestra el estado juvenil de la cuenca; a la altura del panteón (1,150 m.s.n.m.) se encuentra los depositos coluviales aluvionales antiguos del cuaternario-Pleistoceno y en la parte media el canal del torrente se pega a la margen izquierda donde es retenido por el afloramiento de la roca granodiorita, dejado en su margen derecha terrazas aluvionales cuyos desniveles





GEOLOGIA DEL PEDREGAL

Fig. 5.5

CAPITULO V: ZONA DE ESTUDIO

Fuente: Martínez V.

son huellas de otros eventos importantes que han ocurrido de menor intensidad que el primero y más antiguo.

También se pueden apreciar en el cauce del torrente los enormes escarpes casi verticales de los depósitos coluviales y aluvionales los cuales varían en altura desde los 10 m. hasta los 25 m. aproximadamente.

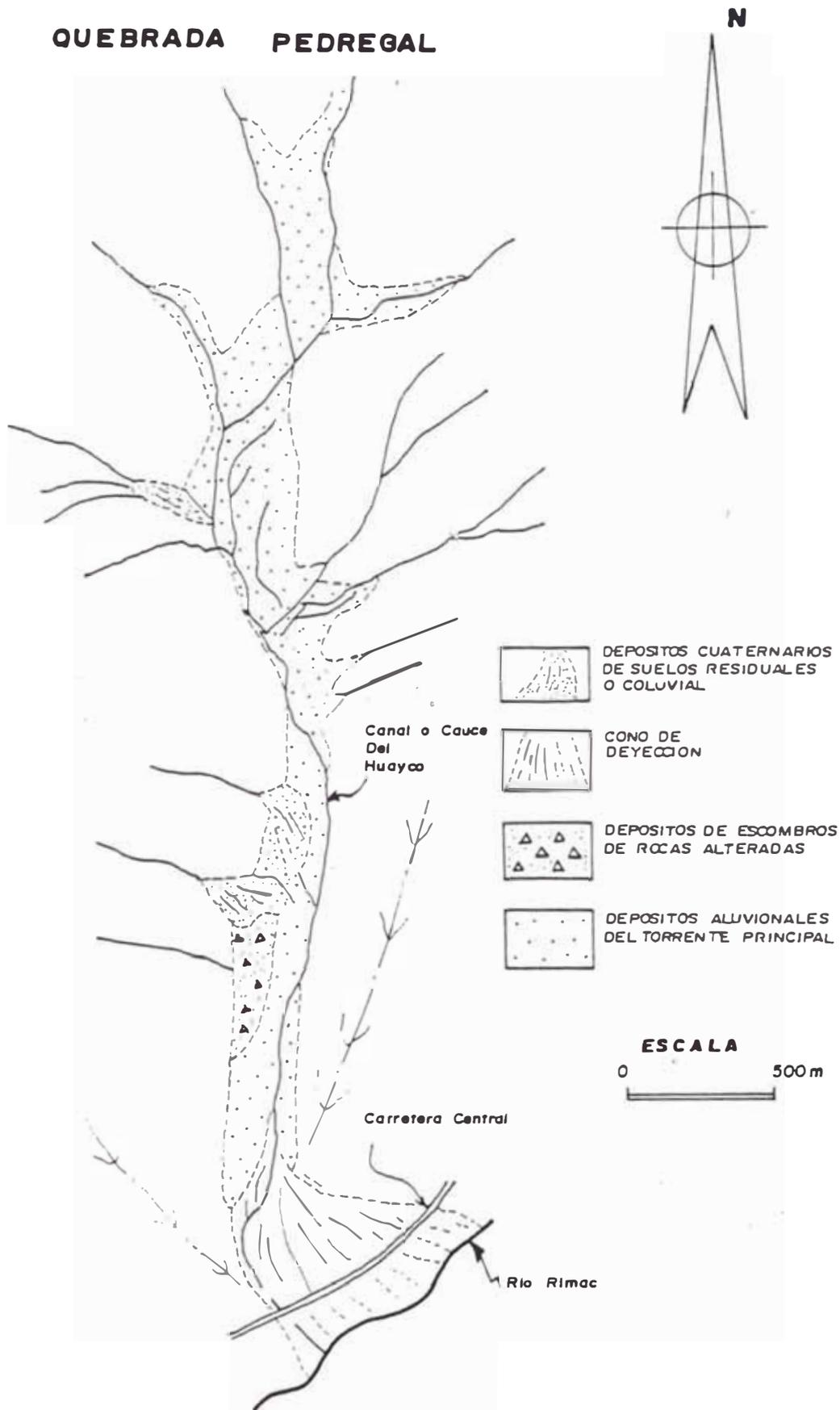
Finalmente el cauce se bifurca a su cono deyeectivo en la parte baja hasta su desembocadura, y es en esta zona la de mayor peligro por haberse modificado su cauce natural con pretendidas obras de "defensa" como es el muro de mampostería de concreto ciclópeo.

5.2.3. GEOMORFOLOGIA

La sub-cuenca el Pedregal se encuentra constituida por una quebrada principal y numerosos tributarios, que permanecen desérticos en la mayor parte del año; con huaycos esporádicos en épocas de lluvias, formando terrazas aluvionales y acumulaciones de materiales hacia el cono deyeectivo de esta sub-cuenca (fig.5.6).

Estas terrazas son superficies tabulares ubicadas en ambos lados del cauce, compuestas de material aluvional que, generalmente se presentan cortadas en escarpes casi verticales. En la desembocadura de los cursos tributarios y en el cauce del torrente se localizan materiales heterogéneos representados por bloques

QUEBRADA PEDREGAL



... Distribución de Materiales Acarriados Por Los Huaycos En El Pedregal.

Fuente: Plan Maestro del Rímac - JICA

Fig. 5.6

con diámetros desde 0.5 m. a 4 m., cantos rodados y gravas, todo esto en una matriz areno-limosa bien consolidada.

5.2.3.1. PARAMETROS GEOMORFOLOGICOS

Para una mejor comprensión de los procesos geodinámicos que ocurren dentro del área, es necesario conocer las características geométricas de la subcuenca, sus relaciones con la litología, estructuras geológicas y su régimen hidrológico, esto está basado en el mapa topográfico a escala de 1/12,500, para la subcuenca el Pedregal.

AREA TOTAL DE LA SUBCUENCA (A).- Se considera a todo el área del terreno cuyas precipitaciones son drenadas hacia la quebrada por un sistema común (canal de salida).

$$A_c = 10.40 \text{ Km}^2$$

PERIMETRO DE LA SUBCUENCA (P).- Esta característica tiene influencia en el tiempo de concentración de la cuenca.

$$P_c = 13.65 \text{ km.}$$

FORMA DE LA SUBCUENCA .- Se expresa con los siguientes parámetros:

1.- Coeficiente de Compacidad o Índice de Gravelius (K_c).- Este parámetro constituye la relación entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de una circunferencia cuya área es equivalente al área de la cuenca en estudio.

Area de la circunferencia = Area de la cuenca

$$\pi r^2 = 10.40 \text{ Km}^2$$

$$r = 1.82 \text{ km.}$$

Perímetro de la circunferencia = $2 \pi r = 11.235 \text{ Km.}$

$$\text{Entonces: } K_c = \frac{P_c}{11.435} = \frac{13.65}{11.435}$$

$$K_c = 1.19$$

Cuando el valor de K_c se acerca a la unidad, la cuenca se aproxima a la forma circular lo que permite la rápida evacuación, por lo menos en la parte alta (área de recepción).

2.- Factor de Forma (Ff).- Es la relación entre el ancho medio de la cuenca y la longitud total del curso de escurrimiento mayor hasta la desembocadura. El ancho medio se obtiene dividiendo el área total de la cuenca entre la longitud total del canal de escurrimiento.

$$\text{Ancho Medio} = \frac{10.40 \text{ Km}^2}{5.5 \text{ km}} = 1.89 \text{ km}$$

$$Ff = \frac{1.89}{5.5} = 0.34$$

Este factor se considera alto, por lo tanto corrobora el coeficiente de compacidad determinado.

DENSIDAD DE DRENAJE .- Esta constituido por el canal y sus torrentes tributarios. La unidad de drenaje se ha calculado en 0.65 km/km^2 , el valor indica alta densidad del drenaje.

CURVA HIPSOMETRICA Y POLIGONO DE FRECUENCIA DE ALTITUDES .- En la fig. 5.7. se representa la curva hipsométrica y el polígono de frecuencias de altitudes. El Polígono de frecuencia de altitudes es un diagrama de relación entre las superficies parciales de la cuenca expresadas en porcentaje y las alturas relativas a dichas áreas comprendidas entre curvas de nivel.

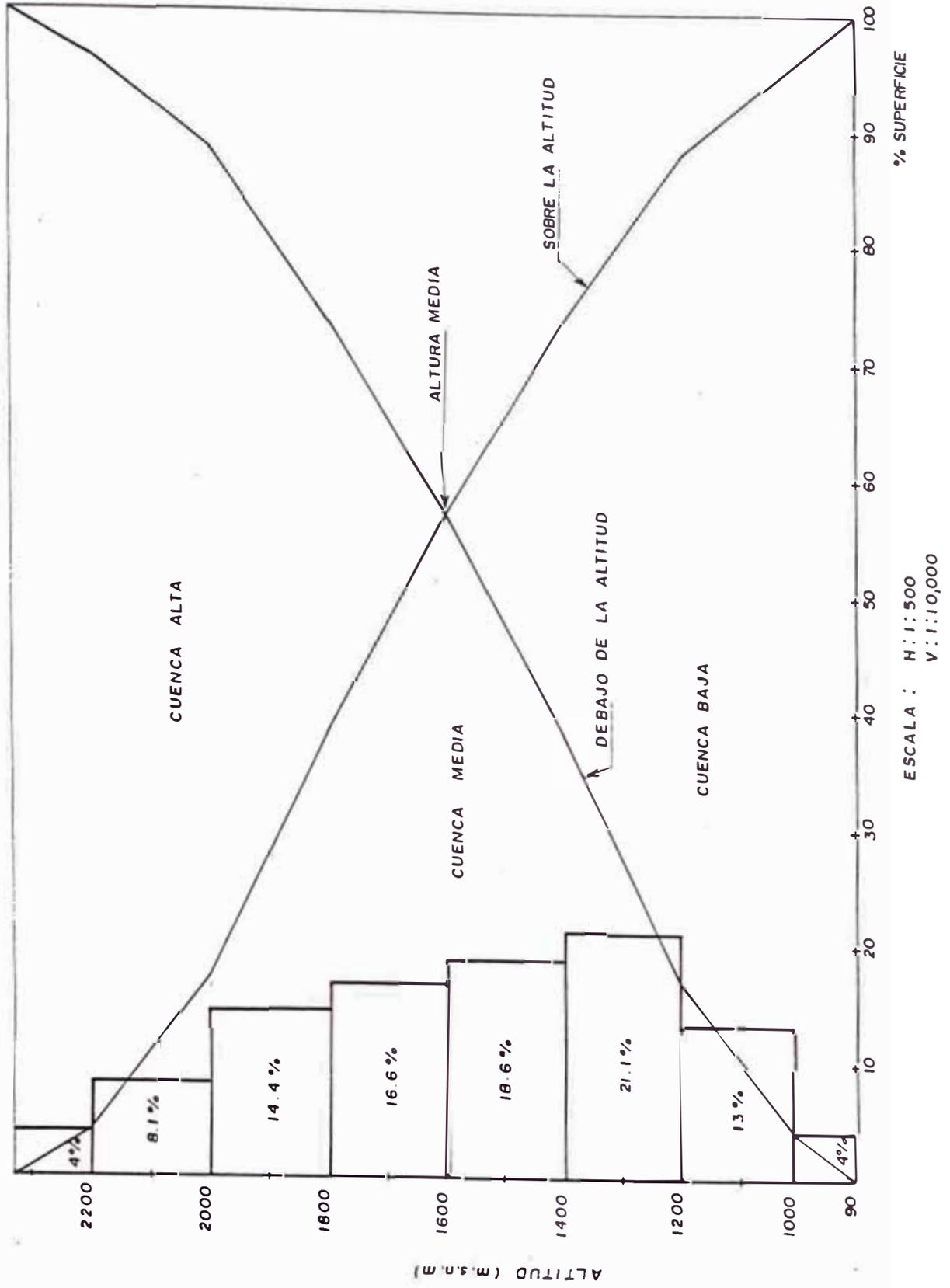
La curva hipsométrica representa las superficies dominadas por encima o por debajo de cada altitud considerada y por lo tanto caracteriza en cierto modo el relieve.

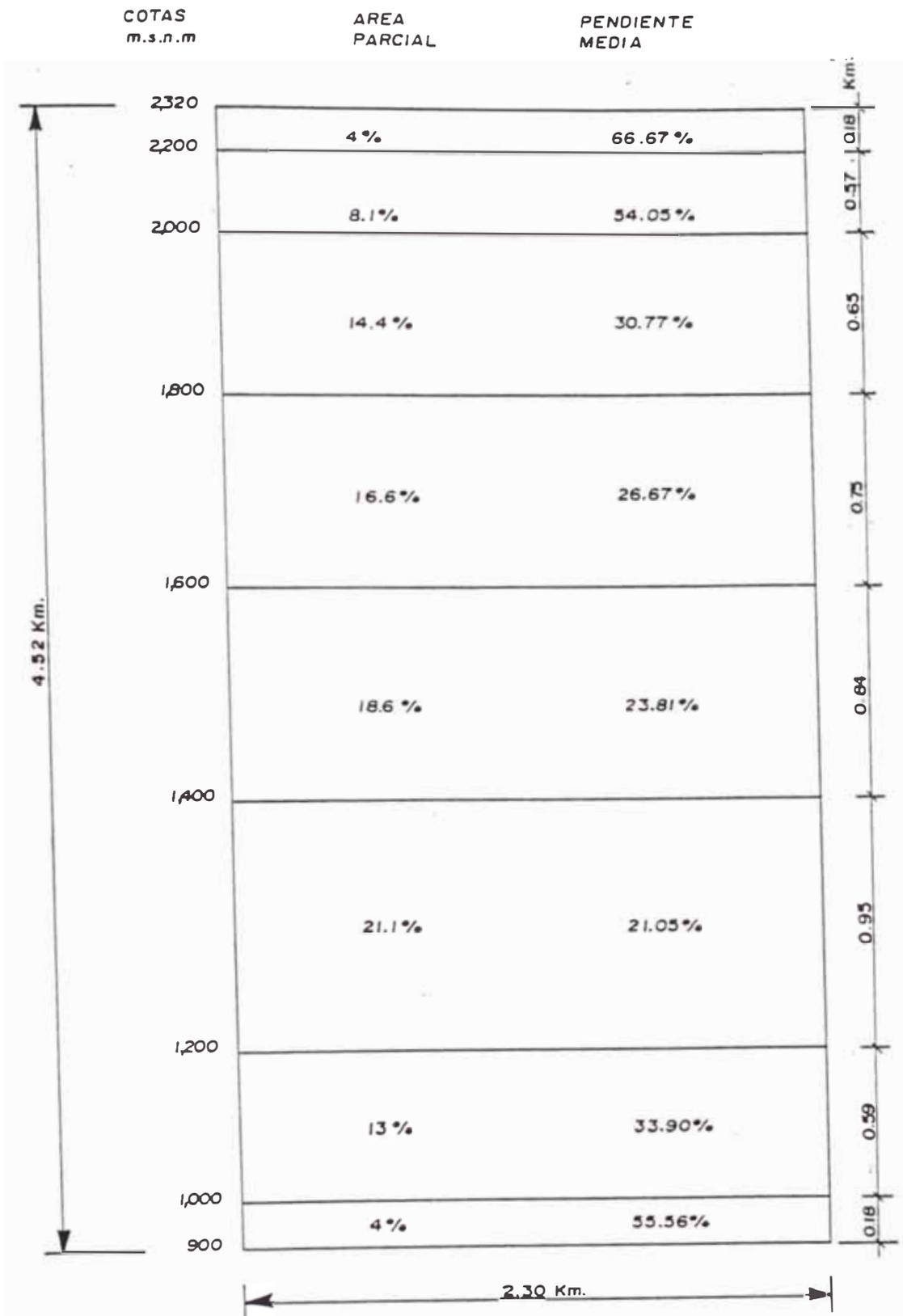
RETANGULO EQUIVALENTE .- Es un retángulo que tiene la misma superficie de la cuenca, el mismo coeficiente de compacidad e idéntica repartición hipsométrica. Se trata de una transformación puramente geométrica de la cuenca, en un retángulo del mismo perímetro convirtiéndose las curvas de nivel en rectas paralelas al lado menor. Ver fig. 5.8.

ALTURA MEDIA DE LA CUENCA .- Este parámetro está referido al nivel del mar.

$$H = 1,600 \text{ m.s.n.m.}$$

Fig. 5.7 Curva Hipsométrica y Polígono de Frecuencias de Altitudes





**RECTANGULO EQUIVALENTE
SUB-CUENCA EL PEDREGAL**

Fig. 5.8

DECLIVE DE LOS CERROS.- Este parámetro influye en el escurrimiento superficial controlando, en gran parte, su velocidad y el tiempo que el agua demora en concentrarse en los lechos fluviales.

Este parámetro es un valor medio de todas las pendientes correspondientes a las áreas elementales de una cuenca, se deduce a partir del retángulo equivalente.

$$I_p = 35.21 \%$$

5.2.3.2. ORIGEN GEOMORFOLOGICO DE LA SUBCUENCA SAN ANTONIO DE PEDREGAL

El origen geomorfológico de la subcuenca esta ligado a las discontinuidades del macizo rocoso a traves de sus diaclasas y alteración de las rocas cuya evolución de sus laderas es permanente, concentrándose en las cárcavas, quebradas, taludes de escombros, depósitos aluvionales, siendo los contactos del macizo rocoso en los depósitos cuaternarios los que regulan la forma del cauce asi como los cambios bruscos.

El lecho de la subcuenca esta conformado por depósitos coluviales en las laderas y en su mayoría de proluviales pleistoceno que se encuentran rellenando el cauce. Los eventos torrenciales de gran magnitud se manifiestan en sus depósitos llegando a determinarse 3 etapas de acumulación.

Las etapas de mayor actividad torrencial (huaycos) se han dado en forma violenta luego de tiempos espaciados que coinciden con crisis climáticas. Los depósitos observados en la qbda. San Antonio del Pedregal están constituidos por

materiales de dimensiones muy heterogéneas, predominando las arenas y los bolos aluvionales, con bloques de hasta de 4.5 m. de diámetro.

En toda el área de la subcuenca se distinguen tres partes muy esenciales en la generación de los huaycos y que a continuación describiremos.

a) AREA DE RECEPCION.- Esta comprendida entre los 1,500 a 2,350 m.s.n.m., se caracteriza por presentar intensa erosión, fuertes pendientes y un denso sistema de drenaje.

En el fondo de las quebradas tributarias y en las laderas presentan depósitos coluviales, tipo talud de escombros con pendientes entre 28° a 35° . Se aprecia hacia el NW de la cuenca de recepción una zona donde se han producido los mayores aportes de antiguos aluviones, los mismos que han rellenado, represado y desbordado hacia la parte media y baja.

b) CANAL DE ESCURRIMIENTO.- Conocido también como cauce torrencial, su longitud mayor se observa desde la confluencia de los tributarios mayores que lo definen (altura del cementerio).

Se presenta con las siguientes características:

Parte Alta.- Alcanza 15 m. de ancho y 12 m. de altura. Sus taludes son muy inestables y se encuentran formando escarpas verticales y paralelas al perfil se ob-

servan grietas de tensión que indican una manifestación de desequilibrio provocado por socavación vertical y erosión lateral del cauce en su pie del talud.

Los taludes que presenta los escarpes en ambos flancos con inclinaciones que oscilan entre los 65° a más de 90°. En el propio canal de escurrimiento se puede encontrar grandes boleos de diámetros mayores de 3.0 m. con materiales que obstruyen la libre circulación de flujos incrementando la erosión lateral por turbulencia, con socavamiento por caídas sin control ni tratamiento.

Parte Media.- Tiene un promedio de ancho de 9.0 m. aproximadamente con altura de 10 m. sus taludes también se presentan muy inestables. La margen derecha esta constituida por depósitos aluvionales erosionados y con escarpas verticales y en la margen izquierda predominan el afloramiento rocoso intrusivo que es una defensa natural contra la erosión del cauce.

Actualmente dentro del cauce se encuentran gran concentración de bóleos que obstruyen el flujo normal en el caso de un huayco, es de advertir que estas acumulaciones se presentan con saltos de 1 a 4 m. aproximadamente.

Parte Baja.- En esta parte el canal se inflexiona hacia el centro del lecho efectuando radios de curvatura de 150 m. a 100 m.; También se observa el angostamiento que ha sufrido el canal por acción del hombre (construcción, acumulación de desmontes, etc.) presentando así hasta 2.50 m. de anchos en algunas zonas.

c) CONO DE DEYECCION.- En la cuenca de San Antonio de Pedregal, esta área se considera de influencia torrencial latente y el de mayor riesgo. El cauce principal se ramifica en 3 drenes siendo el más activo el de la margen derecha pegado al cerro por su depresión mayor y el otro extremo más alto como la del centro, han sido modificados, obstruidos por los asentamientos humanos y definiendo el cauce con un muro en la margen izquierda, cualquiera de estos cauces antiguos son vulnerables.

5.2.4. GEODINAMICA EXTERNA

Los procesos de geodinámica externa más característicos que se presentan en la zona son:

1.- FLUJOS TORRENCIALES.- En la quebrada San Antonio se presentan remanentes de depósitos aluvionales ocasionados por huaycos anteriores de gran magnitud. Se diferencian 3 horizontales. Los horizontales de mayor actividad promedian los 4 m. en la parte media a alta y superan los 15 m.

2.- DERRUMBES O DESMORONAMIENTO.- Se observan en ambos flancos de la quebrada bloques de 3 a 5 m. de diámetro, profundos a desplazarse y taludes de escombros con depósitos coluviales de desprendimiento de las partes altas formando despeñaderos.

3.- CARACTERISTICAS DE LOS DEPOSITOS ALUVIONALES.- Como ya se ha mencionado anteriormente predominan los depósitos del Plesitoceno

cuaternario, que rellenaron las partes más bajas de la quebrada. Se distingue en el canal que se encuentra a la altura del cementerio.

La geofórma del depósito ha provenido de las quebradas del Nor-Oeste, cuyo cauce del huayco tiende a pegarse hacia la margen derecha como consecuencia de las acumulaciones violentas del Nor-Este y el represamiento producido en su extremo Sur; todo esto ocurre en la parte alta (fig.5.9).

El material aluvional se caracteriza por el predominio de bóleos con matriz areno-limosa, suelta medianamente cementada de color gris, es porosa y ha sido lavada con filtraciones intensas. Otros huaycos posteriores han dejado en su lecho depósitos cuaternarios más recientes, como el huayco ocurrido en 1,987.

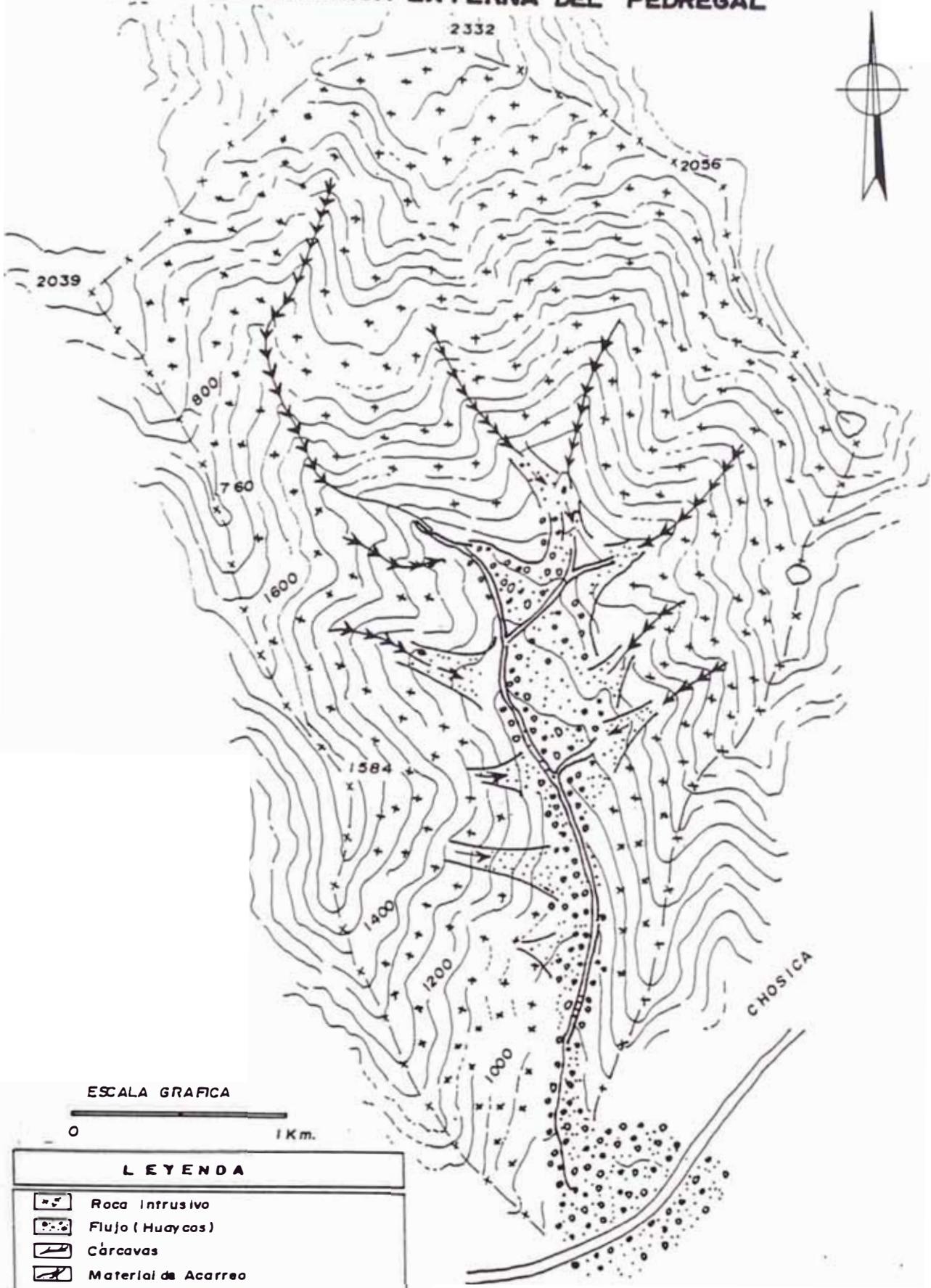
5.2.4.1. FACTORES GEODINAMICOS

1.- Topográficos.- Las pendientes son fuertes y varían entre 28° y 50° en las laderas y longitudinalmente llega a 16° es decir 28% de declive. Factor que muestra el estado juvenil de la cuenca de San Antonio de Pedregal.

2.- Litológicos.- La roca predominante es la granodiorita, cuya característica es su sistema de diaclasamiento, que le permite en una primera etapa la formación de bloques, iniciándose un proceso de alteración por condiciones meteorológicas, dada su composición mineralógica, esta alteración produce un disgregamiento a un suelo arenoso sin cohesión y fácil de ser arrastrado por las lluvias, presentándose tipos de erosión como la esferoidal, laminar, micro y macro cárcavas, etc.,

Fig. 5.9 GEODINAMICA EXTERNA DEL PEDREGAL

N



Fuente: Martínez V.

formándose así el mayor porcentaje del suelo con material fino que facilita el flujo de lodo.

3.- Tectónicos.- No hay evidencias de fallas tectónicas que se pueda atribuir al origen de la quebrada, pero si predomina en su diaclasamiento con planos preferenciales en direcciones parecidas a sus laderas y/o tendencia de estabilidad.

4.- Hídricos.- Su acción está ligada a los meses de lluvias, la explicación del transporte de lodo se debe a que con poca agua es suficiente para estar en el límite líquido de estos suelos.

4.- Antrópicos.- (Acción del hombre) Por los vestigios que se encuentran, la actividad ganadera (caprinos) arrasó lo poco de vegetación que existía en la parte alta, incrementándose la erosión. La acción más importante es la modificación del cauce en el cono de deyección debido a la invasión por asentamientos humanos.

5.2.5. HIDROLOGIA

En la subcuenca de San Antonio de Pedregal, la Hidrología es más desconocida que el clima, debido a la ausencia de registros pluviométricos. Las estaciones más cercanas son la de Santa Eulalia y Autisha, las cuales cuentan con registros de información parcial para la elaboración de un análisis estadístico.

5.2.5.1. PRECIPITACIONES

Según las experiencias ocurridas en años anteriores, las grandes precipitaciones y sus efectos se repiten según algún período de recurrencia. Es decir, los huaycos y las inundaciones han ocurrido en tiempos pasados y volverán a ocurrir muchas veces más en el futuro.

Generalmente los huaycos, hasta la fecha, han causado incalculables daños en la subcuenca San Antonio de Pedregal; perjuicios que, sin embargo, se olvidan rápidamente cuando las condiciones climáticas varían a situaciones de sequía. Se sabe que nuestro clima actual oscila entre períodos lluviosos y períodos secos, con leves cambios de temperatura, pero estos ciclos no afectan del mismo modo a todo el territorio nacional; sólo referencialmente, se ha llegado a establecer para los Andes Occidentales de Lima, la ocurrencia de un ciclo húmedo de 3 a 4 años lluviosos seguido de 4 a 5 años secos, en los que la actividad de los huaycos es evidentemente menor. Este parámetro es muy importante para el diseño de drenajes en la sub-cuenca Pedregal, por que se toma como período de retorno de la ocurrencia del fenómeno, tal como lo explicaremos más adelante.

Sin embargo, la ocurrencia de estos ciclos secos y lluviosos parece estar bien definido en los últimos 10 a 15 años, así por ejemplo, entre 1975 y 1980 se produjo una sequía luego de unos años lluviosos y los huaycos, fueron en ese tiempo un problema casi olvidado en la región central del país, como lo que está ocurriendo actualmente en estos dos últimos años 1,990 y 1,991; más no así en los años 1981, 1983, 1987 y 1989, que fueron años muy lluviosos y por consiguiente

ocurrieron huaycos muy violentos, que por los cuantiosos daños causados volvieron al primer plano de la atención nacional.

Durante las sequías, las avenidas son esporádicas, por que el transporte de los materiales instalados en los lechos de las quebradas, requiere un caudal que no es proporcionado por las escasas lluvias, a pesar del rápido escurrimiento sobre las vertientes empinadas y desprovistas de vegetación. En cambio durante los veranos de los años lluviosos, como lo ocurrido en 1987 y 1989, las masas de bloques, gravas y material fino, depositados en los lechos, son de nuevo puestas en movimiento, al mismo tiempo, las vertientes resecaadas por los años secos han proporcionado una abundante carga de productos de intemperización que es arrastrada a los cauces por la esorrentía difusa, o a veces provocando abarrancamientos, por movimientos en masa.

5.2.5.2. ESTUDIO DE LA INTENSIDAD

La ocurrencia de un huayco es responsabilidad directa del escurrimiento pluvial, por lo tanto, la precipitación como cantidad total no es muy representativa en este tipo de análisis, pero en cambio si es necesario considerar a la Intensidad y el tiempo de duración de la tormenta.

CURVAS DE INTENSIDAD-DURACION-FRECUENCIA

El trazo de este gráfico tiene la finalidad de calcular la intensidad de diseño para una frecuencia de precipitación determinada, y de una duración de precipi-

tación. En estos gráficos se expresan las intensidades máximas de precipitación (mm/h) en diferentes períodos de retorno o frecuencia (años) para diferentes duraciones de tormentas o precipitaciones (horas).

Lamentablemente, en el Perú y en muchos otros países son escasos los registros pluviográficos, los cuales nos permiten obtener las curvas de Intensidad-duración-frecuencia. Esta situación ha llevado a algunos investigadores a buscar procedimientos que permitan superar tal deficiencia, aprovechando al máximo la información realmente existente. FEDERICH BELL (1969), publicó un trabajo en el cual generalizaba las curvas de intensidad-duración-frecuencia, a partir de datos recogidos principalmente en Estados Unidos. El argumento físico en que se apoyó es el hecho de que las lluvias extremas de menos de dos horas de duración se deben a tormentas de tipo convectivo, las cuales poseen características similares en todas las regiones del mundo.

La expresión propuesta por Bell es la siguiente:

$$P_t^T = (0.21 T + 0.52)(0.54 t^{0.25} - 0.50) P_{60}^{10}$$

donde: t = duración en minutos

T = Período de retorno en años

P = Precipitación caída en t minutos con período de retorno T años.

La fórmula es aplicable a lluvias de menos de dos horas de duración y con períodos de retorno comprendidos entre 2 y 100 años. Estudios hechos en diferentes partes del mundo han conducido sensiblemente valores iguales para todos

los lugares. Se observa que se requiere conocer la precipitación de una hora de duración y 10 años de período de retorno.

En realidad no siempre se cuenta con información de lluvias de una hora de duración. Pero Espildora, obtuvo en Chile que la relación entre la lluvia máxima diaria y la lluvia de una hora es más o menos constante e igual a 4.04. Esto hace posible obtener la lluvia P_{60}^{10} que entra en la fórmula, a partir de las lluvias máximas diarias cuyos registros son más frecuentes.

El procedimiento completo entonces viene a ser el siguiente. A partir de los registros de precipitaciones máximas diarias obtener, mediante un análisis de frecuencia, la magnitud de la lluvia con período de retorno 10 años. Usando el coeficiente de Espildora obtener P_{60}^{10} y luego aplicar la fórmula de Bell. Por último, calcular, a partir de las magnitudes encontradas de lluvia, las intensidades correspondientes a fin de poder construir las curvas intensidad-duración-frecuencia. Utilizaremos la siguiente fórmula modificada de Bell, para obtener las precipitaciones en unidades de mm/hora.

$$P_t^T = (0.21 T + 0.52)(0.54 t^{0.25} - 0.50) 60 P_{60}^{10}/t$$

En nuestro caso, aplicaremos las fórmulas empíricas propuestas por Bell en la sub-cuenca el Pedregal, para determinar las curvas de intensidad-frecuencia-duración. Es así que para determinar la precipitación máxima de 24 horas, se utilizarán para el análisis estadísticos, las máximas precipitaciones registradas en

las estaciones pluviométricas de Santa Eulalia (1,080 m.s.n.m.) y Autisha (2,250 m.s.n.m.), debido a dos razones importantes de los huaycos más recientes:

1.- El día 9 de marzo de 1987, ocurrieron 5 huaycos que afectaron a la ciudad de Chosica, registrándose en la estación de Autisha la cual se encuentra en los niveles de altitud de las quebradas problemas de Chosica, una precipitación máxima diaria de 11.6 mm., mientras que en la estación de Santa Eulalia para ese mismo día no hubo registro.

2.- El 16 de febrero de 1989, se produjeron nuevamente 5 huaycos, por las principales quebradas de Chosica, registrándose para ese día en la estación de Santa Eulalia, una precipitación máxima diaria de 27.6 mm.; más no así ocurrió en la estación Autisha por la falta de información.

De lo anterior y debido a lo ocurrido, realizaremos el análisis hidrológico para las dos estaciones pluviométricas ya mencionadas. También debemos mencionar que todo esto que ocurre en esta región, como la falta de datos, equipos o estaciones, también ocurre en distintos lugares del país, en tal sentido, la falta de información hidrológica, nos lleva en muchos casos a tomar criterios empíricos en los análisis estadísticos, por ser esta una importante herramienta de trabajo en la solución de los problemas hidrológicos.

ANALISIS HIDROLOGICO PARA LA ESTACION STA. EULALIA
Período 1963-1989

Tabla 5.4. Análisis de frecuencia para la estación Sta.Eulalia.

m	Precipitación (mm.)	m/(n + 1)	T = (n + 1)/m años	P ₆₀ ¹⁰ (mm.)
1	30.8	0.091	11.0	7.62
2	30.0	0.182	5.5	7.43
3	29.8	0.273	3.7	7.38
4	27.6	0.364	2.8	6.83
5	26.0	0.455	2.2	6.44
6	20.0	0.545	1.8	4.95
7	19.2	0.636	1.6	4.75
8	14.5	0.727	1.4	3.59
9	10.6	0.818	1.2	2.62
n = 10	10.5	0.909	1.1	2.60

Por Espíldora obtemos: $P_{60}^{10} = \frac{P}{4.04}$

donde P está en mm.

Seguidamente aplicamos la fórmula de Bell

$$P_t^T = (0.21 T + 0.52)(0.54 t^{0.25} - 0.50) 60 P_{60}^{10}/t$$

Obteniéndose la siguiente tabla que nos permitirá graficar las curvas de Intensidad-duración-frecuencia.

Tabla 5.5. Valores de "i" en mm/hr para la estación Sta. Eulalia.

T años	t = 10 min.	t = 30 min.	t = 60 min.	t = 90 min.	t = 120 min.
11.0	59.6	32.9	21.6	16.7	13.9
5.5	34.4	19.0	12.5	9.7	8.0
3.7	26.4	14.6	9.6	7.4	6.2
2.8	20.9	11.6	7.6	5.9	4.9
2.2	17.5	9.7	6.3	4.9	4.1
1.8	12.3	6.8	4.5	3.4	2.9
1.6	11.2	6.2	4.1	3.2	2.6
1.4	8.1	4.5	2.9	2.2	1.9
1.2	5.6	3.1	2.0	1.6	1.3
1.1	5.4	3.0	1.9	1.5	1.26

ANALISIS HIDROLOGICO PARA LA ESTACION AUTISHA
Período 1980-1989

Tabla 5.6. Análisis de frecuencia de la estación Autisha.

m	Precipitación (mm.)	$m/(n + 1)$	$T = (n + 1)/m$ años	P_{60}^{10} (mm.)
1	20.3	0.091	11.0	5.0
2	14.0	0.182	5.5	3.5
3	13.7	0.273	3.7	3.4
4	11.6	0.364	2.8	2.9
5	11.2	0.455	2.2	2.8
6	9.8	0.545	1.8	2.4
7	7.5	0.636	1.6	1.9
8	7.1	0.727	1.4	1.8
9	6.4	0.818	1.2	1.6
n = 10	4.3	0.909	1.1	1.0

Tabla 5.7. Valores de "i" en mm/hr para la estación Autisha.

T años	t = 10 min.	t = 30 min.	t = 60 min.	t = 90 min.	t = 120 min.
11.0	39.1	21.6	14.2	11.0	9.1
5.5	16.2	9.0	5.9	4.5	3.8
3.7	12.2	6.7	4.4	3.4	2.8
2.8	8.9	4.9	3.2	2.5	2.1
2.2	7.6	4.2	2.8	2.1	1.8
1.8	5.9	3.3	2.2	1.7	1.4
1.6	4.5	2.5	1.6	1.3	1.0
1.4	4.0	2.2	1.5	1.1	0.9
1.2	3.4	1.9	1.2	0.9	0.8
1.1	2.1	1.1	0.8	0.6	0.5

5.2.5.3. AJUSTE MATEMATICO DE LAS CURVAS

INTENSIDAD-DURACION-FRECUENCIA

La más simple es la propuesta por Talbot en 1904:

$$I = \frac{a}{(b + t)}$$

Donde la intensidad "i" esta expresada en mm/h y "t" es el intervalo de tiempo en minutos que se designa para simplificar la "duración de la lluvia" o el "agua-cero tipo"; los parámetros "a" y "b" resultan del ajuste matemático de las curvas experimentales y dependen de la estación considerada. De acuerdo a lo mencionado, se ha evaluado y ajustado las curvas de intensidad-duración-frecuencia para los valores de las tablas 5.5 y 5.7, obteniéndose los gráficos correspondientes:

Fig. 5.10 CURVAS DE INTENSIDAD-DURACION-FRECUENCIA PARA LA ESTACION STA. EULALIA

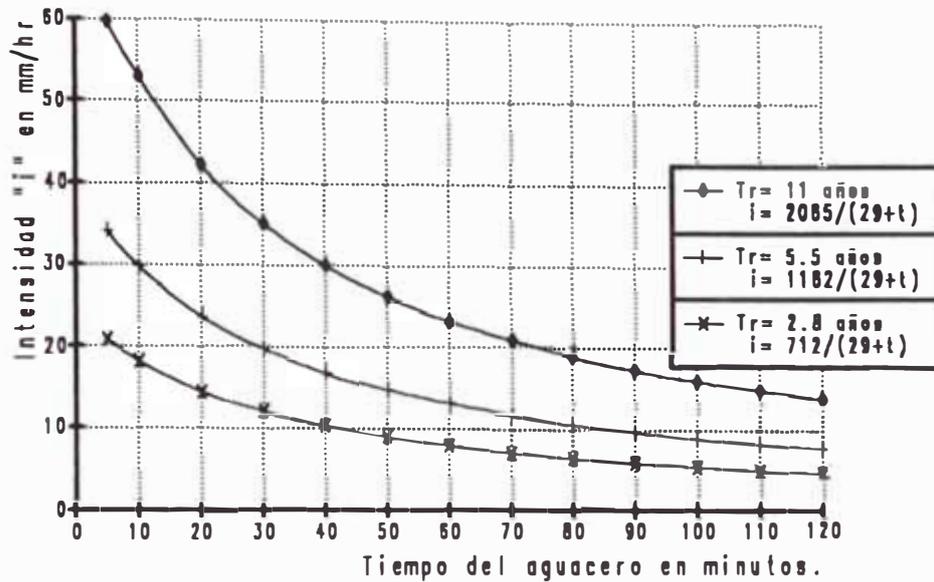
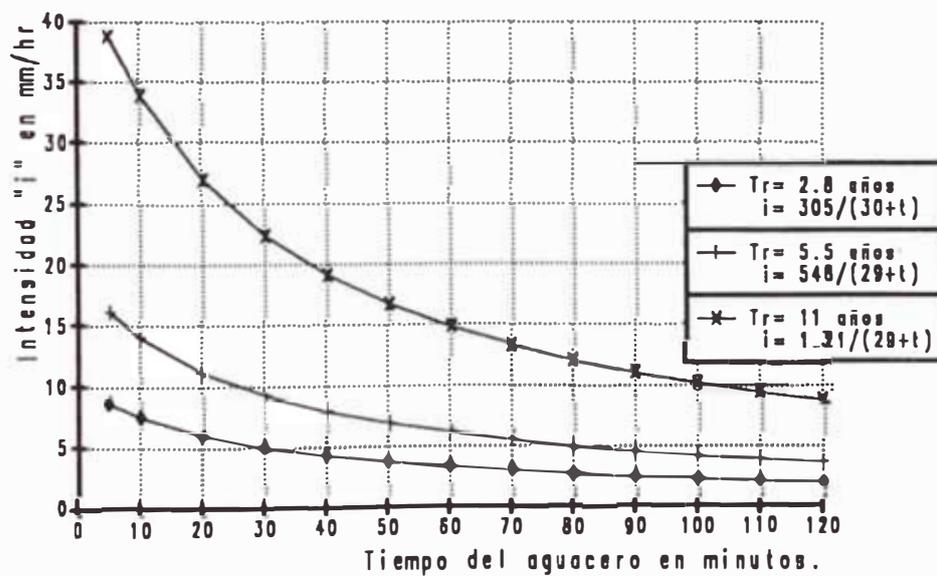


Fig. 5.11 CURVAS DE INTENSIDAD-DURACION-FRECUENCIA PARA LA ESTACION AUTISHA



Comparando los gráficos 5.10 y 5.11, de intensidad-duración-frecuencia, la familia de curvas correspondientes de la estación Santa Eulalia dan resultados de intensidad más altos para la misma frecuencia y tiempo de duración, mientras que la estación de autisha dá valores menores pero poco confiables debido al periodo de registros pluviometricos existentes (1980 - 1989; ver anexos).

En tal sentido solo evaluamos la familia de curvas correspondientes a la estación de Santa Eulalia (fig. 5.12 y 5.13), con diferentes períodos de retornos y para un tiempo de tormenta de duración de 60 minutos (1 hora), la cual es capaz de saturar los depósitos aluvionales existentes en las quebradas de Chosica y provocar los huaycos. Obteniéndose los siguientes valores de intensidades:

$i = 2.00$ mm/hora; $Tr = 1$ vez cada año.

$i = 5.70$ mm/hora; $Tr = 1$ vez cada 2 años.

$i = 8.00$ mm/hora; $Tr = 1$ vez cada 3 años.

$i = 10.10$ mm/hora; $Tr = 1$ vez cada 4 años.

$i = 13.06$ mm/hora; $Tr = 1$ vez cada 6 años.

$i = 22.60$ mm/hora; $Tr = 1$ vez cada 11 años.

Fig. 5.12 CURVAS DE INTENSIDAD-DURACION-FRECUENCIA PARA LA ESTACION STA. EULALIA

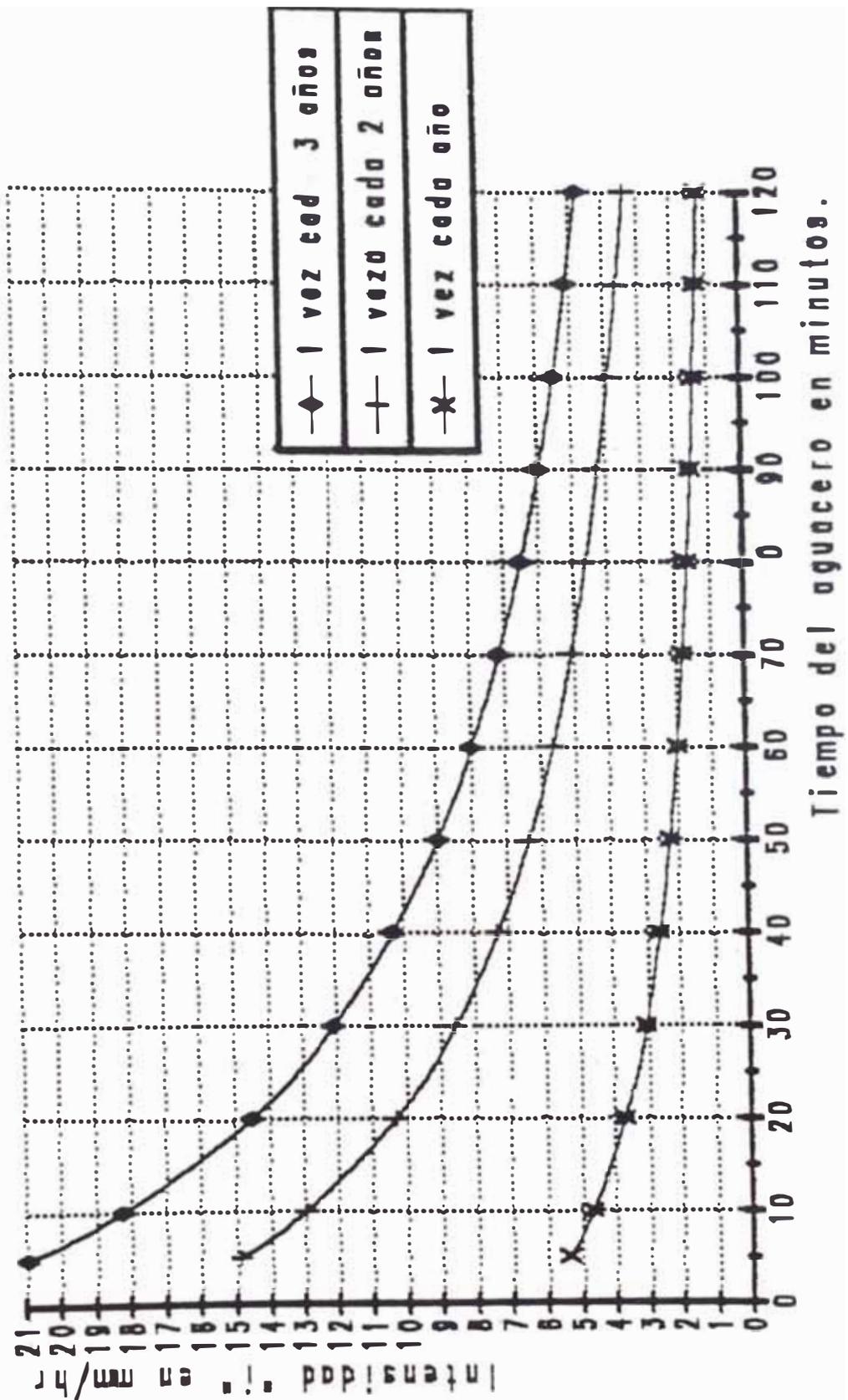
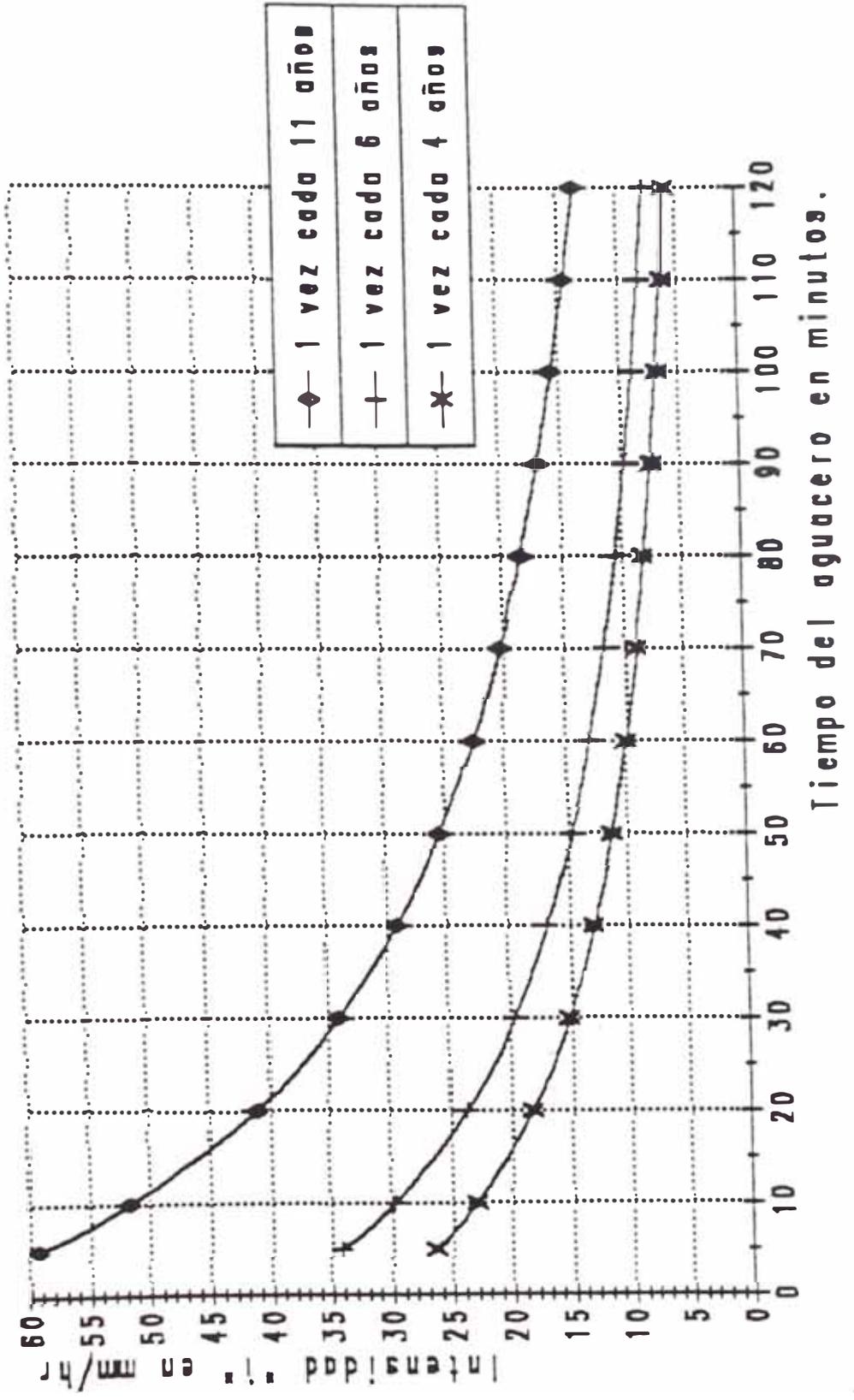


Fig. 5.13 CURVAS DE INTENSIDAD-DURACION-FRECUENCIA
 PARA LA ESTACION STA. EULALIA



Comparemos estos valores de la intensidad, con los valores estimados por diferentes Instituciones e investigadores, que estudiaron los fenómenos ocurridos en los años 1985, 1987 y 1989, los cuales se basaron sólo en el reconocimiento de campo y a las encuestas realizadas a los afectados y pobladores.

REFERENCIA	PARAMETROS	
	i (mm/hr)	t (hr)
- PREDES 1985	18	
- SENAMHI 1987	10	1.0
- PREDES-MARTINEZ 1988	10	1.0
- H. O'connor 1988	15	1.0

Se observa que estos valores estimados se encuentran cercanos al valor encontrado de $i = 13.06$ mm/h, el cual sí cuenta con un fundamento hidrológico y estadístico, que nos daría una respuesta muy cercana a la realidad de estas precipitaciones intensas, factor principal para la generación de huaycos.

De acuerdo a lo mencionado en un inicio, y de los resultados obtenidos es **muy probable que se presente por lo menos un huayco una vez cada 5 ó 6 años en la zona de Chosica y Santa Eulalia**, Este resultado corresponde a la curva de intensidad-duración-frecuencia de la estación de Santa Eulalia, que tiene la siguiente ecuación matemática:

$$i = \frac{1162}{29 + t}, \quad \text{para } Tr = 5.5 \text{ años}$$

Esta ecuación encontrada es muy importante para el estudio y diseño de drenes, badenes y demas estructuras evacuadoras de las precipitaciones pluviales.

5.2.6. METEOROLOGIA

Desde el punto de vista meteorológico, las precipitaciones que se han presentado en la zona de estudio y en general en la parte baja de la cuenca del río Rímac, al parecer tiene relación con las siguientes condiciones:

1.- Intercambio de masa de nubes cargadas de humedad provenientes de la cuenca Amazónica, que se enfrían al cruzar los andes a altitudes elevadas y que al encontrarse con nubes más calientes del Pacífico producen frentes de alta precipitación.

2.- Desplazamiento hacia el sur de las aguas superficiales y cálidas de la región ecuatorial tropical del Océano Pacífico, fenómeno conocido como el "NIÑO":

Estas precipitaciones tienen las características de ser localizadas y de duración y magnitud variable, pudiendo ser muy intensas en algunas áreas y muy leves en otras como en las zonas bajas de la cuenca del río Rímac, esto se prueba por la presencia de huaycos en las quebradas aledañas de los distritos de la Molina y Comas ocurrido en 1970, alarmando a sus pobladores. Esto evidencia que también los huaycos se producen en las costas, con sólo la presencia de un desequilibrio hidrológico generalmente por intensas precipitaciones pluviales y que podría volver en un futuro próximo a repetirse en Lima, debido a que el planeta está atravesando por un efecto de invernadero sumado a la contaminación ambiental y demás factores ecológicos que originarían un desequilibrio climático en diferentes partes del mundo.

5.2.7. SISMOLOGIA

Para la zona de estudio no se tiene ninguna información detallada de intensidades de sismos destructores con epicentros cercanos al área de influencia de Chosica. Los estudios sísmicos para la región Occidental del Perú, indican que para un período de recurrencia de 100 años y con una probabilidad del 63%, la aceleración máxima no excede los 470 gals, Es decir que pueden esperarse intensidades de IX a X en la escala de Mercali Modificada y atenuadas entre VII a VIII para los alrededores de Chosica, lo cuál significaría que podrían ocurrir desprendimientos y caídas de material suelto ubicadas en las laderas laterales de las quebradas, aunque de menor volúmen que las transportadas por los huaycos.

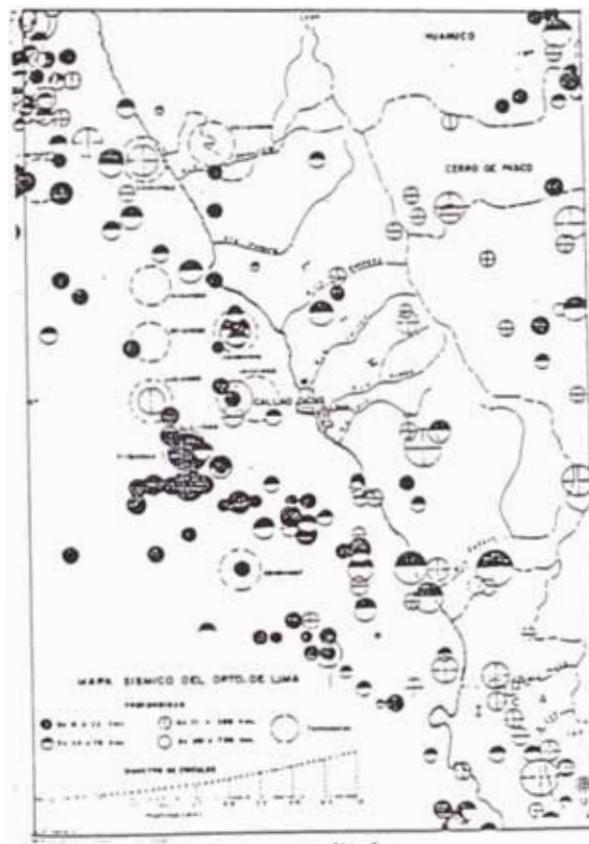
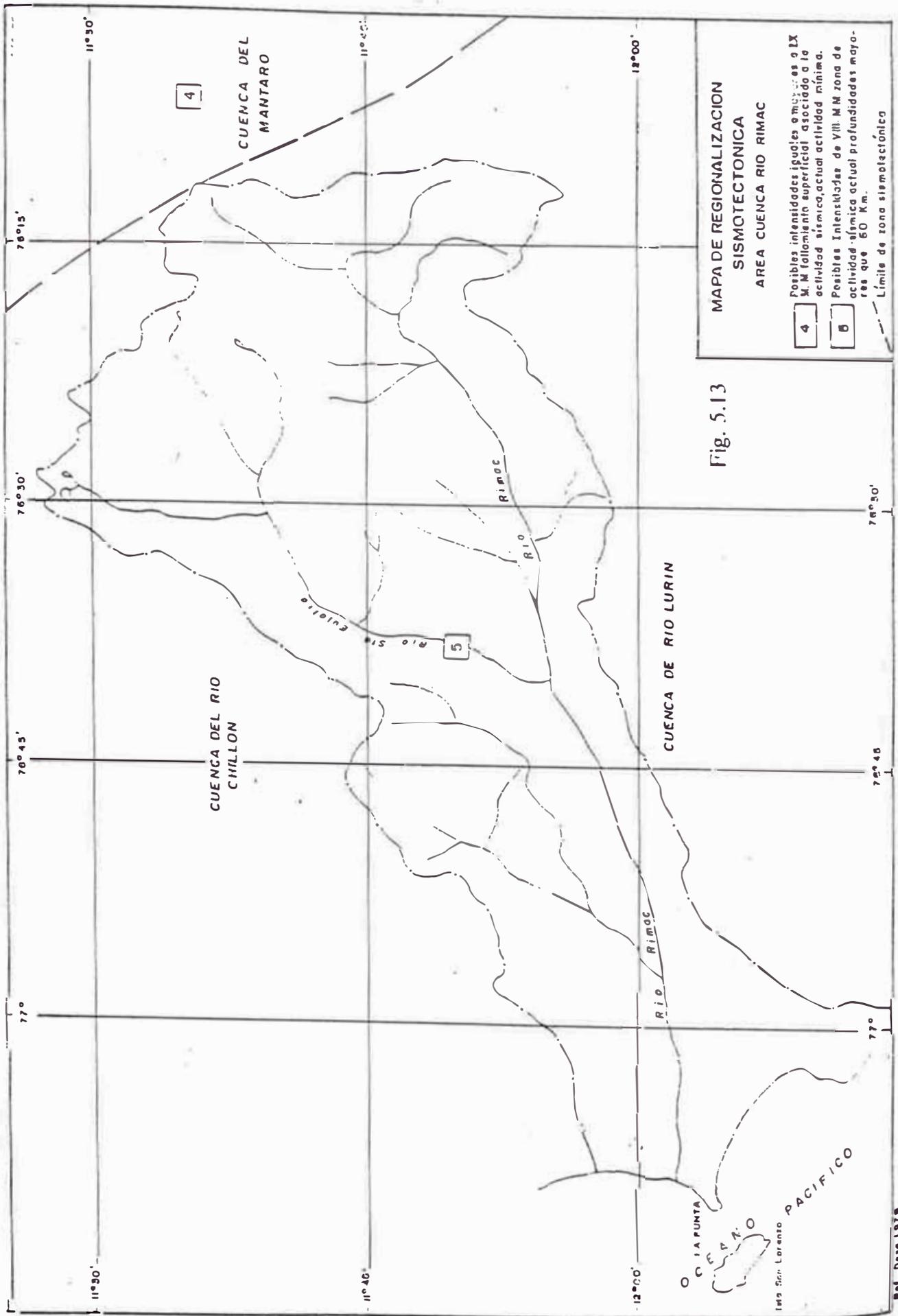


Fig. 5.12



CAPITULO VI: LINEAMIENTOS PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA DE DRENAJE PARA LA SUBCUENCA EL PEDREGAL

La experiencia recogida del trabajo de nueve años de terraceo, publicado y titulado "Sistema de Terrazas de Plataforma Constante" obtenidas en la Sierra Rosario, provincia del Pinar del Río en Cuba, el trabajo publicado "El control de las inundaciones" por Felipe Salgado en México, las experiencias desarrolladas por algunos países como, la Unión Soviética, Bulgaria, España, Argelia, Suiza, etc.; nos ha permitido visualizar y plantear el "Método de Corrección del drenaje" que ofrecemos como una solución para resolver la problemática de los huaycos y la erosión en la cuenca el Pedregal de Chosica.

Un aspecto de interés del presente trabajo, puede constituir el aporte que representa para el diseño de metodologías más adecuadas para el estudio y control de huaycos en nuestro país, ya que la bibliografía existente es muy limitada.

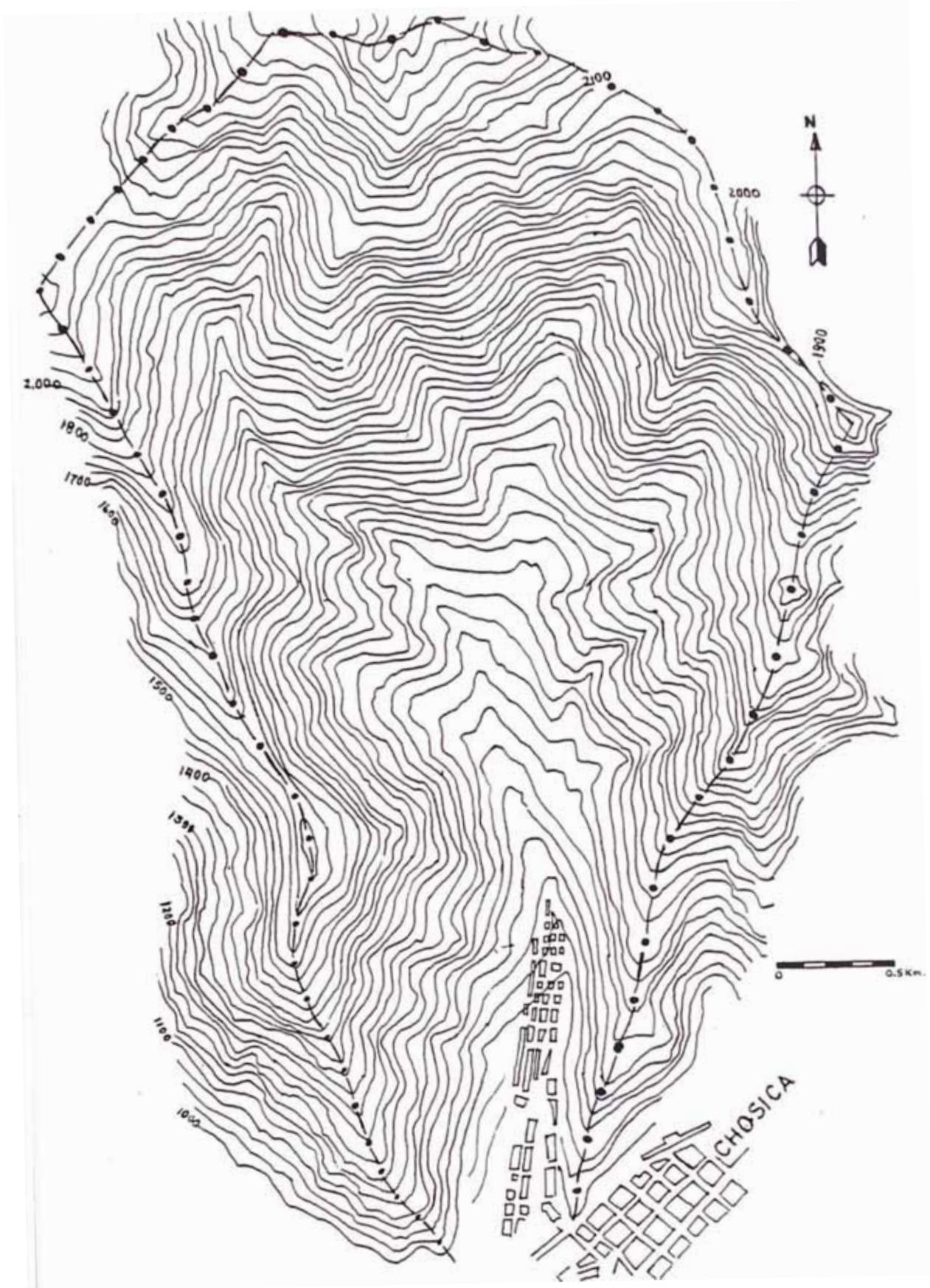
6.1. ANTEPROYECTO

Se define el anteproyecto del sistema de corrección del drenaje para evitar los huaycos de la subcuenca el Pedregal, a los lineamientos preliminares basados en planos y observaciones directas de la zona, los cuales aportaran los datos necesarios para la proyección de los trabajos futuros y la confección del proyecto definitivo. Todos estos estudios se presentan en esta tesis como parte del anteproyecto que contienen dos partes: planos e información; para luego plantear los lineamientos de diseño.

6.1.1 PLANOS

La falta de información topográfica y de aerofotografías de escala más detallada de la sub-cuenca San Antonio del pedregal, concuerda con los requerimientos de este primer estudio a nivel de anteproyecto. El estudio se realiza en base a un mapa a escala 1:12,500, con sus correspondientes textos explicativos.

Plano topográfico.- El plano topográfico (fig. 6.1.) es fundamental en la aplicación de esta metodología, porque de ello depende el tipo de drenaje y de sus dimensiones geométricas. La topografía que presenta la sub-cuenca el pedregal, nos indica el tipo más adecuado de drenaje, es decir, mediante la determinación del **plano de pendientes características** (fig. 6.2.b), y el tipo de suelo que predominan en una zona podemos construir terrazas de drenaje o canales de drenaje; asimismo la topografía de la cuenca nos revela las salidas naturales o desagües para el drenaje del agua y también las zonas de represamiento o embalse.



PLANO TOPOGRAFICO DE LA CUENCA PEDREGAL

Fig. 6.1

La pendiente promedio o característica se calcula de la siguiente manera:

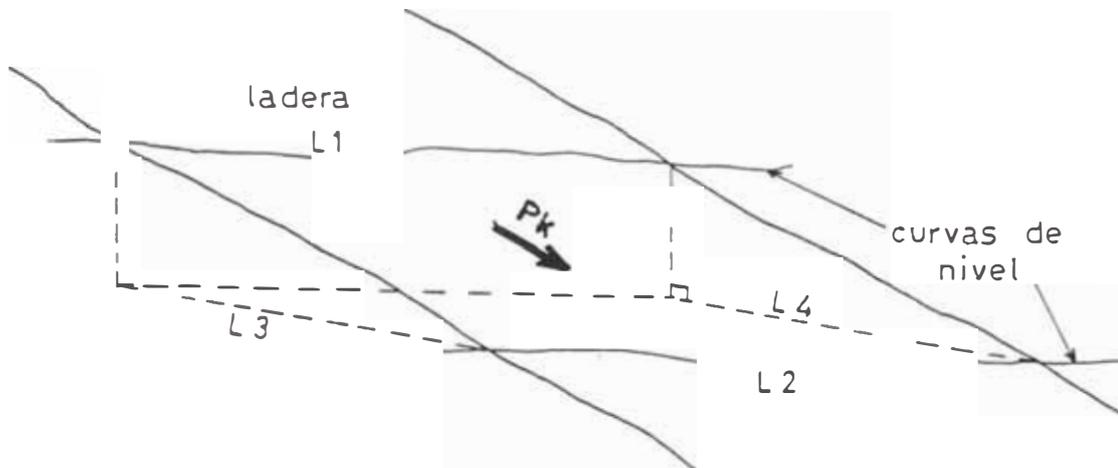


Fig. 6.2 (a) Esquema para la determinación de la pendiente característica

Ev = Equidistancia de las curvas de nivel
 L = Longitud
 A = Area

$$P_k = \frac{E L}{A}$$

del gráfico:

$$P_{k1} = \frac{E_v (L_1 + L_2)/2}{L_4 (L_1 + L_2)/2} = \frac{E_v}{L_4}$$

$$P_{k2} = \frac{E_v (L_1 + L_2)/2}{L_3 (L_1 + L_2)/2} = \frac{E_v}{L_3}$$

Entonces:

$$\bar{P}_K = \frac{P_{k1} + P_{k2}}{2} = \frac{E_v}{2 L_4 L_3} (L_3 + L_4)$$

Cabe mencionar que para pendientes mayores del 60%, en donde es complicado el drenaje por medio de terrazas, es necesario requerir soluciones especiales como los canales con terraplenes de enrocado estudiado anteriormente. Este plano se complementa con la red hidrográfica de la cuenca, en la cual se muestra los principales cursos del escurrimiento superficial, dividida en áreas o cuencas elementales más pequeñas cuyos límites están definidos por el concepto de cuencas naturales presentado en el capítulo IV.

Plano de vegetación (fig. 6.3), en este plano se zonifican las condiciones actuales de vegetación de la cuenca, clasificándola en densa, poca, escasa y sin vegetación, con la finalidad de poder ampliar su forestación en zonas desérticas.

Plano de suelos (fig. 6.4), aquí se definen las características más generales de los suelos que conforman la cuenca como son: el rocoso y el aluvial (arenolimoso).

6.1.3. INFORMACION:

En esta parte se recopilan los datos más generales correspondientes a la cuenca de estudio como son: datos geológicos, hidrológicos, geomorfológicos, geodinámicos, sísmicos, etc., con la finalidad de analizar las características del sistema de drenaje (capítulo V).

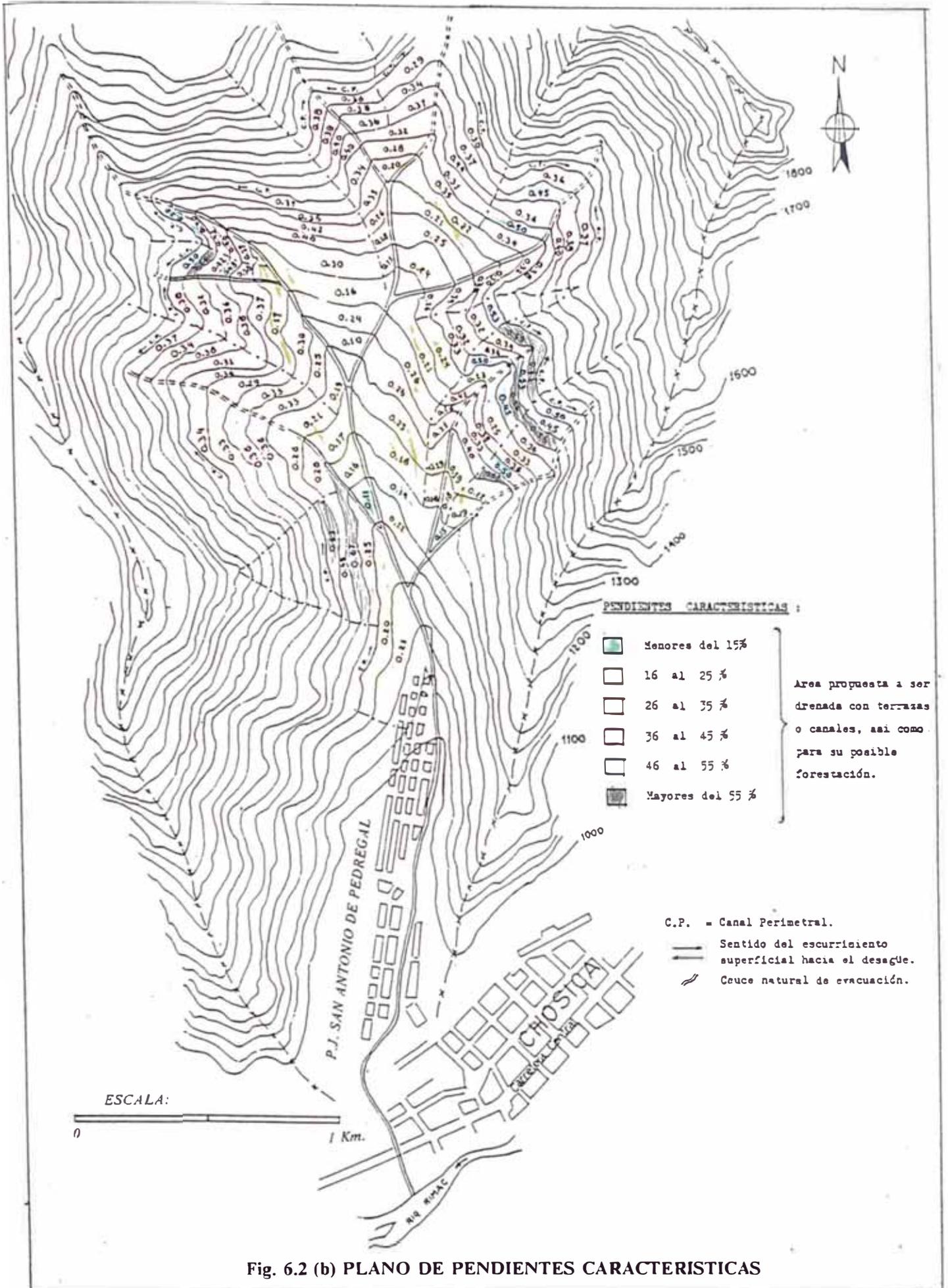


Fig. 6.2 (b) PLANO DE PENDIENTES CARACTERISTICAS

Fig. 6.3 **PLANO DE VEGETACION DEL PEDREGAL**

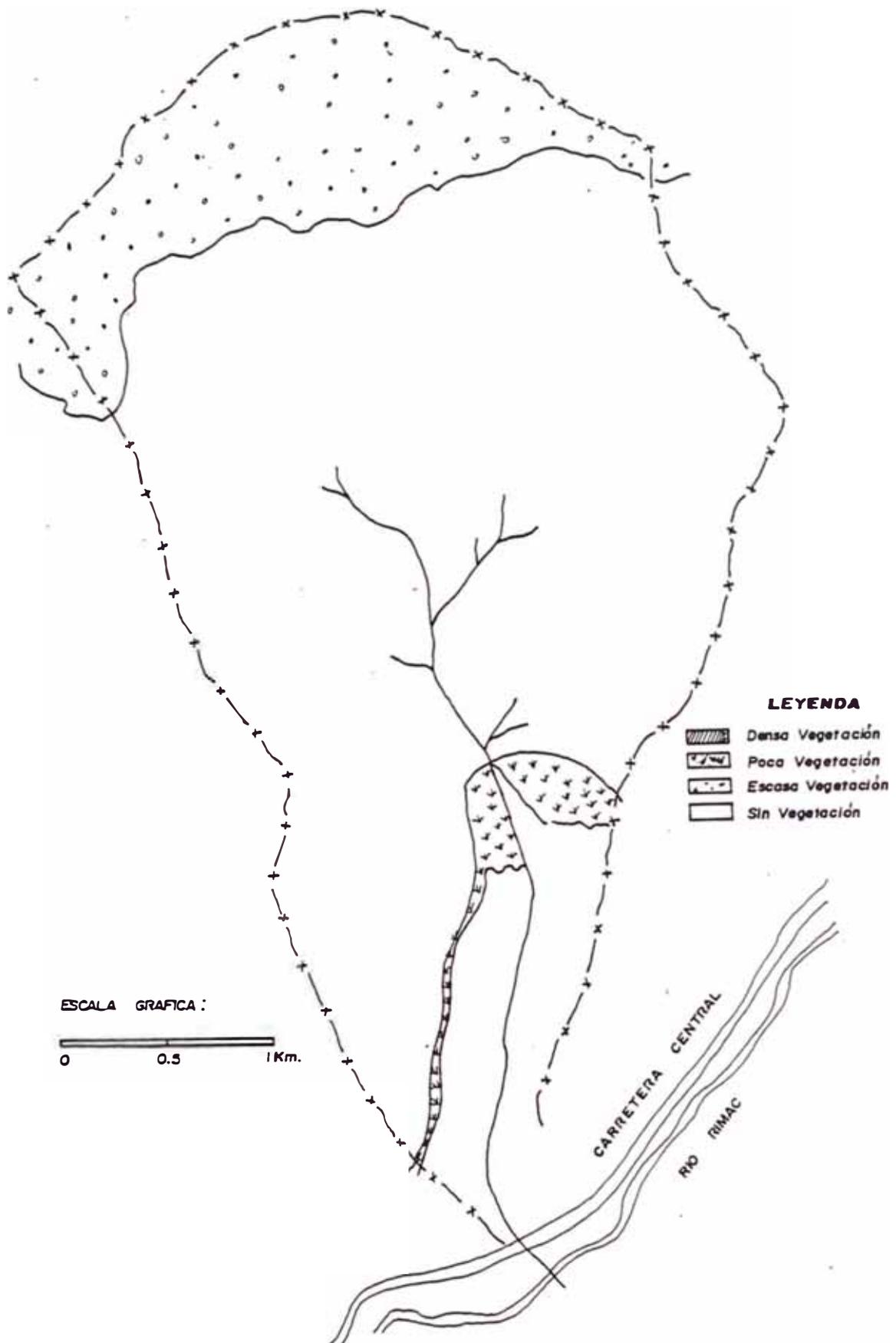
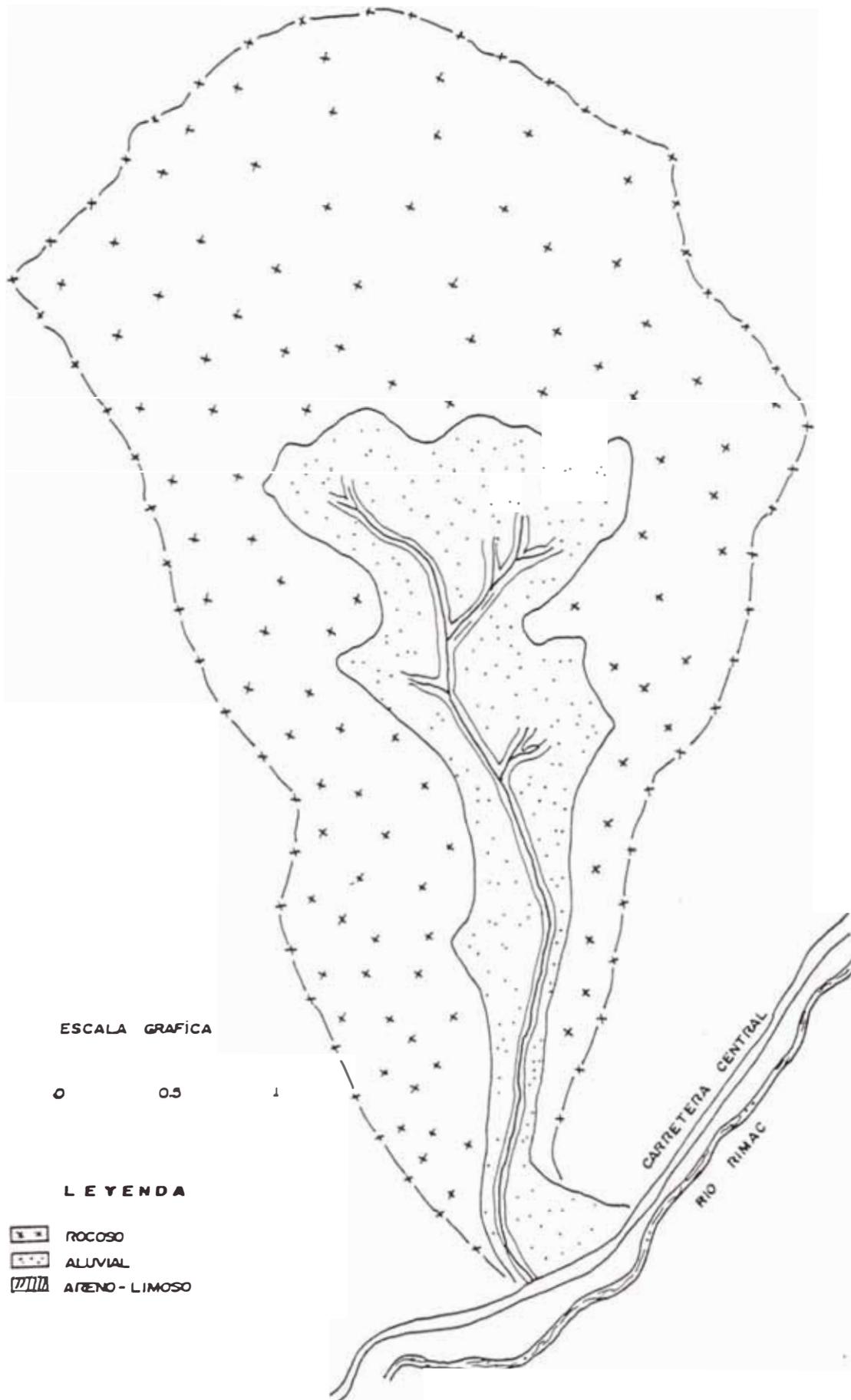


Fig. 6.4 PLANO DE SUELOS DEL PEDREGAL



6.2. LINEAMIENTOS PARA EL DISEÑO

Siendo el estudio de carácter específico, se ha preferido plantear los lineamientos para el diseño del sistema de corrección del drenaje para evitar los huaycos como parte del anteproyecto. En este sentido están comprendidos la determinación de los posibles drenes perimetrales así como también de los drenes intermedios y de las soluciones y estructuras complementarias del sistema de drenaje que en su conjunto lograrán su objetivo.

Es así que para la subcuenca San Antonio del pedregal se recomienda construir terrazas de drenaje en la parte aluvional de la quebrada y canales de terraplén en las partes coluviales y laderas de fuerte pendiente. Se podrá observar que en ciertas zonas se podría recurrir a la solución del canal terraplén de drenaje, en donde el terraplén debe tener las debidas condiciones de estabilidad e impermeabilidad, necesitando una consolidación natural o artificial. La primera se obtiene con el tiempo y la segunda exige apisonamiento a mano o mecánico.

El canal a media ladera participa en parte de las ventajas de la solución en desmonte y de los inconvenientes de la del terraplén. Cuando la ladera tenga una inclinación muy fuerte y la formación del terraplén lateral requiera mucho volumen, y hubiese además, peligro de desplazamiento, se sustituye la zona de terraplén por pequeños muros de contención tipo pirca.

El método de corrección del drenaje es aplicable a casi la mayor parte de las cuencas y sistemas montañosos del país, teniendo en cuenta para ello la influencia que pueden ejercer las condiciones particulares de la región: topografía, vegetación, suelos, clima, etc.; parámetros de diseño de los drenes. Para esto es necesario conocer las condiciones citadas en la aplicación de esta disciplina.

6.3. EVALUACION DEL ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL

El escurrimiento superficial es la porción de lluvia que corre por la superficie del terreno después que esté se ha saturado, y se abre paso hasta el cauce más cercano.

Para calcular el escurrimiento superficial se utiliza la fórmula recomendada para las cuencas pequeñas, conocida como la fórmula racional o de RAMSER:

$$Q = C I A$$

que llevada al sistema métrico decimal es:

$$Q = 0.000278 C I A \quad \dots (6.1)$$

donde:

Q = Corriente máxima de escurrimiento superficial en litros/seg.

C = Coeficiente de escurrimiento que representa la relación del ritmo de precipitación al ritmo de escurrimiento.

I = Intensidad máxima de las precipitaciones en mm/hora.

A = Area de la cuenca en m²

La fórmula racional se usa para diseñar drenes de tormenta, alcantarillas y otras estructuras evacuadoras de aguas de escorrentía. Por lo tanto es aplicable al estudio del drenaje de la cuenca el Pedregal, para la lucha contra los huaycos.

En la concepción de la fórmula racional se aceptan dos hipótesis importantes: que la precipitación ocurre con una intensidad uniforme durante un tiempo igual o mayor que el tiempo de concentración, y que la intensidad de la precipitación es uniforme sobre toda el área de la cuenca. Estas premisas no son exactamente válidas, por lo que el uso del método se debe limitar a áreas pequeñas. El área límite de aplicación depende mucho de la pendiente, de la naturaleza de la superficie, de la forma de la cuenca y de la precisión exigida.

6.3.1. DETERMINACION DEL COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO (C)

El coeficiente C varía de acuerdo a las distintas características de las cuencas: pendiente, vegetación, tipo de suelo y composición del área de la cuenca, entre las fundamentales.

Debido a la variabilidad de estas características dentro de una misma cuenca solo es posible la determinación de C, considerando en ellas características promedio que darán valores promedios de C, que pueden ponderarse de acuerdo al área en que predominan dichas características.

Tabla 6.1. Tabla de Puntaje para la obtención del Coeficiente de escorrentía (Servicio de Conservación de Suelos S.C.S.)

CARACTERÍSTICA DE LA CUENCA	CARACTERÍSTICAS PRODUCTORAS DE LA ESCORRENTÍA Y SUS CORRESPONDIENTES VALORES NUMÉRICOS			
	EXTREMO	ALTO	NORMAL	BAJO
RELIEVE	Terreno escarpado y empinado con pendientes mayores del 30%. Puntos.....40	Accidentado, con pendientes promedio del 10% al 30%. Puntos.....30	Ondulado con pendientes promedio del 5% al 10%. Puntos.....20	Relativamente plano con promedio del 5% al 10%. Puntos.....10
INFILTRACION	Sin una capa efectiva de suelo, terreno rocoso de insignificante capacidad de infiltración. Puntos.....20	Lentos para absorber el agua arcilla u otro suelo de baja capacidad de infiltración. Puntos.....15	Normal, franco profundo con infiltración similar a suelos típicos de praderas Puntos.....10	Alto, Arena u otro suelo que absorbe el agua fácil y rápidamente Puntos..... 5
COBERTURA VEGETAL	Terreno desnudo o sin cobertura vegetal. Puntos.....20	Cobertura regular, cultivos limpios o natural pobre. Menos del 10% del área bajo buena cobertura. Puntos.....15	Regular a buena, cerca del 50% del área con pastos, bosques o no más del 50% de cultivos limpios Puntos.....10	Excelente, cerca del 90% del área con buenos pastales bosques o cobertura vegetal Puntos..... 5
ALMACENAMIENTO SUPERFICIAL	Casi sin dispersiones, pozas poco profundas, desagües pequeños y empinados, no hay lagunas o pantanos. Puntos.....20	Bajo, sistemas bien definidos de pequeños desagües, no hay lagunas o pantanos. Puntos.....15	Normal: Considerable almacenamiento en depresiones, lagunas y pantanos menores del 2% del área Puntos.....10	Alto almacenamiento en depresiones superficiales, drenaje no bien definido; lagunas y pantanos Puntos..... 5

Para la obtención del coeficiente de escurrimiento a utilizar en la cuenca el Pedregal, se hace un análisis de los factores que intervienen, considerando que éstos se repiten en todas las secciones a lo largo del dren (canal o terraza).

Para estas características y haciendo uso de la tabla elaborada por el Servicio de Conservación de Suelos (S.C.S.). El coeficiente de escorrentia se obtiene de un promedio de las condiciones de la cuenca y varían de 0 a 100.

De la tabla 6.1. se obtiene:

Relieve	= 40 puntos
Infiltración	= 5 puntos
Vegetación	= 20 puntos
Almacenamiento	= 15 puntos

Total	= 80 puntos

Entonces: $C = 80 / 100 = 0.80$

6.3.2. DETERMINACION DE LAS INTENSIDADES MAXIMAS DE PRECIPITACION (I)

Este valor se obtiene de las curvas de intensidad-frecuencia-duración, de la zona a la que se aplica el sistema de drenaje. Para toda la ciudad de Chosica y en particular para la quebrada el Pedregal se han confeccionado dichas curvas y se han ajustado matemáticamente determinándose su ecuación en el capítulo V (5.2.5. Hidrología).

Para hacer uso de estas curvas es necesario introducir el concepto de período de diseño. Desde el punto de vista de los cálculos hidrológicos se entiende por

período de diseño, el tiempo en años para el cual se proyecta una obra en el que se supone estadísticamente, que no va a ser sobrepasada en más de una vez la lluvia que se está calculando. Pero este concepto es variado en el sistema de drenaje, por que el objetivo fundamental es evitar la ocurrencia del huayco o flujo de barro y piedras, por lo tanto el período de diseño estará determinado por el tiempo de ocurrencia de precipitaciones intensas el cual es el agente dinámico para la generación de los huaycos. Debe notarse que este concepto es aplicado al cálculo hidráulico de los drenes que evitarán que se produzca un huayco y más no a la vida útil de las mismas.

De acuerdo con lo explicado y con los registros de estos fenómenos ocurridos en la ciudad de Chosica (Cap. V), la curva que interesa para determinar la intensidad máxima de las precipitaciones será la de la frecuencia igual a la ocurrencia de un huayco una vez cada 5 años aproximadamente, y cuya ecuación de la curva de intensidad-frecuencia-duración es la siguiente:

$$I = \frac{1162}{29 + t_d} \quad 5 < t_d < 120 \quad \dots(6.2)$$

donde:

t_d = Es el tiempo de duración de la lluvia en minutos.

I = Intensidad en mm/hora.

La condición de gasto máximo en el desagüe de la cuenca ocurre cuando el tiempo de duración de la lluvia es igual o mayor al tiempo de concentración (t_d) de la cuenca para el punto considerado. Es por esto que en la ecuación anterior se sustituye " t_d " por " t_c " con lo que obtenemos:

$$I = \frac{1162}{29 + t_c}$$

Para determinar el valor de t_c de la cuenca, debe observarse que el punto más alejado de la misma al desagüe hay dos distancias características muy diferentes. En la faja rocosa natural, el agua escurre sobre la superficie de pendiente muy fuerte alcanzando una gran velocidad. Se ha asumido que la velocidad de escurrimiento de la lámina de agua para esta faja es de 3 m/seg., (180 metros/minuto), y para una faja de suelo aluvional se ha asumido una velocidad de escurrimiento de 1.5 m/seg., de manera que el tiempo de concentración para la misma aplicando la ecuación del movimiento uniforme de una partícula es:

ZONA ROCOSA

$$t_f = \frac{H_f}{180 P_k}$$

ZONA ALUVIONAL

$$t_f = \frac{H_f}{90 P_k}$$

donde: H_f = Altura de la faja en metros.

t_f = Tiempo de escurrimiento en la faja, en minutos.

En el otro caso el agua discurre a lo largo del canal. Para hacer el cálculo sencillo pero confiable, puede asumirse que la velocidad promedio en toda la longitud es de 2/3 del valor máximo en roca dura (3 m/seg.; asimismo se recomienda que la velocidad máxima del agua segura contra la erosión es de 0.85 m/seg. en suelos arenosos limosos arcillosos, y tomando los 2/3 de 0.85 obtenemos aproximadamente una velocidad de 0.60 m/seg.

ZONA ROCOSA: $V_r = 2/3(3.00) = 2 \text{ m/s} = 120 \text{ mt/minuto}$

ZONA ALUVIONAL: $V_a = 2/3(0.85) = 0.60 \text{ m/s} = 36 \text{ mt/minuto}$

De esta manera, se puede aplicar para calcular el tiempo de concentración la ecuación del movimiento uniforme de una partícula: $t_c = L / V$.

ZONA ROCOSA	ZONA ALUVIONAL
$T_c = \frac{L}{120}$	$T_c = \frac{L}{36}$

estando L en metros y Tc en minutos.

Sumando los dos tiempos de concentración calculados se tiene:

ZONA ROCOSA	ZONA ALUVIONAL
$T_c = \frac{H_f}{180 Pk} + \frac{L}{120}$	$T_c = \frac{H_f}{90 Pk} + \frac{L}{36}$

La ecuación de la curva de intensidad-duración-frecuencia, puede escribirse ahora:

ZONA ROCOSA	ZONA ALUVIONAL
$I = \frac{1162}{29 + (H_f/(180Pk) + L/120)}$	$I = \frac{1162}{29 + (H_f/(90Pk) + L/36)}$

Transformando los términos se obtiene:

ZONA ROCOSA	
$I = \frac{1162}{29 + (12 H_f + 18 L Pk) / (2160 Pk)}$... (6.3)

ZONA ALUVIONAL

$$I = \frac{1162}{29 + (36 H_f + 90 L P_k) / (3240 P_k)} \quad \dots (6.4)$$

Como se observa en las fórmulas anteriores, la intensidad que debe considerarse en los cálculos esta en función de la altura de la faja característica (H_f), pendiente (P_k) y longitud del canal (L).

6.3.3. AREA DE LA CUENCA ELEMENTAL

En el sistema de drenaje, la cuenca elemental es el área que contiene un tramo de suelo, comprendido entre los bordes exteriores de dos tipos de drenes consecutivos, el partidor del dren definido por el punto más alto de su perfil y que coincide con el partidor natural del terreno y la cañada correspondiente (figs. 6.5 y 6.6). La agrupación de cuencas elementales que tributan a una misma cañada de drenaje determinan la cuenca simple.

La cuenca que comprende una o más cuencas simples se denomina cuenca compleja. A la cañada de drenaje de una cuenca compleja, además de tributar las cuencas simples, se incorpora el escurrimiento de las cuencas elementales adyacentes. Entonces el área de la cuenca elemental correspondiente a la faja será: (fig. 6.7).

$$A_c = E_h L$$

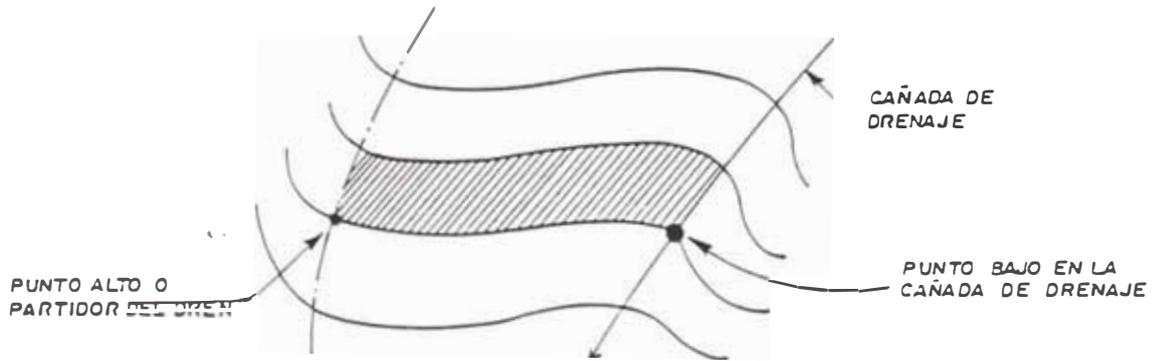


Fig. 6.5 Cuenca elemental

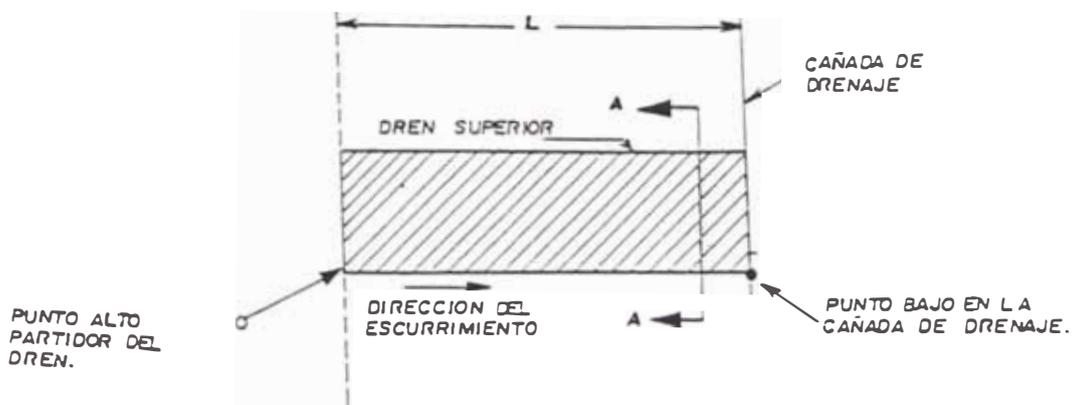


Fig. 6.6 Idealización de la cuenca elemental

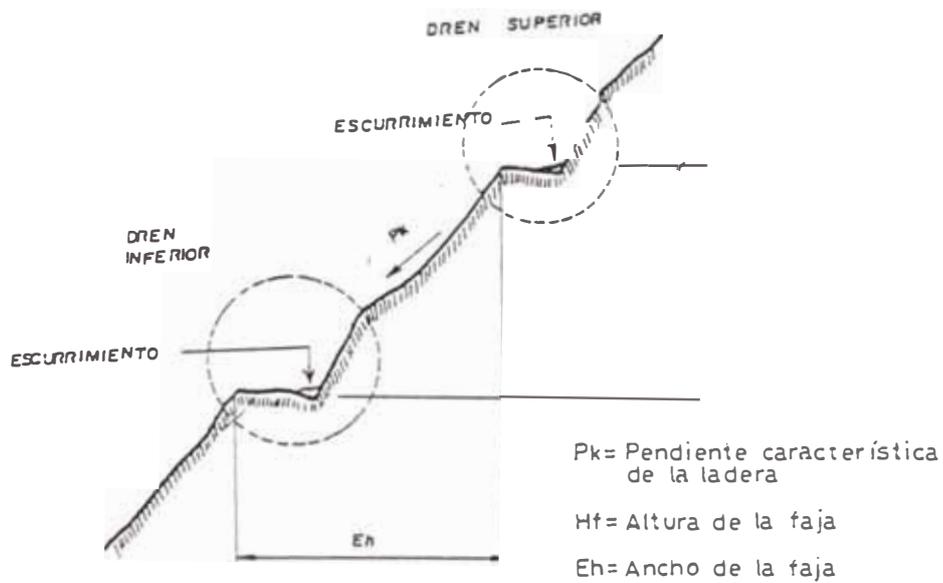


Fig. 6.7 Perfil de la cuenca elemental (Sección A-A)

y como

$$E_h = \frac{H_f}{P_k}$$

El área de la cuenca puede expresarse como sigue:

$$A_c = \frac{H_f L}{P_k}$$

donde "Hf" es el espaciamiento vertical de la faja, "Pk" es la pendiente característica de la cuenca elemental y "L" la longitud del canal.

6.3.4. GASTO UNITARIO

Los análisis anteriores estuvieron encaminados a la determinación de los parámetros que intervienen en la fórmula racional o de Ramser.

$$Q = 0.000278 C I A_c$$

donde: C = 0.8, para la quebrada del Pedregal.

Una vez evaluados los mismos para las condiciones de la faja, la ecuación para calcular el gasto máximo de la misma, en el punto de desagüe del canal es:

ZONA ROCOSA

$$Q = \frac{558.21 H_f L}{62,640 P_k + 12 H_f + 18 L P_k}$$

ZONA ALUVIONAL

$$Q = \frac{785.62 H_f L}{88,160 P_k + 36 H_f + 90 L P_k}$$

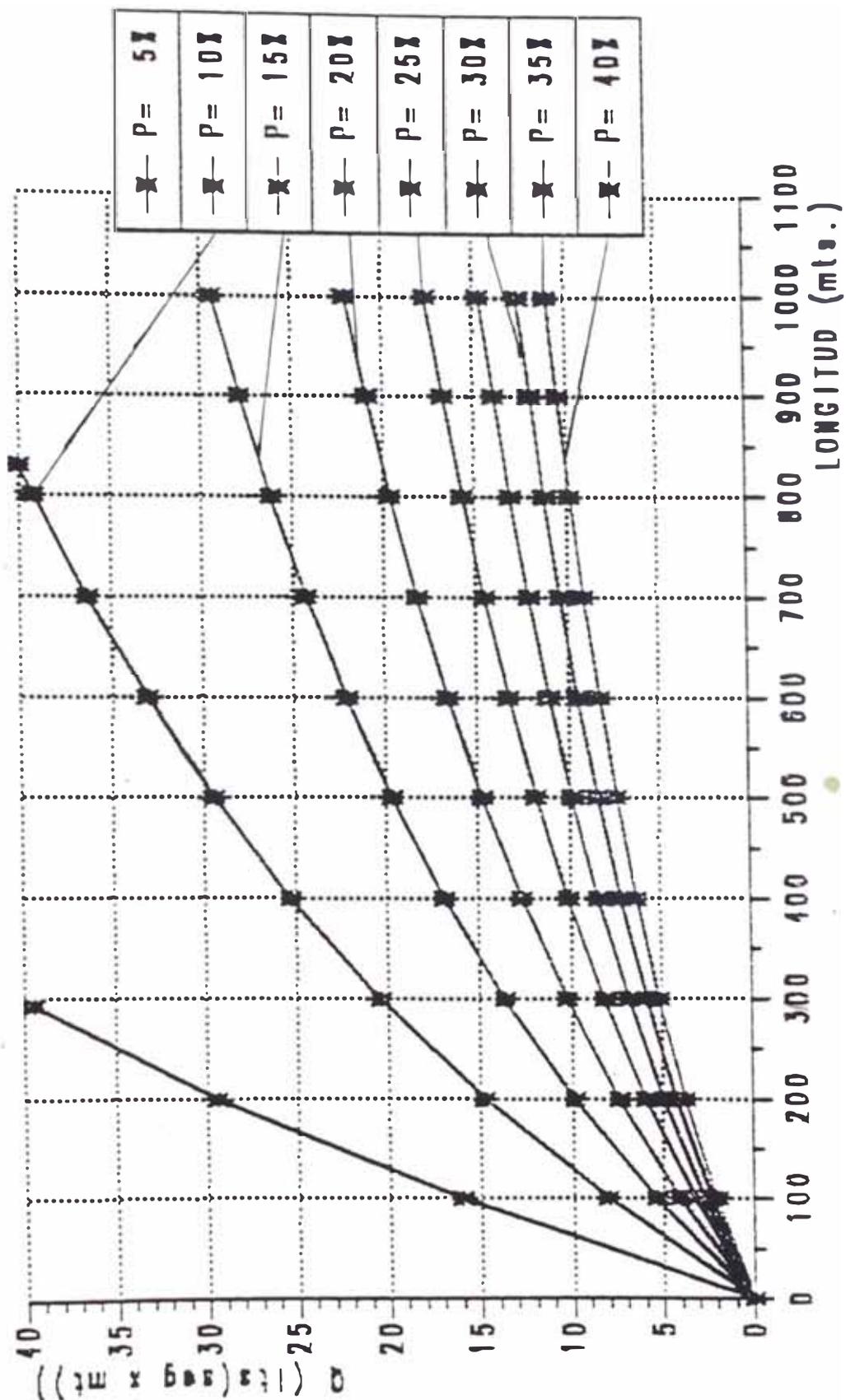
En el caso del espaciamiento vertical unitario $H_f = 1$ mt., se obtiene un gasto unitario en función de P_k y L .

$$Q\left(\frac{\text{lt/seg.}}{\text{mt}}\right) = \frac{558.21 L}{62,640 P_k + 12 + 18 L P_k} \quad \text{ZONA ROCOSA} \quad \dots (6.5)$$

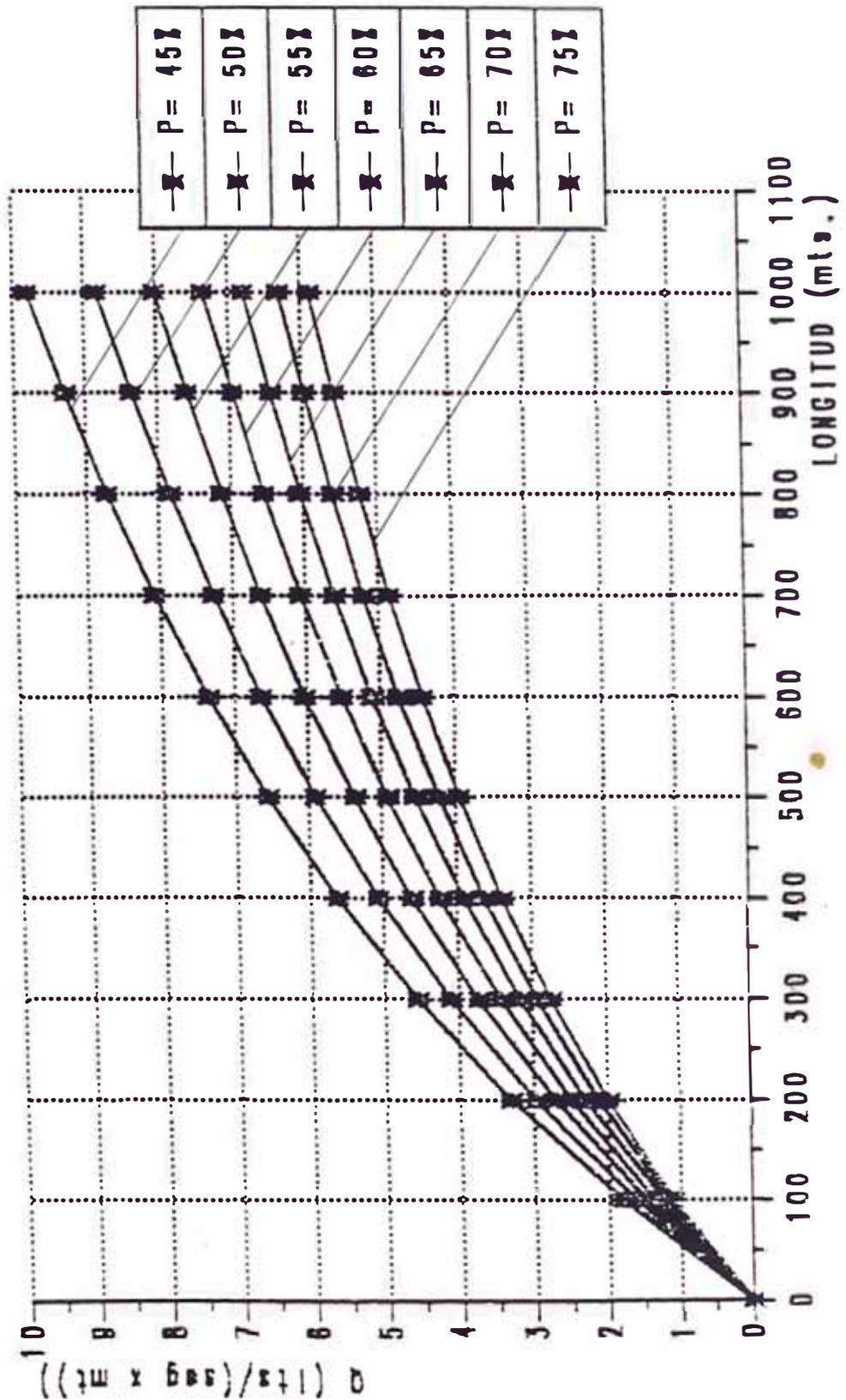
$$Q\left(\frac{\text{lt/seg.}}{\text{mt}}\right) = \frac{785.62 L}{88,160 P_k + 36 + 90 L P_k} \quad \text{ZONA ALUVIONAL} \quad \dots (6.6)$$

Con esta fórmula se confecciona un monograma como el de las figuras 6.8(a), 6.8(b) y 6.9. Para calcular el gasto en el desagüe de la cuenca elemental haciendo uso del monograma, se entra en la abcisa con la longitud del canal, y se sube por la vertical en ese punto, hasta encontrar la curva de la pendiente característica de la cuenca elemental. Desde esta intersección se lleva una horizontal hasta el eje de las ordenadas, encontrándose en éste el valor del gasto unitario, que multiplicado por el valor de H_f que se tenga en cada caso particular dará el gasto que se está calculando.

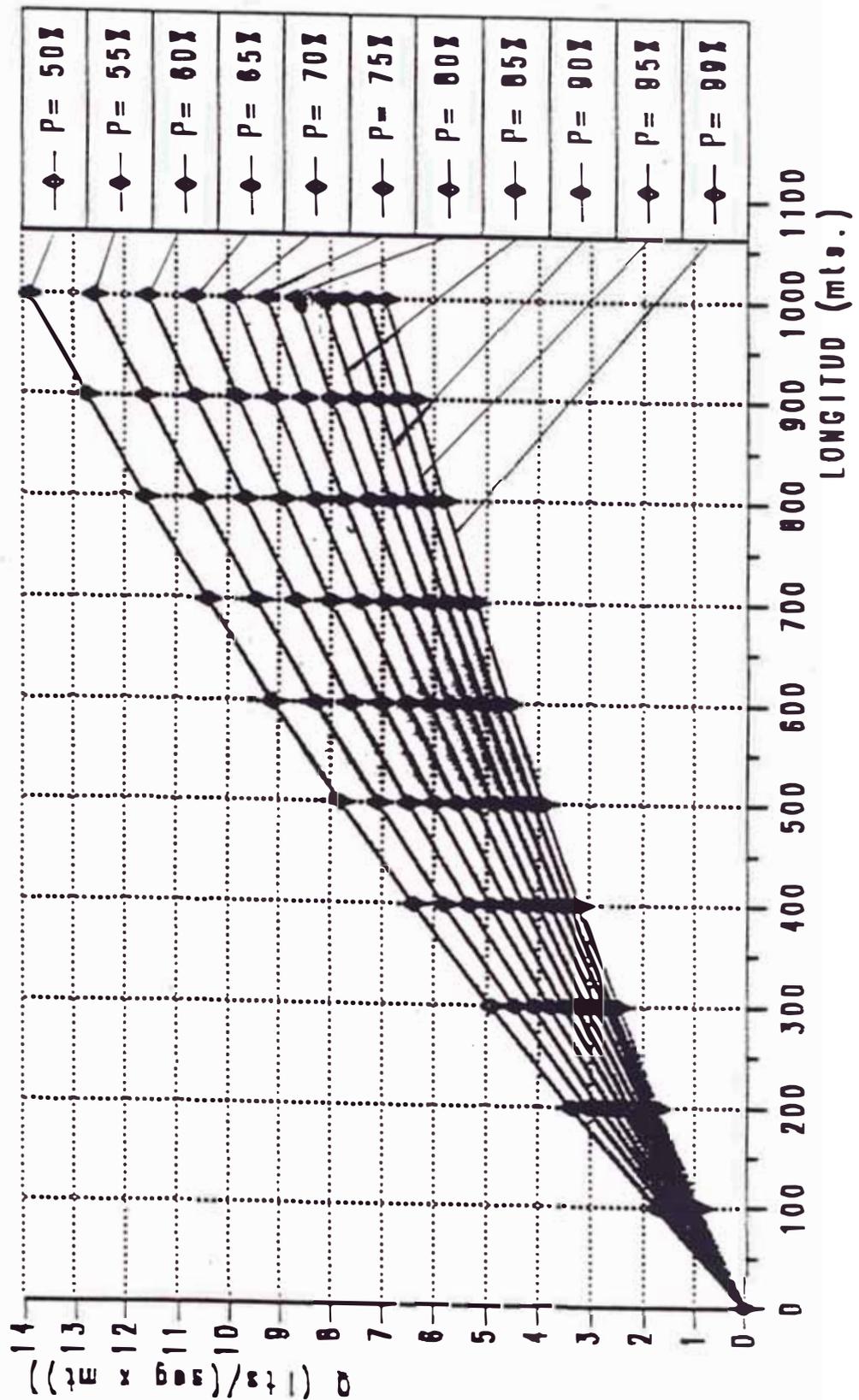
Monograma Para Calcular el Gasto Unitario
Para Suelos Aluviales del Pedregal
(fig. 6.8-a)



Monograma Para Calcular el Gasto Unitario
 Para Suelos Aluvionales del Pedregal
 (fig. 6.8-b)



Monograma Para Calcular el Gasto Unitario
 Para Zonas Rocosas del Pedregal
 (fig. 6.9)



6.3.5. PENDIENTE LONGITUDINAL

Para la evacuación de las aguas de escurrimiento producto de las precipitaciones es necesario una pendiente a lo largo del eje del dren, de manera que éste tenga un punto alto o partidor y uno bajo o desagüe.

La pendiente longitudinal debe permanecer en un rango tal que la velocidad del agua a la vez que no provoque erosión, garantice infiltraciones sin producir sedimentación ni desbordamiento. El valor de esta pendiente depende de las características del terreno, y de la sección transversal del dren.

De los distintos tipos de terreno que predominan en una cuenca debe adoptarse, para la determinación de la pendiente característica, aquel que admita el menor rango de pendientes.

En la subcuenca San Antonio de Pedregal, los terrenos predominantes están dentro de la clasificación de rocoso en las partes altas y de suelo aluvial en los pies de las laderas. Tomando para estos tipos de suelos los valores de velocidad admisible para la protección contra la erosión, obteniéndose los siguientes valores extraídos de la tabla 6.2:

Roca	Suelo aluvial
3 m/seg.	0.75 - 0.85 m/seg.

Para estos valores puede calcularse de acuerdo a Manning la pendiente longitudinal:

$$PI = \left(\frac{V n^2}{Rh^{2/3}} \right) \dots (6.7)$$

PI = Pendiente longitudinal (m/m)

Rh = Radio hidráulico (m)

V = Velocidad admisible (m/seg)

n = Coeficiente de rugosidad

Tabla 6.2. Velocidades máximas permisibles sobre la cual existe peligro de erosión

- Arena fluida ligera	0.23 - 0.30	m/seg.
- Arena suelta muy ligera	0.30 - 0.45	"
- Suelo arenoso	0.45 - 0.75	"
- Suelo aluvial, tierra vegetal	0.75 - 0.85	"
- Suelo de ceniza volcánica	0.85 - 0.90	"
- Tierra vegetal arcillosa	0.90 - 1.15	"
- Suelo arcilloso duro	1.30 - 1.50	"
- Suelo de gravas	1.50 - 1.80	"
- Conglomerado	1.80 - 2.40	"
- Roca sedimentaria suave	2.40	"
- Roca dura	3.00 - 4.50	"
- Concreto 140 kg/cm ²	3.80 - 4.40	"
- Concreto 210 Kg/cm ²	6.60 - 7.40	"

Fuente: Ing. Arturo Rossell.

En las tablas 4.1 al 4.9 (capítulo IV), se han determinado los radios hidráulicos para diferentes tipos de drenes (terrazas y canales) y en ella se observa que una vez fijada la pendiente del talud Pt, el radio hidráulico depende del valor que se

le asigne a la pendiente de la plataforma P_p y de los valores que tome la pendiente del terreno (P).

Para mantener constante la velocidad, a medida que aumenta la pendiente del terreno debe disminuirse la pendiente longitudinal, para una determinada inclinación de la plataforma del dren (P_p). En la práctica es imposible obtener estos resultados debido a la frecuencia con que cambia la pendiente a lo largo del dren. Por otro lado, este cambio continuo de la pendiente longitudinal implicaría una complicación en la construcción de las mismas. En consecuencia es necesario fijar una pendiente longitudinal mínima y constante para garantizar que no se produzca erosión ni sedimentación en el dren.

En el análisis de la fórmula 6.7, " Pl " esta en relación inversa con el radio hidráulico, el que depende directamente del terreno. Entonces para fijar la pendiente longitudinal del dren tomaremos el valor máximo de la pendiente del terreno el cual nos dará el valor máximo del " Rh ".

Para la sub-cuenca el Pedregal se han determinado pendientes longitudinales para los drenes (canales o terrazas) mediante la fórmula 6.7, con los valores de sus velocidades admisibles y diferentes pendientes del terreno (zona aluvional hasta el 60 %, zona rocosa entre el 40% y 99%) para los drenes de las tablas 4.1 al 4.9, además contando con los siguientes valores de rugosidad " n ":

$n = 0.025$ tierra vegetal o suelo aluvional

$n = 0.025$ terrenos rocosos

Obteniéndose así las siguientes valores de "PI" para terrazas de drenaje, canales de drenaje y perimetrales en la subcuenca el Pedregal.

Tabla 6.3. Valores de pendientes longitudinales (PI) para los drenes propuestos en la cuenca del Pedregal.

Referencia	Terreno	V (mt/s.)	n	Rh máx (mt)	PI (mt/mt)
tabla 4.1	Aluvional	0.85	0.025	0.10	0.010
tabla 4.2	Aluvional	0.85	0.025	0.15	0.006
tabla 4.3	Aluvional	0.85	0.025	0.20	0.004
tabla 4.4	Aluvional	0.85	0.025	0.14	0.006
tabla 4.5	Aluvional	0.85	0.025	0.23	0.003
tabla 4.6	Aluvional	0.85	0.025	0.33	0.002
tabla 4.7	Rocoso	3.00	0.035	0.38	0.040
tabla 4.8	Rocoso	3.00	0.035	0.48	0.030
tabla 4.9	Rocoso	3.00	0.035	0.59	0.020

6.3.6 GASTOS MAXIMOS DEL DREN

Fijada la pendiente longitudinal, el caudal que puede evacuar un dren se determinara por la fórmula de manning.

$$q = \frac{1000}{n} Rh^{2/3} Pl^{1/2} Ac \quad \dots (6.8)$$

q = gasto a evacuar por el dren (lt/seg).

Ac = área del dren (m²).

PI = Pendiente longitudinal del dren.

n = rugosidad del terreno.

Rh = radio hidráulico del dren en mts.

Luego la velocidad de escurrimiento será:

$$V \text{ (mt/seg.)} = \frac{0.001 Q \text{ (lts/seg)}}{Ac \text{ (m}^2\text{)}} \quad \dots \text{ (6.9)}$$

Los valores máximos del gasto según la fórmula 6.8, ocurren para los máximos valores que puedan tomar $Rh^{2/3}$ y Ac , los cuales dependen directamente de la pendiente que tiene la ladera en cada punto. Como el gasto que evacua el dren es el resultado del aumento gradual de su longitud, los valores máximos se producen cerca de los puntos de desagüe de la misma en los cuales la pendiente de la ladera puede tener cualquier valor. Por esta razón, debido a que la condición de desbordamiento debe aplicarse para estos puntos, no se puede calcular la capacidad máxima del canal para los mayores valores de $Rh^{2/3}$ y Ac ni para los mínimos, pues el primer caso sería poco conservador y en el segundo, se estaría desaprovechando en muchos casos la capacidad de evacuación del canal.

Esta solución que simplifica el proyecto conlleva, que si en los lugares próximos al desagüe la pendiente fuera muy inferior a la "Pk" del dren, es necesario dar una solución práctica en ese punto, produciendo una mayor inclinación de la plataforma del dren hasta 15 o 20 % a fin de garantizar el área hidráulica necesaria de dicho dren. En las tablas 6.4 al 6.6, se presentan los valores de la capacidad máxima y sus respectivas velocidades con que el agua discurre por el dren en función de la pendiente, y en las figuras 6.10 al 6.12, se presentan sólo la capacidad del dren vs. la pendiente para su rápida utilización en la solución del tipo de dren.

Tabla 6.4 Gastos máximos y velocidades de las terrazas de drenaje evaluados en la cuenca del Pedregal para terrenos aluviales

P(m/m)	Tabla 4.1; B = 2 m.		Tabla 4.2; B = 3 m.		Tabla 4.3; B = 4 m.	
	Q (lts/seg)	V (mt/s)	Q (lts/seg)	V (mt/s)	Q (lts/seg)	V (mt/s)
0.05	58.95	0.68	134.62	0.69	236.72	0.69
0.10	61.15	0.69	139.65	0.70	245.57	0.69
0.15	63.68	0.70	145.42	0.71	255.71	0.70
0.20	66.60	0.71	152.10	0.72	267.46	0.71
0.25	70.04	0.71	159.95	0.72	281.26	0.72
0.30	74.14	0.72	169.31	0.74	297.73	0.73
0.35	79.12	0.74	180.70	0.75	317.75	0.74
0.40	85.34	0.75	194.90	0.76	342.72	0.75
0.45	93.36	0.77	213.21	0.78	374.92	0.77
0.50	104.19	0.79	237.84	0.80	418.41	0.79
0.55	119.91	0.82	273.84	0.83	481.52	0.82
0.60	145.83	0.86	333.05	0.87	585.64	0.86

Fig. 6.10 GASTOS MAXIMOS DE LAS TERRAZAS DE DRENAJE EN ZONA ALUVIAL DEL PEDREGAL

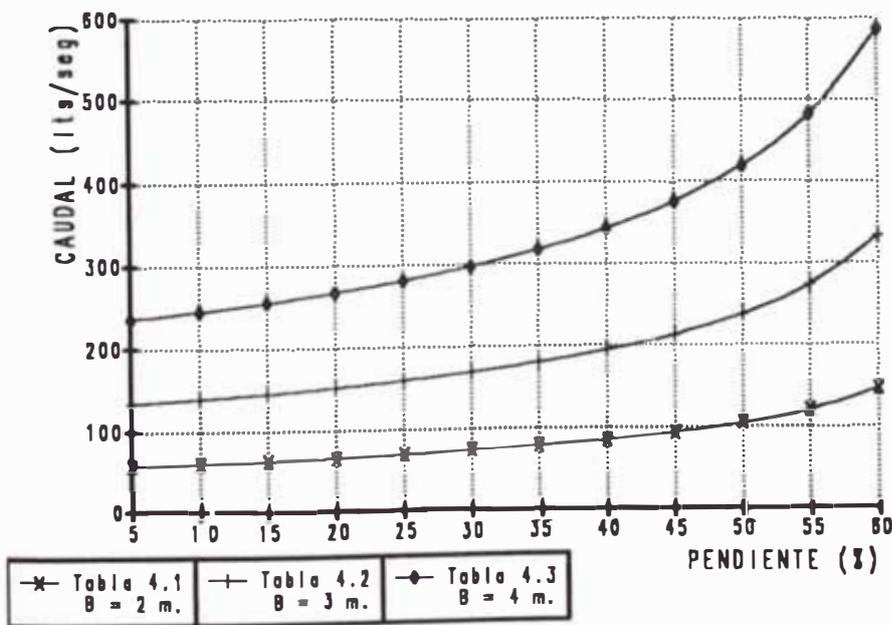


Tabla 6.5 Gastos máximos y velocidades de los canales de drenaje evaluados en la cuenca del Pedregal para terrenos aluviales

P(m/m)	Tabla 4.4; B = 1 m.		Tabla 4.5; B = 1.5 m.		Tabla 4.6; B = 2 m.	
	Q (lts/seg)	V (mt/s)	Q (lts/seg)	V (mt/s)	Q (lts/seg)	V (mt/s)
0.40	17.72	0.52	61.93	0.55	136.38	0.58
0.45	18.72	0.53	64.79	0.56	142.15	0.59
0.50	21.05	0.53	67.47	0.56	147.80	0.59
0.55	21.05	0.53	73.01	0.56	153.71	0.59
0.60	23.01	0.58	76.79	0.59	165.18	0.61
0.65	23.01	0.58	82.70	0.59	177.42	0.61
0.70	28.76	0.58	92.78	0.62	189.60	0.63
0.75	31.11	0.62	98.96	0.62	215.13	0.65
0.80	37.34	0.62	109.77	0.65	235.03	0.67
0.85	40.05	0.67	127.74	0.67	269.43	0.69
0.90	53.40	0.67	153.66	0.70	319.46	0.71
0.95	75.38	0.75	202.30	0.75	413.44	0.77
0.99	116.38	0.84	312.53	0.82	632.14	0.85

Fig. 8.11 GASTOS MAXIMOS DE LOS CANALES DE DRENAJE EN ZONA ALUVIAL DEL PEDREGAL

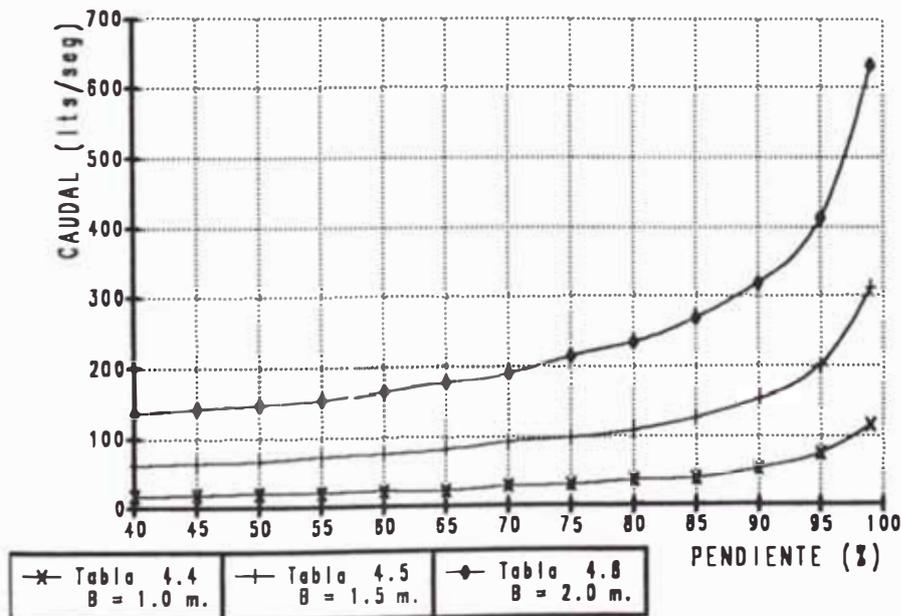
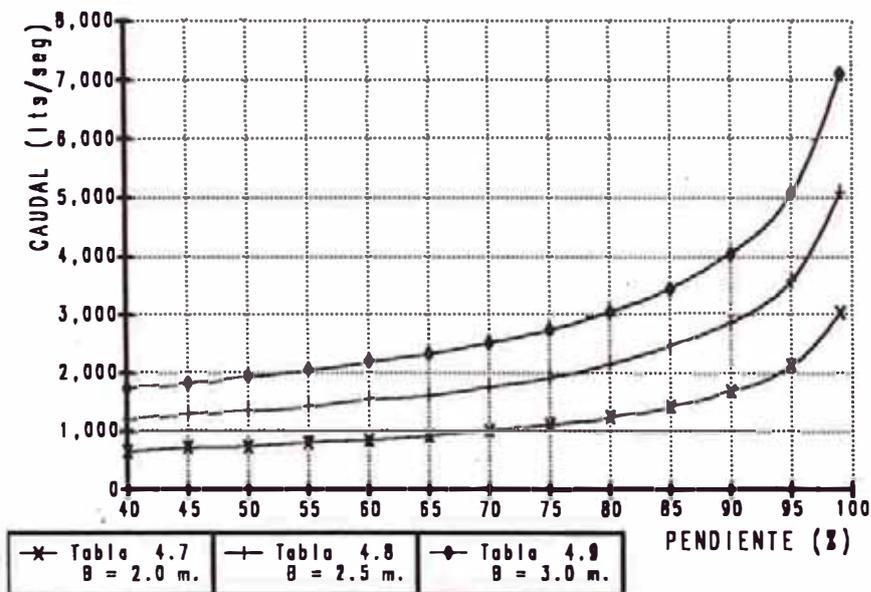


Tabla 6.6 Gastos máximos y velocidades de los canales perimetrales de drenaje evaluados en la cuenca del Pedregal para terrenos rocosos.

P(m/m)	Tabla 4.7; B = 2 m.		Tabla 4.8; B = 2.5 m.		Tabla 4.9; B = 3 m.	
	Q (lts/seg)	V (mt/s)	Q (lts/seg)	V (mt/s)	Q (lts/seg)	V (mt/s)
0.40	666	2.02	1207	2.12	1746	2.01
0.45	728	2.08	1279	2.17	1806	2.01
0.50	750	2.08	1344	2.17	1922	2.04
0.55	815	2.15	1419	2.22	2040	2.08
0.60	858	2.15	1541	2.27	2183	2.12
0.65	927	2.20	1609	2.27	2329	2.16
0.70	1020	2.27	1760	2.32	2522	2.19
0.75	1117	2.33	1914	2.36	2743	2.23
0.80	1241	2.39	2163	2.46	3061	2.30
0.85	1418	2.45	2474	2.55	3464	2.37
0.90	1690	2.56	2879	2.64	4062	2.48
0.95	2128	2.73	3608	2.78	5069	2.61
0.99	3057	3.00	5097	3.03	7106	2.84

Fig. 6.12 GASTOS MÁXIMOS DE LOS CANALES PERIMETRALES DE DRENAJE EN ZONA ALUVIAL DEL PEDREGAL



6.3.7. DESAGUES O DRENES VERTICALES

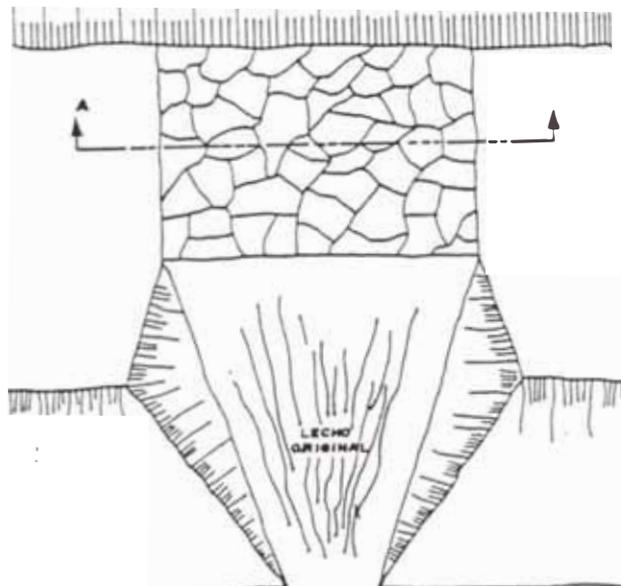
Los puntos críticos en el sistema de drenaje son los desagües. En ellos ocurren los mayores gastos y velocidades de todo proceso de escurrimiento, lo que determina en gran medida que la capacidad antiersiva de los drenes esté condicionada de manera directa por el funcionamiento eficaz de los mismos.

La protección que se debe dar a los desagües depende de las características geológicas del lugar y, en algunos casos particulares, del tipo de escurrimiento que presenta la cañada, atendiendo a que el mismo sea permanente o intermitente.

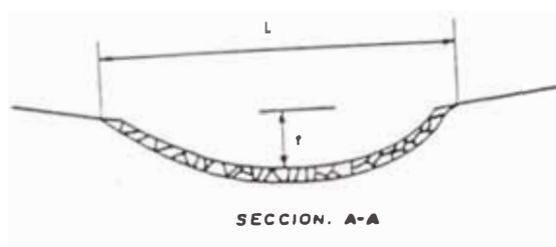
Para aquellos casos en que el lecho de la cañada sea rocoso, no es necesario construir ningún tipo de protección, pues la estabilidad del mismo será suficiente para protegerlo adecuadamente. En las cañadas con otras características de suelo pueden utilizarse distintos tipos de protección, dependiendo de los materiales que se utilicen y de la forma de la sección.

a) Tipos de protección. Para la protección de los desagües pueden emplearse materiales tales como la piedra. Las secciones del badén pueden ser diferentes; las más utilizadas son las parabólicas y las circulares. Se debe tener presente la necesidad de emplear en cada caso la solución más sencilla, económica y de fácil ejecución por lo que es necesario decidirla en función de los materiales disponibles localmente.

La parte protegida del badén está constituida por la sección de corte de una terraza, por lo que se permite que el agua arrastre toda la parte en terraplén de la misma, circulando de nuevo por su lecho original (fig. 6.13). Esto obedece a criterios económicos y funcionales. La tierra que es arrastrada no tiene posibilidad de dañar los lados subyacentes, pues a tal efecto se construyen en las deperecciones o partes bajas pequeños reservorios de retención de sedimentos.



PLANTA DE UN BADEN DE PIEDRA DESPUES DE ARRASTRADO EL TERRAPLEN



$$\text{AREA} = \frac{2Lr}{3}$$

$$P_m = L + \frac{8r^2}{3L}$$

$$R_h = \frac{2rL^2}{3L^2 + 8r^2}$$

Fig. 6 13 Desagüe típico con protección en corte

b) Tipicación. A los efectos de no calcular para cada caso la capacidad de la obra a construir, en la tabla 6.7, se muestran diferentes secciones con sus correspondientes capacidades de evacuación.

Para el cálculo hidráulico se ha utilizado la fórmula de Manning.

$$q = \frac{R_h^{2/3} S_b^{1/2} A_b}{n} \quad \dots (6.10)$$

$S_b = 1\%$, A_b se expresa en m^2 , q está dado en m^3 / seg .

$n = 0.017$ para los badenes y 0.013 para las tuberías de hormigón.

c) Dimensionamiento. Para el dimensionamiento de los desagües debe tenerse presente que solo los drenes maestros o perimetrales atraviesan el sistema, mientras que los drenes intermedios pueden o no atravesar las cañadas, comenzar en cualquier punto del recorrido de la curva de nivel y estar contruidos con un espaciamiento vertical no determinado por el proyecto. Por esta razón solo es posible dimensionar los desagües de los drenes maestros. La capacidad de los badenes de las intermedias se determina en función de criterios prácticos de acuerdo con las dimensiones de los desagües de los drenes maestros.

El dimensionamiento de los desagües en una cañada presenta dos situaciones:
En el dren superior y en cualquier otro dren.

Tabla 6.7. Capacidades de evacuación de los desagües parabólicos en $m^3 /seg.$; donde L y t están en metros (fig. 6.14).

L/t	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80	0.90	1.00	1.10	1.20
2.0	0.13	0.40	0.77	1.21	1.70	2.21	2.74	3.26	3.77	4.26	4.73	5.18
3.0	0.19	0.61	1.18	1.89	2.70	3.58	4.53	5.51	6.53	7.55	8.58	9.60
4.0	0.26	0.82	1.59	2.55	3.67	4.91	6.27	7.71	9.23	10.80	12.41	14.05
5.0	0.32	1.02	2.00	3.21	4.63	6.23	7.98	9.87	11.88	13.99	16.18	18.44
6.0	0.39	1.23	2.40	3.87	5.59	7.53	9.68	12.00	14.49	17.12	19.89	22.74
7.0	0.45	1.43	2.81	4.52	6.54	8.83	11.36	14.11	17.08	20.22	23.53	27.00
8.0	0.52	1.64	3.21	5.18	7.50	10.12	13.04	16.22	19.65	23.30	27.16	31.21
9.0	0.58	1.84	3.61	5.83	8.44	11.41	14.71	18.31	22.20	26.36	30.76	35.39
10.0	0.65	2.05	4.02	6.48	9.38	12.69	16.37	20.40	24.75	29.41	34.35	39.55
11.0	0.71	2.25	4.42	7.13	10.33	13.98	18.04	22.49	27.29	32.44	37.92	43.69
12.0	0.77	2.46	4.82	7.78	11.28	15.26	19.70	24.57	29.83	35.48	41.48	47.82
13.0	0.84	2.66	5.23	8.43	12.22	16.54	21.36	26.64	32.37	38.50	45.03	51.94
14.0	0.90	2.87	5.63	9.09	13.67	17.83	23.02	28.72	34.90	41.52	48.58	56.05
15.0	0.97	3.07	6.03	9.74	14.11	19.11	24.68	30.79	37.42	44.54	52.12	60.15
20.0	1.29	4.09	8.04	12.99	18.83	25.51	32.96	41.15	50.04	59.59	69.78	80.59
25.0	1.61	5.12	10.06	16.24	23.55	31.90	41.23	51.49	62.63	74.61	87.40	100.97

Para el primer caso, una vez determinada la longitud del dren, desde los partidores hasta la cañada correspondiente y con la pendiente característica de la faja superior, se entra en el monograma de la fig. 6.8 y 6.9 y se obtiene el gasto unitario, que multiplicado por su altura determina el gasto real que debe evacuar dicho desagüe. La longitud del dren desde el partidador a la cañada, puede obtenerse por mediciones hechas en el plano o de acuerdo con las libretas del replanteo topográfico correspondiente.

En el segundo caso el volumen de agua que debe evacuar el drenaje está constituido por tres gastos parciales (fig. 6.14): dos productos de las cuencas elementales a ambos lados del mismo y el otro, constituido por la suma acumulada de los gastos superiores al desagüe analizado.

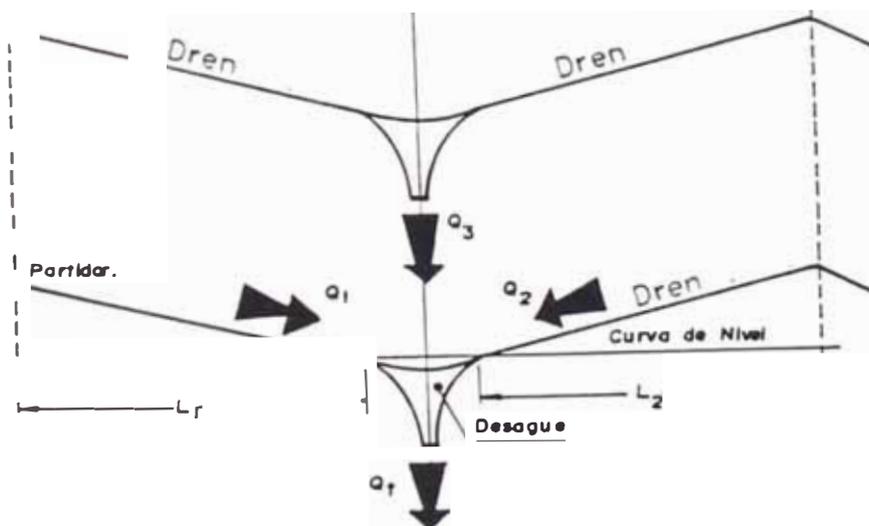


Fig. 6.14 Gastos que llegan a un desagüe

Los gastos laterales, una vez determinadas las longitudes a ambos lados del desagüe y la pendiente característica de la faja en ese tramo, se calculan tal como se explicó para el primer caso. La suma de los tres gastos determina el caudal que debe evacuar el desagüe.

Una vez determinados los gastos que deben ser evacuados por estos puntos, se entra en la tabla 6.7 y se selecciona el badén tipo que se requiera para evacuar al mismo.

Debe notarse que para dimensionar los desagües de una línea de drenaje, hay que comenzar los cálculos desde arriba hacia abajo.

Ejemplo Ilustrativo.- En la fig. 6.15, se presenta una micro-cuenca, supóngase que ésta pertenece a la cuenca del Pedregal y es una generadora de huayco ante la presencia de lluvias. Planterar el sistema de corrección del drenaje en dicha micro-cuenca si se tiene un ancho promedio de la cañada de 10 m.

Solución: La microcuenca de la fig. 6.15 se puede idealizar de la forma en que se muestra en la fig. 6.16.

1. Cálculo de caudales a evacuarse utilizando los monogramas de las figuras 6.8 y 6.9
 - a. DREN 1: Terreno = rocoso; $L = 700$ m.; $P = 70$ %; de la fig. 6.9 obtenemos $q = 7.50$ lts/(segxmt); $H_f = 95$ mts.; Entonces $Q_1 = 7.5 \times 95 = 712$ lts/seg.
 - b. DREN 2: Terreno = rocoso; $L = 800$ m.; $P = 65$ %; de la fig. 6.9 obtenemos $q = 8.95$ lts/(segxmt); $H_f = 95$ mts.; Entonces $Q_2 = 8.95 \times 95 = 850.25$ lts/seg.
 - c. DREN 4: Terreno = aluvial, $L = 550$ m.; $P = 50$ %; de la fig. 6.8(b) obtenemos $q = 6.3$ lts/(segxmt); $H_f = 25$ mts.; Entonces $Q_4 = 6.3 \times 25 = 157.50$ lts/seg.
 - d. DREN 5: Terreno = aluvial, $L = 600$ m.; $P = 40$ %; de la fig. 6.8(a) obtenemos $q = 8.2$ lts/(segxmt); $H_f = 25$ mts.; Entonces $Q_5 = 8.2 \times 25 = 205.0$ lts/seg.

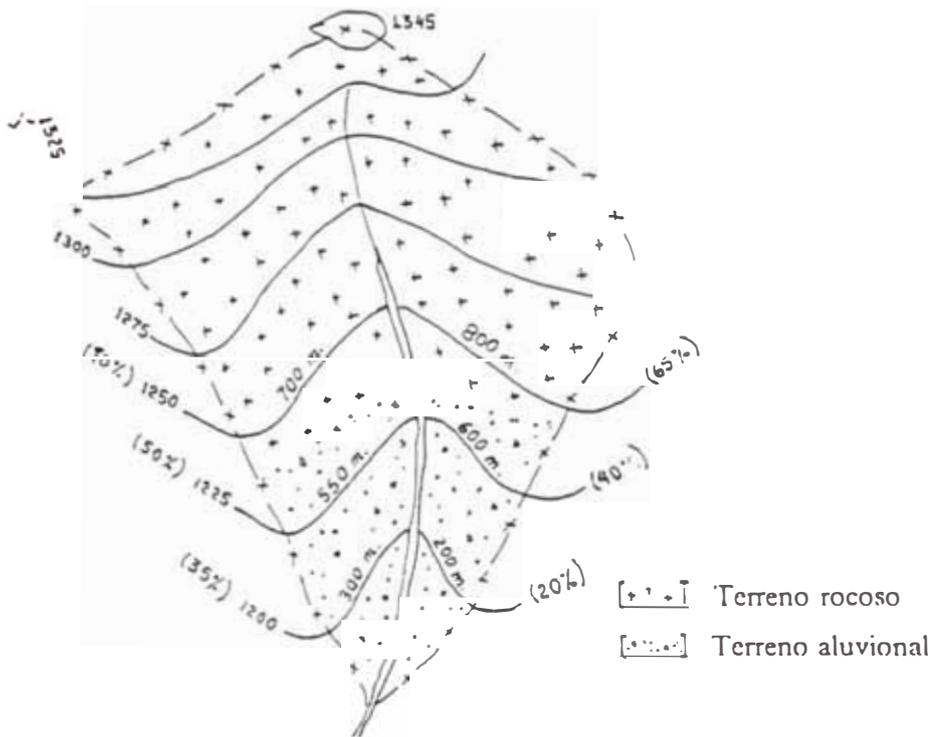


Fig. 6.15 Microcuenca de drenaje

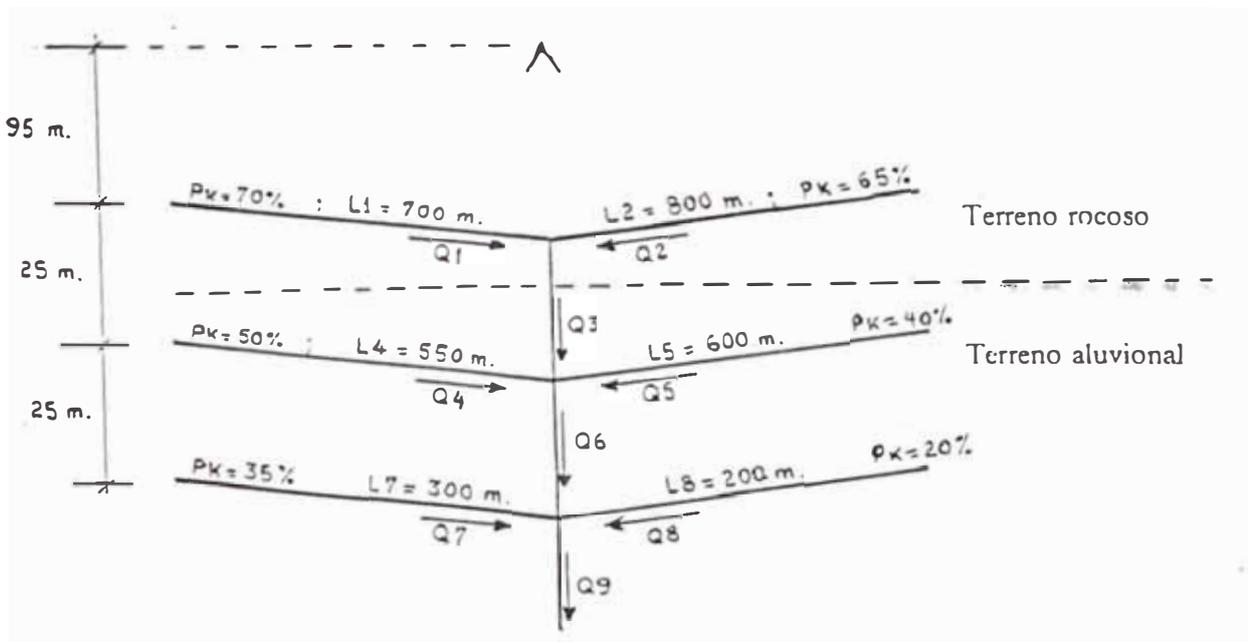


Fig. 6.16 Idealización de la microcuenca de drenaje

- e. DREN 7: Terreno = aluvial, $L = 300$ m.; $P = 35\%$; de la fig. 6.8(a) obtenemos $q = 5.8$ lts/(segxmt); $H_f = 25$ mts.; Entonces $Q_7 = 5.8 \times 25 = 145.0$ lts/seg.
- f. DREN 8: Terreno = aluvial, $L = 200$ m.; $P = 20\%$; de la fig. 6.8(a) obtenemos $q = 7.5$ lts/(segxmt); $H_f = 25$ mts.; Entonces $Q_8 = 7.5 \times 25 = 187.5$ lts/seg.
- g. DREN 3: $Q_3 = Q_1 + Q_2 = 712 + 850 = 1562$ Lts/seg. = 1.56 m³/seg.
- h. DREN 6: $Q_6 = Q_3 + (Q_4 + Q_5) = 1562 + (157.5 + 205) = 1924.5$ lts/seg = 1.92 m³/seg.
- i. DREN 9: $Q_9 = Q_6 + (Q_7 + Q_8) = 1924.5 + (145 + 187.5) = 2257$ lts/seg = 2.26 m³/seg.

2. Tipos de drenes a utilizarse:

- a. DREN1: Con $P = 70\%$ y utilizando la fig. 6.12, debido a las condiciones del terreno, se ubica el valor de $Q_1 = 712$ lts/seg correspondiéndole un canal perimetral superior de $B = 2$ m. con las características geométricas descritas en la tabla 4.7 para $P = 0.70$.
- b. DREN2: Con $P = 65\%$ y utilizando la fig. 6.12, debido a las condiciones del terreno, se ubica el valor de $Q_2 = 850$ lts/seg correspondiéndole un canal perimetral superior de $B = 2$ m. con las características geométricas descritas en la tabla 4.7 para $P = 0.65$.
- c. DREN4: Con $P = 50\%$ y utilizando la fig. 6.10, debido a las condiciones del terreno, se ubica el valor de $Q_4 = 157.5$ lts/seg correspondiéndole terrazas de drenaje con $B = 3$ m. con las características geométricas descritas en la tabla 4.2 para $P = 0.50$.
- d. DREN5: Con $P = 40\%$ y utilizando la fig. 6.10, debido a las condiciones del terreno, se ubica el valor de $Q_5 = 205$ lts/seg correspondiéndole terrazas de drenaje con $B = 4$ m. con las características geométricas descritas en la tabla 4.3 para $P = 0.40$.
- e. DREN7: Con $P = 35\%$ y utilizando la fig. 6.10, debido a las condiciones del terreno, se ubica el valor de $Q_7 = 145$ lts/seg correspondiéndole terrazas de drenaje con $B = 3$ m. con las características geométricas descritas en la tabla 4.2 para $P = 0.35$.
- f. DREN8: Con $P = 20\%$ y utilizando la fig. 6.10, debido a las condiciones del terreno, se ubica el valor de $Q_8 = 187.5$ lts/seg correspondiéndole terrazas de drenaje con $B = 4.3$ m. con las características geométricas descritas en la tabla 4.3 para $P = 0.20$.

- g. DREN3 (vertical): $Q_3 = 1.56 \text{ m}^3 / \text{seg}$; ancho de cañada $L = 10 \text{ m}$; s en la tabla 6.7, le corresponde un dimensionamiento similar al de la fig 6.14 con $t = 0.20 \text{ m}$.
- h. DREN6 (vertical): $Q_6 = 1.92 \text{ m}^3 / \text{seg}$; ancho de cañada $L = 10 \text{ m}$; s en la tabla 6.7, le corresponde un dimensionamiento similar al de la fig 6.14 con $t = 0.20 \text{ m}$.
- i. DREN9 (vertical): $Q_9 = 2.26 \text{ m}^3 / \text{seg}$; ancho de cañada $L = 10 \text{ m}$; s en la tabla 6.7, le corresponde un dimensionamiento similar al de la fig 6.14 con $t = 0.30 \text{ m}$.

6.4. ESTRUCTURAS CONEXAS AL DRENAJE

6.4.1. BADENES DE PASO

El sistema de drenaje de la subcuenca el Pedregal es evacuada hacia el río Rímac, y para ello es necesario diseñar uno o varios badenes de paso por las vías de comunicación (carretera central), las cuales dejarían pasar las aguas drenadas de la cuenca.

La fórmula racional o de Ramser indica el pico máximo de descargas para un determinado período de retorno, siendo éste dato suficiente para el diseño. Cabe mencionar que existen otras fórmulas los cuales incluyen otros parámetros, pero que generalmente dan valores cercanos a los obtenidos por el método racional.

$$Q \text{ máx} = 0.278 C A I$$

Q = caudal de diseño en m^3 / seg .

A = área de la cuenca (10.40 Km^2)

I = Intensidad máxima de la tormenta para el tiempo de concentración.

C = 0.8 Coef. de escorrentía de la cuenca

Para determinar el tiempo de concentración de la cuenca utilizaremos el método expuesto por Design of Small Dams, Bureau of Reclamation, siendo la fórmula:

$$T_c = (11.9 \frac{L^3}{H})^{0.385} \dots (6.11)$$

T_c = Tiempo de concentración en horas
 L = Longitud del curso más lejos en millas en nuestro caso, L = 6 Km = 3.73 millas
 H = Diferencia de elevación en pies en nuestro caso H = 2332 - 825 = 1507 m = 4,944.23 pies.

reemplazando valores tenemos:

$$T_c = (11.9 \frac{3.73^3}{4944.23})^{0.385} = 0.45 \text{ horas}$$

$$T_c = 27 \text{ minutos}$$

Una vez obtenido el tiempo de concentración de la cuenca se procede a utilizar el gráfico de intensidad-frecuencia-duración para un período de retorno determinado. La duración del evento se considera igual al tiempo de concentración de la cuenca y se obtiene así la intensidad en mm/hora correspondiente.

Para un tiempo de concentración de 27 minutos y un período de retorno de 5.5 años, se obtiene una precipitación de 20.75 mm/hora.

Estos valores calculados se reemplazan en la fórmula racional y se obtiene:

$$Q = 0.278 \times 0.80 \times 10.40 \times 20.75$$

$$Q = 47.99 = 48 \text{ m}^3 / \text{seg.}$$

Este es el caudal máximo sin sólidos que se evacua de la cuenca el Pedregal. Pero tomando precauciones ante cualquier eventualidad de arrastrar sólidos por el cauce de la quebrada, nuestro caudal de diseño para los badenes de paso sera de "2 Q", es decir el factor de seguridad es igual a 2.

Entonces: $Q_{\text{Diseño}} = 96 \text{ m}^3 / \text{seg.}$

6.4.1.1. DIMENSIONAMIENTO

Estos badenes de paso serán de geometría trapezoidal, actuando como un gran canal y con su máxima eficiencia hidráulica (fig. 6.17).

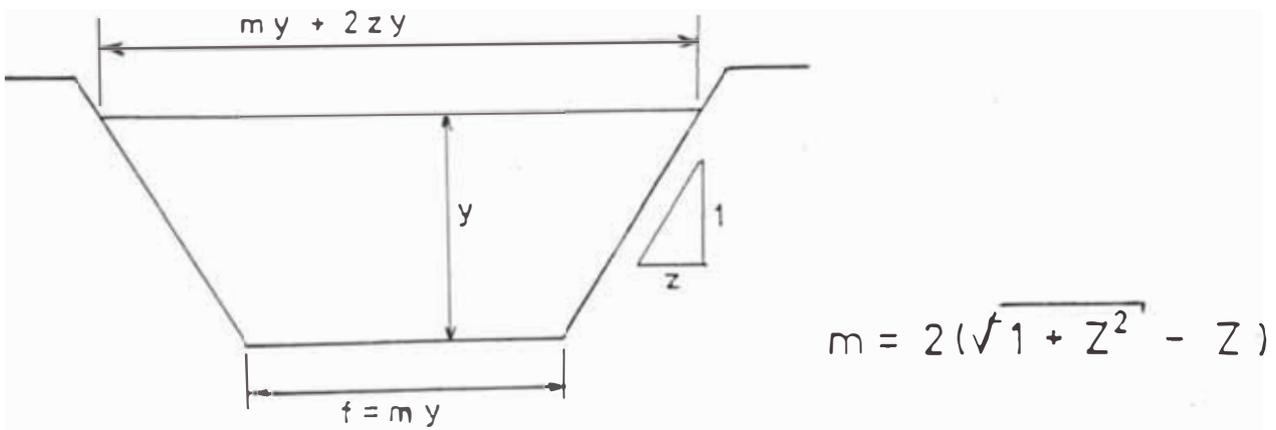


Fig 6.17 Dimensionamiento para el badén

Generalmente se toma un valor alto de "z", debido a que la pendiente transversal del badén viene a ser la pendiente longitudinal de la vía en esa zona, para que los vehículos puedan circular con comodidad. Es recomendable usar $z = 10$.

Se define a "m" como la relación fondo de base-altura = f/y

Tendremos que el área mojada "A" será igual a:

$$A = m y^2 + z y^2 = y^2 (m + z)$$

El perímetro mojado será:

$$P = m y + (2 \sqrt{1 + z^2}) y = y (m + 2 \sqrt{1 + z^2})$$

El radio medio hidráulico será:

$$R_h = \frac{A}{P} = y \left(\frac{m + z}{m + 2 \sqrt{1 + z^2}} \right)$$

El gasto según maninng será:

$$Q = \frac{A R_h^{2/3} S^{1/2}}{n} = \frac{y^{8/3} (m + z)^{5/3} S^{1/2}}{(m + 2 \sqrt{1 + z^2})^{2/3} n}$$

Despejando el tirante "y" tenemos:

$$y = \left(\frac{Q n^{3/8} (m + 2 \sqrt{1 + z^2})^{1/4}}{S^{1/2} (m + z)^{5/8}} \right) \dots \quad (6.12)$$

Aplicando estos conocimientos para el cruce de la quebrada el Pedregal con la carretera central tenemos el siguiente dimensionamiento del badén.

$z = 10$; entonces $m = 0.0998$; $n = 0.016$ asfalto ; $S = 1\%$;

$$Q = 96 \text{ m}^3 / \text{seg.}$$

Reemplazando valores en la Ec. 6.15, obtenemos el tirante "y".

$$y = \left(\frac{96 \times 0.016^{3/8} (0.0998 + 2 \sqrt{1 + 10^2})^{1/4}}{0.01^{1/2} (0.0998 + 10)^{5/8}} \right)$$

$$y = 1.39 \text{ mts.}$$

Luego podemos tomar un tirante $y = 1.40$ mts. Entonces las dimensiones del badén de paso a utilizarse en la quebrada tiene como mínimo las siguientes dimensiones (fig.6.18):

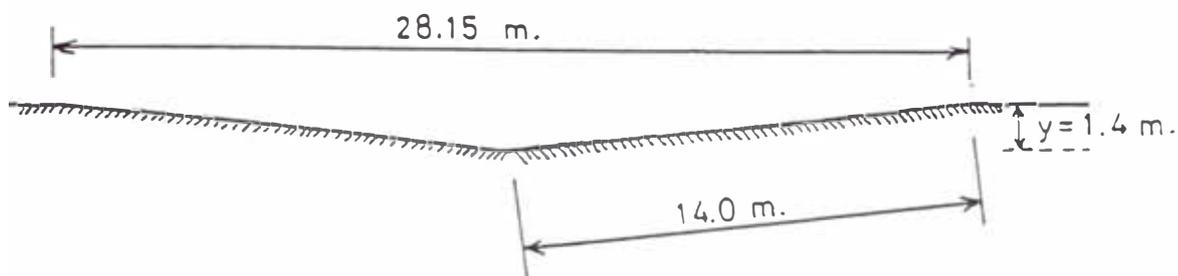


Fig. 6.18 Badén típico para la quebrada del Pedregal

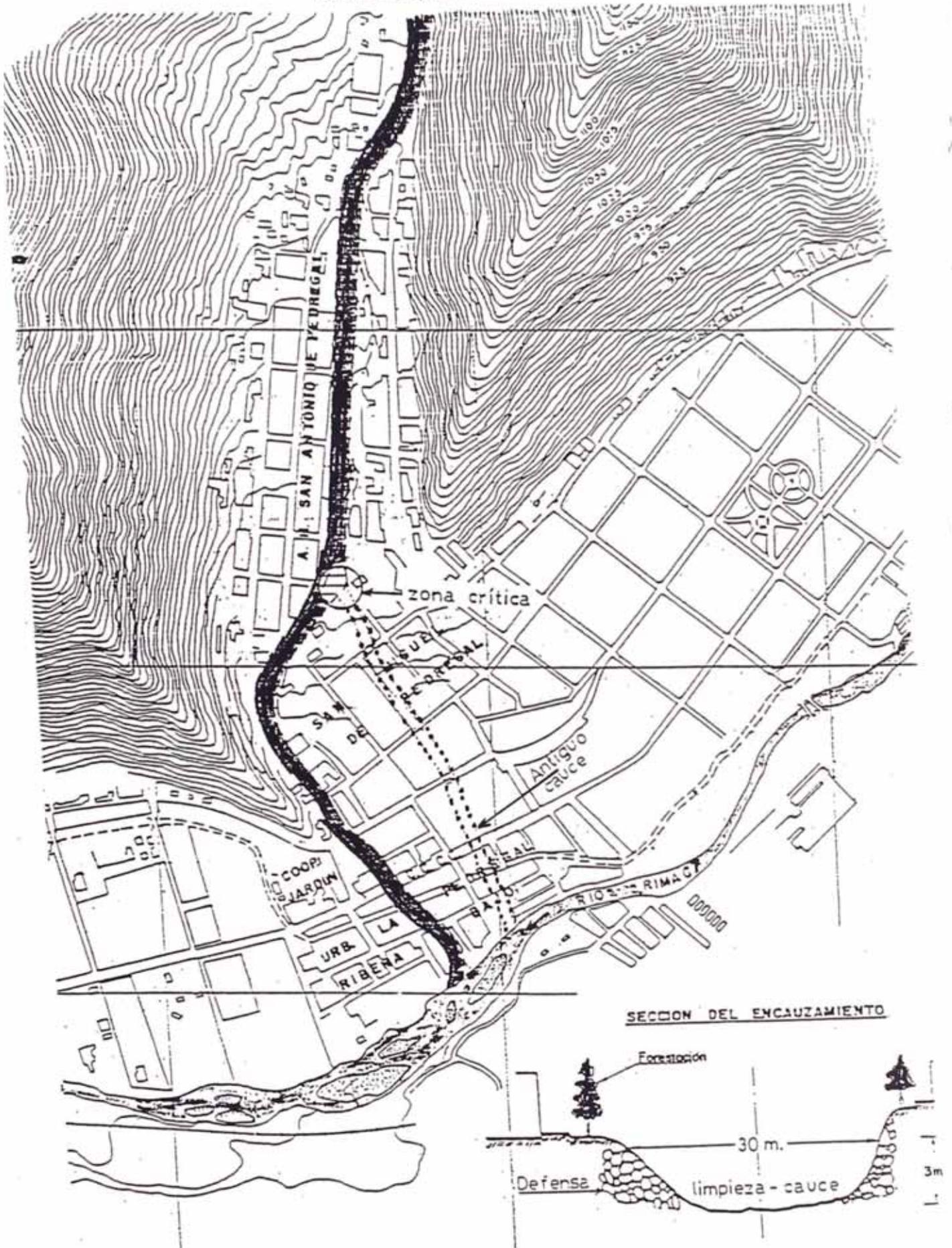
6.4.2. ENCAUZAMIENTO

El encauzamiento propuesto para la parte baja de la quebrada del Pedregal esta en relación directa con los resultados obtenidos del badén, es decir las dimensiones de esta estructura nos dará una idea del ancho y profundidad con el que debe canalizarse el cauce para el libre paso de los flujos de lodo, y así como de la vía de escurrimiento propuesta en la fig. 6.19 hasta su desembocadura en el río Rímac.

Existe una zona muy crítica en el curso del encauzamiento por posible desbordamiento de huaycos debido a que su topografía presenta una parte baja y es justo en esta zona por donde existía un cauce antiguo (ver plano: zona inundable). En tal sentido proponemos que esta zona crítica se refuerze con la construcción de un muro de concreto ciclópeo para su definitiva ruta de evacuación y no generar desbordes que podrían ocasionar desastres (fig 6.19).

Fig. 6.19 PROPUESTA DE ENCAUZAMIENTO : QUEBRADA PEDREGAL

Escala : 1/5,000



También se recomienda demoler las viviendas que se encuentren afectadas dentro de los límites de encauzamiento propuesto.

6.4.3. OBRAS DE PROTECCION

Las obras de protección que se sugieren en la parte urbana de la quebrada es la forestación de los bordes laterales del cauce natural, y tratar de formar taludes de defensa con piedras cementadas a ambos márgenes de las zonas críticas que generalmente presentan poca profundidad del cauce. La forestación que se recomienda es con árboles los cuales actuarían como muros de defensa ante posibles desbordes de huaycos, pero también ayudarían a consolidar el material suelto de los márgenes debido a que sus raíces estabilizan los suelos.

6.5. DRENAJE URBANO

Uno de los principales problemas de una ciudad o población ubicada en las laderas de los cerros o en áreas de fuerte pendiente como la del P.J. San Antonio del Pedregal, es la construcción de la red de drenaje, que tiene por objeto el alejamiento rápido de las aguas pluviales, evitando la erosión del suelo, los encharcamientos o la formación de barro. En zonas pavimentadas puede ocurrir el reblandecimiento del terreno en la base de los firmes, lo que origina la destrucción de los mismos, así como también pueden comprometer la cimentación de las viviendas.

Cuando existe escurrimiento superficial sobre las calles se recomienda determinar su origen y dirección. La corriente debe interceptarse con un dren (cuneta) que se encuentre en la orilla del borde de la acera si se trata de zonas residenciales, o bien en los lugares más convenientes si es en zonas comerciales o industriales. Generalmente tales drenes son paralelos al borde de la acera; sin embargo en calles anchas pueden necesitarse tubos transversales o parrillas sobre una caja de concreto a ángulos rectos o en posición diagonal respecto al eje de la calle.

Es importante llevar el dren hasta la zona de desagüe o salida. La salida consiste generalmente en una cañada o quebrada que evacua las aguas hacia ríos, lagos o mares.

El estudio de la evacuación de las aguas superficiales, está íntimamente ligado al estudio de la topografía de la zona, ya que todo el sistema depende tanto de las pendientes longitudinales y transversales de las pistas, como de la creación de puntos bajos, donde se sitúan las acometidas de aguas a la red general de evacuación. Consta por tanto, el estudio del drenaje superficial de zonas urbanas, de dos partes, una relativa a la superficie del casco urbano, otra que se refiere al establecimiento de la red de evacuación.

En la primera parte, se divide a la ciudad en dos tipos de zona: unas "no inundables", que no deben tener en ningún momento cantidades de agua que dificulten el tráfico peatonal o vehicular; y otras "inundables", que

momentaneamente pueden almacenar cierta cantidad de aguas que se elimina posteriormente por la red de evacuación. La red de evacuación consta, en general de cunetas laterales que tienen por misión la evacuación de aguas de las zonas "no inundables" y de otras áreas de forma irregular, con acometidas en los puntos bajos o quebradas, cuya misión es la de recoger las aguas de las zonas "inundables".

La división en zonas "inundables" y "no inundables" no tiene más objeto que disminuir el costo de la obra, ya que lo ideal sería que en todo momento el caudal de aguas de lluvia fuera absorbido por la red de evacuación. En el plano siguiente se muestra el estudio de evacuación superficial del P.J. San Antonio de Pedregal, en donde se especifican las soluciones dadas. En ella se observa que la evacuación esta dirigida hacia la quebrada; además en este plano se divide a la zona inundable y no inundable por causa de los huaycos y no de precipitación pluvial, debido a que San Antonio del Pedregal esta ubicado en el cono de deyección de la quebrada la cual tiene fuerte pendiente que facilita la evacuación rápida de las lluvias de las partes altas.

En las zonas bajas del pueblo puede prescindirse de los drenes, ya que las aguas vierten a las zonas bajas o hacia la quebrada. En este caso es necesario canalizar la quebrada con dirección hacia el río y construir badenes de paso en los cauces de vías y calles.

6.5.1. CONTROL DEL DRENAJE URBANO

El proceso del drenaje urbano comprende en analizar como y hacia donde van a hacer evacuadas la cantidad de agua llovida sobre una ciudad. Generalmente el análisis esta orientado a como evacuar el agua de las viviendas, veredas y pistas (fig. 6.20).

DRENAJE DE LAS VIVIENDAS: El agua que escurre de los techos de las viviendas, deben de conducirse generalmente hacia un dren superficial mediante un tubo motante. Para lograr esto es necesario que los techos de las viviendas tengan una inclinación hacia las calles principales o jardines dependiendo de la región, y utilizar en sus bordes un canal de media caña para que conduzcan las aguas a los tubos motantes verticales los cuales tienen su punto de desagüe en las veredas, calles o pistas; estos accesorios pueden ser de material plastico de PVC que son muy utilizados en las obras de desagüe.

En zonas de intensa precipitación pluvial como es el caso de nuestra serranía y la selva es recomendable que los techos sean a dos aguas y de materiales impermeables como las tejas o calaminas, debido a que este tipo de diseño facilita la rápida evacuación de las lluvias.

DRENAJE DE VEREDAS: El drenaje de las veredas pueden realizarse con una ligera inclinación transversal (0.1 %) para que las aguas drenen hacia las calles o pistas, esto generalmente se recomienda en zonas planas, pero en zonas de pendientes moderadas a fuertes las veredas contarán además de una pendiente

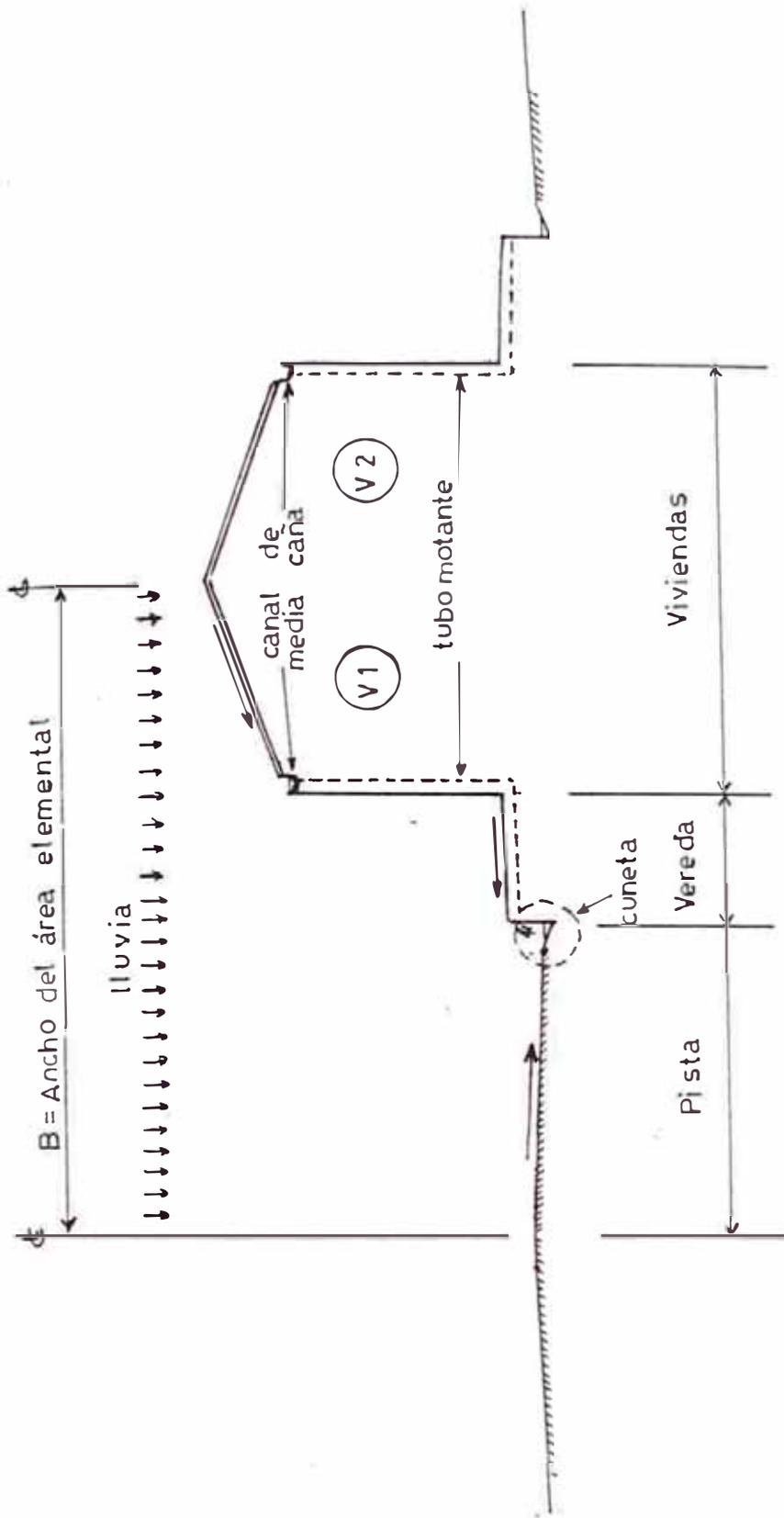


Fig. 6.20 CONTROL DEL DRENAJE URBANO

longitudinal en la cual es necesario aumentar la inclinación transversal hasta el 0.5 % para eliminar el escurrimiento longitudinal en las veredas porque con el transcurso del tiempo estas dañan los cimientos de las viviendas. En nuestro caso del Pedregal se recomienda que las veredas tengan una inclinación transversal de 0.5 % para que cumplan los fines propuestos del drenaje.

DRENAJE DE LAS CALLES ó PISTAS: El drenaje se efectúa con un bombeo en la superficie de rodadura, con el fin de que el agua corra transversalmente hacia los drenes. Para caminos de tierra y secundarios se recomienda una inclinación aproximada de 4 %; en pavimentos se considera un 2 % como suficiente.

Actualmente la superficie de las calles del P.J. San Antonio del Pedregal se encuentran en su mayoría sin pavimentar motivo por el cual se recomienda que las calles tengan un bombeo en la superficie de rodadura del 4 %.

En las calles o pistas es donde generalmente se convierte en zona de desagüe de las viviendas y es aquí en donde se deben de diseñar las cunetas de drenaje y su posible ruta de evacuación hacia zonas de quebradas o cursos de torrentes de agua.

6.5.2. METODO PARA EL CALCULO DE OBRAS DE DRENAJE EN EL PEDREGAL

Es posible, desde el punto de vista económico, diseñar un sistema de drenaje de un casco urbano con capacidad de desalojar el agua de lluvia más intensa en

unos cuantos minutos después de su terminación. Lo más práctico consiste en determinar la intensidad máxima para una precipitación de una hora y en un período de 2 ó 5 años.

En el caso de San Antonio de Pedregal contamos con las curvas de Intensidad-frecuencia-duración de lluvia que se encuentran en el capítulo V, y de la cual hemos determinado la intensidad "i" en mm/hr., para un período de retorno de 5.5 años.

$$I = \frac{1162}{29 + t_c}$$

Siendo "t_c" el tiempo de concentración en minutos, el que se define como el tiempo necesario que demora una partícula de agua para trasladarse desde el punto más lejano hasta el punto de desagüe. Para determinar este valor de "t_c" en el drenaje urbano, debe observarse que la lluvia cae directamente sobre la ciudad, en consecuencia el agua escurre sobre su superficie a lo largo de las calles. De esta manera, se puede aplicar la ecuación de movimiento uniforme de una partícula para calcular el "t_c", siendo "L" la longitud de la calle en metros y "v" la velocidad máxima del agua que no produce erosión en mt/minutos.

$$T_c = \frac{L}{v} ;$$

Luego la intensidad "i" puede escribirse como sigue:

$$i = \frac{1162}{29 + L/V} \quad \dots (6.13)$$

Para algunos casos, el cálculo del volumen total de escurrimiento para un período de retorno es adecuado, pero con más frecuencia se necesita la estimación del escurrimiento máximo instantáneo para el diseño. La técnica más usual es la utilización del método racional, la que es recomendable para áreas menores de 100 Km², y es muy utilizable en hidrología urbana (diseño de alcantarillas y drenes en ciudades). La fórmula racional se presenta de la siguiente forma:

$$Q = 0.000278 C i A$$

Q = ritmo máximo del escurrimiento en lt/seg.

C = Coeficiente de escurrimiento; relación entre la cantidad de agua a evacuar y cantidad de agua llovida. Ver tabla 6.8.

i = Intensidad de lluvia en mm/hr. para una duración igual al tiempo de concentración "tc".

A = LxB ; área elemental en m² (ver fig. 6.21).

Reemplazando la fórmula 6.13 en la racional tenemos:

$$Q \text{ (Lts/seg.)} = \frac{0.32304 C A}{29 + L/V} \quad \dots (6.14)$$

Tabla 6.8. VALORES DEL COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO "C"
PARA DIVERSAS SUPERFICIES

Area residencial urbana:	
Sólo casas habitación	0.30
Apartamentos con espacios verdes	0.50
Areas de edificios comerciales e industriales	0.90
Areas boscosas, dependiendo del suelo	0.05 - 0.20
Parques, terrenos agrícolas y pastizales	0.05 - 0.30
Asfalto o pavimento de concreto	0.85

Fuente: Linsley, Ray; "Recursos Hidráulicos".

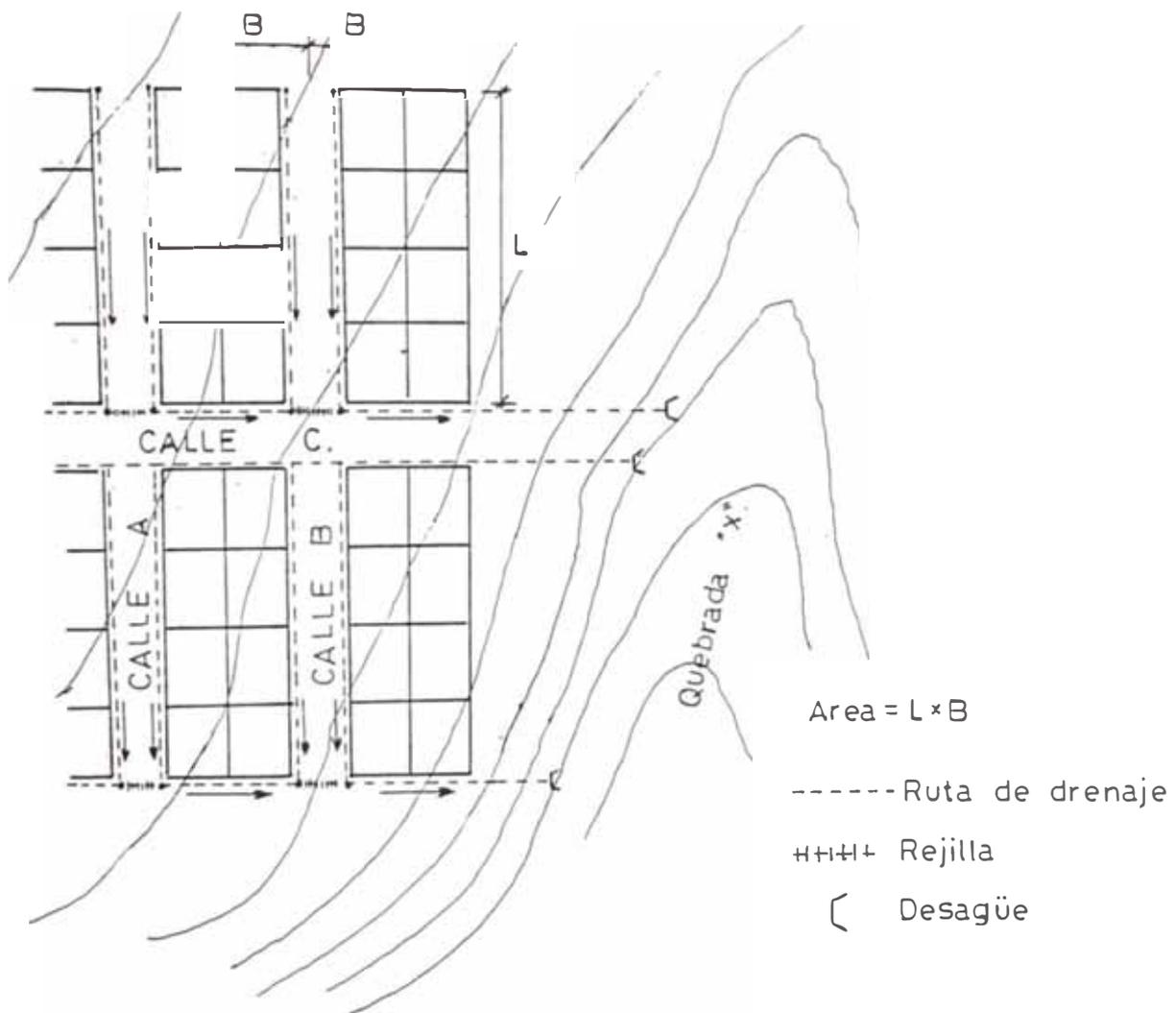


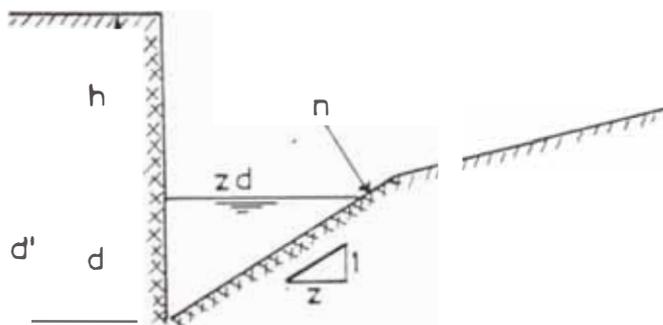
Fig. 6.21 Esquema de evacuación del drenaje urbano

6.5.2.1. CUNETAS

Las cunetas son zanjas que se construyen al lado de un camino con la finalidad de evacuar las aguas de las lluvias de una determinada zona. Las dimensiones de las cunetas son según los climas que permiten un drenaje normal en sus volúmenes de agua. La construcción de las cunetas generalmente es del mismo material de los cortes del suelo y llevan pendientes longitudinales que son las mismas del camino o calles, pero cuando ésta es muy fuerte hay peligro que el agua en movimiento erosione la cuneta, es entonces necesario revestirlas o hacerles gradientes para cortar la fuerza de la corriente.

La capacidad de descarga de las cunetas depende de su forma, pendiente y rugosidad. La ecuación de Manning puede ser utilizada para calcular el gasto en la cuneta. La sección generalmente en nuestro medio es de forma triangular (fig. 6.22).

$$Q \text{ (lts/seg.)} = \frac{1000 \times A(\text{m}^2) \times R^{\frac{2}{3}} (\text{m}) \times S^{\frac{1}{2}}}{n}$$



- n = Rugosidad
- d = Tirante de agua
- zd = Espejo de agua
- z = Talud
- d' = 1.3 d = Altura de cuneta
- h = Altura de la vereda

Fig. 6.22 Sección de la cuneta de drenaje

Sustituyendo "A" y "Rh" por las expresiones que involucran a "d", puede determinarse el tirante normal con el cual se presentará el escurrimiento uniforme en la cuneta.

$$Q \text{ (lts/seg)} = \frac{1000 \times Z^{5/3} \times d^{8/3} \times S^{1/2}}{n (1 + \sqrt{1 + Z^2})^{2/3}}$$

Despejando "d" tenemos:

$$d \text{ (mts.)} = \frac{0.075 (Q \times n)^{3/8} (1 + \sqrt{1 + Z^2})^{1/4}}{Z^{5/8} \times S^{1/2}} \dots (6.15)$$

Ejemplo Ilustrativo.- Diseñar el dren de lluvia para la zona mostrada en la fig. 6.21. Usense las curvas de intensidad-duración-frecuencia (fig. 5.10) y un período de retorno de 5 años. Considérese que los lotes de viviendas tienen una pendiente longitudinal del 5 %, que las manzanas son de 75 m. y 30 m. (incluido las bermas), y que la pendiente transversal de la calle es del 4 %. Los drenes son cunetas de manpostería de piedra con valor de $n = 0.025$.

Solución: $C = 0.30$ ver tabla 6.11 ; $L = 75$ mts.; $B = 15 + 5 = 20$ mts.;
 $V = 3$ m/seg = 180 mts/minuto, que es la velocidad permisible de erosión para manpostería de piedra.

Reemplazando en la Ec. 6.14.

$$Q = \frac{0.32304 \times 0.30(75 \times 20)}{29 + 75/180} = 4.94 \text{ Lt/seg.}$$

luego:

$$Z = 1/0.04 = 25$$

$$S = 0.05$$

$$n = 0.025$$

$$Q = 4.94 \text{ Lt/seg}$$

Reemplazando valores en la Ec. 6.14, tenemos:

$$d = \frac{0.075 (4.94 \times 0.025)^{3/8} (1 + \sqrt{1 + 25^2})^{1/4}}{25^{5/8} (0.05)^{3/16}}$$

$$d = 0.018 \text{ mts.}$$

Entonces: $d' = 0.023 \text{ mts.}$

Generalmente se recomienda adoptar una altura mínima de cuneta de una pulgada es decir un valor de $d' = 0.025 \text{ mts.}$, por facilidades constructivas.

6.5.2.2. LIMITACIONES

El diseño del proyecto de drenaje urbano para el P.J. San Antonio del Pedregal requiere de planos detallados de la zona. Generalmente son satisfactorios escalas de 1/200 hasta 1/500 para el diseño final. Todas las líneas e instalaciones existentes en el subsuelo, para servicios públicos (agua, electricidad, teléfonos y al-

cantarillados) deben ser localizados con precisión para no interferir con la ruta propuesta.

En tal sentido, es éste trabajo nos encontramos muy limitados porque San Antonio del Pedregal cuenta actualmente con un plano topográfico a escala 1/2,000 y en la cual proponemos una posible ruta de drenaje, la cual se encuentra a modificación con estudios más detallados de la zona.

6.6. EVALUACION ECONOMICA

En la evaluación económica de un sistema de drenaje de una cuenca se deberá tomar en consideración los diferentes objetivos que se obtienen: repoblación forestal, conservación de suelos, **corrección del drenaje para evitar los huaycos**, etc.; pero generalmente uno de ellos es el principal y el resto es complementario.

Cualquiera que cada aspecto planteado influya desde el punto de vista económico, habrá que tenerlos presente en la evaluación económica, a pesar de que el objetivo central sea tan solo uno de los varios beneficios que reportará. No obstante, para simplificar este trabajo, **sólo se medirá como objetivo económico del sistema de drenaje, a la corrección del escurrimiento superficial para evitar los huaycos**, dado a que también existen otros estudios con el mismo fin para así más adelante poder compararlos.

Son muchas las ventajas que es posible obtener en la aplicación del método, una de ellas es que mecanizadamente pueden efectuarse las labores de plantación y atenciones posteriores; permite la circulación integral en toda la zona porque lleva implícita una red de caminos que recorre las laderas desde los puntos más bajos a los más altos, enlazandolos con los drenes. El motivo de nuestro trabajo no incluyó evaluar el sistema de comunicaciones (caminos), sin embargo mencionaremos que en el sistema de drenaje se construyen caminos de trocha similares a de épocas prehispánicas, en función de intercambio y acceso a las diferentes zonas de la cuenca. Tampoco incluiremos los costos de construcción del drenaje urbano debido a las limitaciones ya mencionadas que escapan de nuestro alcance.

No siendo muy útil dar cifras en intis o en nuevos soles debido a la situación económica del país, utilizaré más bien los jornales para medir el costo. El costo aproximado de las terrazas de drenaje se sitúa entre 330 y 360 jornales por hectárea. En suelos más compactos se ha llegado hasta 500 jornales/ha. El costo de una hectárea con talud de piedra varía entre 500 a 800 jornales. Los canales de drenaje y drenes verticales o desagües tienen el siguiente costo:

Costo por Km.	Tipo de suelo
350 a 380 jornales	Cascajo arcilloso
330 a 350 jornales	Roca ignea extrusiva y roca sedimentaria en procesos de desintegración
125 a 140 jornales	Rocas semi-duras y suelos pedregosos producto de la desintegración
85 a 100 jornales	Roca suelta y suelos franco arcillosos.

Del plano de pendientes (fig. 6.1), se ha logrado determinar en el gabinete de topografía de la UNI el área propuesta para la construcción del sistema de drenaje, el cual ocupa una extensión de 220 ha.; asimismo se ha determinado la acumulación de longitudes de los canales en cada curva de nivel dentro del área delimitada anteriormente.

Para tener una idea cuantitativa del costo aproximado en la ejecución del sistema de drenaje para la quebrada del pedregal, nos vamos a situar en el caso más extremo, es decir consideramos como si todo el sistema estuviese constituido por canales de derivación con plataforma de terraplén.

Los cálculos de los presupuestos se presentan a continuación obteniéndose los siguientes resultados:

ESPECIFICACIONES	UNID.	CANTIDAD	JORNALES	PARCIAL
Limpieza	Ha.	220	15/Ha.	3,300
Trazo, niveles y replanteo	Ha	220	70/Ha.	15,400
Conformación del terralén	Ha	220	800/Ha.	176,000
Canales de drenaje	Km.	42.4	380/Km.	16,112
Drenes verticales	Km.	9.5	380/Km.	3,610
TOTAL DE JORNALES				214,422

Se va a utilizar el jornal de un trabajador comunal sin tener en cuenta para ello la inclusión de las leyes sociales ni bonificaciones, es decir se puede dar trabajo temporal a los pobladores del lugar mediante un programa de ayuda e in-

versión social. La razón es contar con la mano de obra de los pobladores del P.J. San Antonio del Pedregal y proporcionales así una fuente de trabajo.

Costo estimado de un trabajador para el mes de agosto de 1,992 = S/. 15.00
equivalente a un jornal de 8 hrs.

Entonces:

Mano de obra total en jornales	= 214,422 jornales
	= 214,422 x 15.00
Mano de obra en nuevos soles	= S/. 3'216,330.00
Equipos y herramientas (3%) de M.O.	= S/. 96,489.90
Sub-total	= S/. 3'312,819.90
Gastos Operativos (6%) del subtotal	= S/. 198,769.19
TOTAL	= S/. 3'511,589.09
(1\$. U.S.A. = S/. 1.30) :	= \$. 2'701,222.38 (Agosto de 1,992)

No hay que olvidar que este valor es el máximo por considerar a toda el área a ser drenada bajo un sistema de constituidos por canales, de lo contrario con la construcción de terrazas de drenaje el costo sería mucho menor; ésta decisión se tomará en la evaluación del proyecto definitivo. Observese que en el presupuesto no se incluye a los materiales debido a que estos no son necesarios para los movimientos de tierras, excavaciones, y construcción de canales naturales o terrazas; solo en casos extremos se usarían empircados de piedra con concreto simple, y en algunos tramos de canales revestimientos con piedras partidas o planas, lo cual elevaría el presupuesto a los \$ 3'000,000 (tres millones de dolares).

Si a este valor le adicionamos el costo de la construcción de los badenes (2 para el Pedregal), las obras de encauzamiento y forestación en la parte baja los cuales alcanzarían un valor aproximado de \$ 1'000,000 (Un millón de dolares),

tendríamos un costo total aproximado de los \$ 4'000,000 (Cuatro millones de dolares), y aún más si lo comparamos con los proyectos económicos realizados por JICA y del Ing. Martínez para la misma quebrada (mencionados en el capítulo III), nos dáremos cuenta de que lo que proponemos es más rentable porque no mitigamos si no que evitamos el huayco desde sus orígenes.

Costo de JICA : U.S.A. \$ 12'000,000

Costo de Martínez : U.S.A. \$ 4'000,000

Cabe mencionar que este costo es insignificante en relación con las ventajas que traén consigo como el renacimiento de la zona donde se aplican. Los asuntos que tratamos y la reserva que pueda tener el método para su aplicación es muy complejo, pero confiamos en que a medida se aplique el sistema de corrección del drenaje en las cuencas de alto riesgo y además se profundice el estudio económico con los planos topograficos de mayor escala, irá ganando adeptos, pués lo que planteamos es un intento audaz de aplicación futura en busca de soluciones para evitar la erosión, los huaycos e inundaciones.

CAPITULO VII: MEDIDAS NO ESTRUCTURALES PARA LA LUCHA CONTRA HUAYCOS

7.1 ANALISIS DE LOS PELIGROS NATURALES

La aplicación de la Ingeniería presenta por lo general un mayor impacto potencial para la reducción de los desastres que se producen por la presencia de los fenómenos naturales, que en el caso de los sismos, estos no son selectivos por el lugar de distribución. Las avalanchas y los huaycos, aunque algunas veces provocados por causas "Regionales" (es decir precipitaciones pluviales), tenderán a afectar porciones discretas de tierras cercanas. En este caso, la Ingeniería puede jugar un papel valioso a fin de determinar el estado de estas áreas susceptibles.

La necesidad de controlar el empleo de la tierra y la planificación regional ha motivado en diversos países que se establezcan programas a fin de evaluar sus paisajes naturales. El mapeo especializado ha probado ser una herramienta operativa de amplio empleo en este tipo de programas debido a que debe proporcionar una síntesis aceptable de los resultados de observaciones y registros.

Las técnicas específicamente orientadas hacia los deslizamientos de tierra, sean solas o conjuntamente con otros procesos exógenos (erosión, avalanchas y huaycos), se han desarrollado principalmente en los países expuestos al riesgo, frecuentemente con el apoyo gubernamental. No será posible discutir todas las técnicas actualmente en uso, pero nuestra intención es discutir los tipos principales y algunas variaciones que puedan existir.

Los temas en el problema de la estabilidad de laderas se pueden dividir por lo general en dos niveles: La Aproximación de Ingeniería y la Aproximación geomorfológica.

7.1.1. LA APROXIMACION DE LA INGENIERIA

En este nivel, llamado también aproximación sin mapeo o Ingeniería Geotécnica, el ingeniero se interesa preferentemente por la estabilidad del lugar o ladera en el que está operando. A fin de satisfacer los requisitos más estrictos de diseño, se deben de determinar las propiedades físicas y químicas de los materiales con los que está trabajando y sobre los cuales construirá los cimientos utilizando pruebas costosas de campo y de laboratorio. Los datos que provienen de estas pruebas se pueden sustituir en modelos de estabilidad de laderas convencionalmente empíricas y definitivas a fin de determinar el factor de seguridad de la ladera en mención.

Aunque métodos simples se encuentran ahora en existencia, estas técnicas no son adecuadas para inspecciones de reconocimiento rápidos o para inspecciones

de áreas más extensas, debido a que las pruebas de materiales son costosas y su duración es prolongada.

A fin de enfrentar este problema, se han desarrollado métodos que están destinados a delinear las áreas de mayor riesgo de tal manera que las investigaciones de ingeniería en detalle se puedan concentrar en las áreas donde más se requieran.

7.1.2. LA APROXIMACION GEOMORFOLOGICA

Estas aproximaciones para evaluar los riesgos de las laderas se concentran en determinar la modificación o variación del espacio en la estabilidad de las laderas. Este proceso se puede lograr desde dos enfoques:

1. Analizando las características de las tierras e identificando los lugares de procesos de geodinámica externa a fin de balancear las evaluaciones de estabilidad de las laderas con el resto del área en mención (Mapeo Directo).
2. Considerando la posibilidad de la aparición de un fenómeno de geodinámica externa en relación con los factores de control (Mapeo Indirecto).

Estos métodos, esencialmente, identifican los **efectos** de los casos naturales e inducidos por el hombre que actúan sobre región. Un punto de vista alternativo, basado en la **causa** del fenómeno tiene por objetivo identificar los parámetros que controlan el sistema del paisaje y construir modelos matemáticos que simulen este

sistema a fin de pronosticar los lugares favorables. Teóricamente, la prueba final de estos dos procesos es una comparación directa de los resultados.

Nótese que en ambos casos es probable determinar los lugares exactos de los movimientos de tierras (huaycos, avalanchas, deslizamientos, derrumbes, etc.), los cuales se pueden repetir debido a las alteraciones locales, que debilitan la forma de las laderas o su litología.

7.2. ANALISIS DE LOS PELIGROS NATURALES EN CHOSICA

La ubicación de la ciudad de Chosica se encuentra rodeada por cerros y quebradas de pronunciadas pendientes y de carácter torrencial que la convierten en una ciudad potencialmente peligrosa.

7.2.1. MAPEO DIRECTO

La forma más simple de un mapeo directo es el registro de los lugares de deslizamientos o flujos de tierras. Estos se obtienen frecuentemente mediante la interpretación de fotos aéreas e inspecciones del suelo, y en la mayoría de los casos forman la base para un estudio más detallado o recolección de datos, siendo el objetivo balancear los cálculos de la estabilidad de las laderas más allá de los límites de las fallas geológicas existentes.

Las avalanchas y los huaycos son un ejemplo de un riesgo que presenta suministro o acarreo de material como uno de los factores predominantes por controlar.

Se han seleccionado cuatro escalas de representación, similares a los propuestos en la guía de la UNESCO (IAEG, 1976), para preparar estos mapas con el objetivo de representar en forma aproximada la evaluación de las formas de movimientos de tierra en las laderas:

1. Mapas Sinópticos (a una escala de 1:100,000 y más pequeñas).
2. Mapas de escala mediana (1:25,000 a 1:50,000).
3. Mapas de escala grande (1:10,000 a 1:5,000).
4. Mapas en detalle (en escalas 1:10,000 a 1:5,000).

7.2.1.1. MAPEO DIRECTO DE LAS QUEBRADAS DE CHOSICA

Se han producido mapas de peligros geomorfológicos en tres etapas (fig.7.1 a 7.3), en este caso para las subcuencas que bordean la ciudad de Chosica. Los mapas son simples en su modelo y todos han sido elaborados en base a un mapa topográfico a una escala de 1:25,000.

El primer mapa es un "Mapa de peligro geomorfológico" (fig. 7.1), que se divide en unidades geomorfológicas, por ejemplo en tipos de laderas coluviales. Los peligros que se incluyen en el mapa de peligro geomorfológico se pueden agrupar en tres categorías:

1. Aquellas que comprometen una alta actividad geomorfológica en las laderas.
2. Aquellas que involucran la amenaza de inundaciones de flujos de torrentes.

3. Areas con un menor riesgo, que incluyen laderas coluviales.

El segundo mapa básico de peligros se ha preparado para abarcar la amenaza de avalanchas (fig. 7.2). Las vías de avalanchas o huaycos se mapearon con el objetivo que los mapas fueran documentos para el empleo de tierras. Una categoría adicional de "áreas de potencial de avalanchas" se incluyó para destacar el hecho que los huaycos o avalanchas se evitan en varias áreas estabilizando las laderas con medidas de reforestación o con sistemas de drenaje.

El tercer mapa es el resultado de la combinación de los dos mapas anteriores, llamado "Mapa de peligros Combinados". Este tercer ejemplo de mapas, proviene de la aplicación del programa Francés ZERMOS (Zones Exposées aux Risques de Mouvement du sol et du Sous-sol), que han producido mapas a escala 1:25,000, para áreas de muestreo en varias regiones de las alturas de Francia.

7.2.1.2. MAPEO DIRECTO DE LA CIUDAD

Para determinar los niveles de riesgo en una ciudad, es necesario relacionar el Peligro natural al que se encuentra frecuentemente atacado con la vulnerabilidad de su estructura urbana.

a) PELIGRO NATURAL DE CHOSICA

La presencia de un fenómeno natural es la evaluación del peligro, es decir de la intensidad, frecuencia y ubicación del peligro, con la finalidad de zonificar las áreas potencialmente susceptibles a enfrentar los efectos de un fenómeno natural.

Los estudios e investigaciones de diversas instituciones han determinado cuatro niveles de peligro para el área urbana de Chosica (ver figura 7.4), teniéndose como conclusión general que la margen izquierda de la ciudad de Chosica se encuentra en mayor peligro ante la ocurrencia de un fenómeno natural como un huayco de gran magnitud o a las inundaciones del río Rímac, tal como se ha determinado en el mapa de peligros combinados anteriormente.

b) VULNERABILIDAD FISICA DE CHOSICA

Para determinar los niveles de vulnerabilidad de Chosica es necesario estudiar la estructura física de la ciudad, su sistema vial, ubicación del área urbana, calidad de las viviendas, etc., teniendo en cuenta que los sectores de menores recursos económicos son los más vulnerables y que la estructura física es el reflejo de la situación socio-económica de la población que la habita.

Los factores sociales y económicos generan el nivel de pobreza en los habitantes de la cuenca del río Rímac. Chosica no escapa de esta realidad contando en sus alrededores con asentamientos humanos en condiciones vulnerables frente a los fenómenos naturales, principalmente los huaycos, debido generalmente a la mala ubicación de viviendas y la mala calidad de la construcción de estas.

1. **POR MALA UBICACION.-** La gran mayoría de los asentamientos humanos de Chosica se han ubicado sobre el cono de deyección de una quebrada que periódicamente experimenta huaycos, cuyo peligro nos es percibido en el momento de la formación del pueblo. El Pueblo Joven San Antonio de Pedregal,

por su ubicación es muy vulnerable a sufrir un desastre de gran magnitud, de producirse tales fenómenos como el que ocurrió en 1987. Esto se debió a que no sólo se encontraba mal ubicado, sino que también varias viviendas se encontraban en el cauce del cono de deyección, dejando a este sin salida.

2. **POR MALA CONSTRUCCION.-** La vulnerabilidad por mala construcción de las viviendas está relacionada a la precariedad económica de las familias para la adquisición de materiales y el desconocimiento de técnicas de construcción. Cabe resaltar que la vulnerabilidad de las viviendas del P.J. San Antonio de Pedregal, está relacionada a la precariedad económica de los pobladores los cuales adquieren malos materiales y construyen sus hogares sin ninguna técnica adecuada. Aún cuando el porcentaje de viviendas están mal construidas, estas no ofrecen una seguridad requerida a sus moradores, en caso de movimientos sísmicos y huaycos.

En tal sentido se ha elaborado el mapa de vulnerabilidad física de Chosica (fig. 7.5). La información para elaborar el mapa, ha sido obtenido del INADUR y de la inspección de campo en la ciudad.

c) RIESGO EN CHOSICA

La determinación del riesgo se ha conseguido superponiendo el peligro natural con la vulnerabilidad, es así que existirá mayor riesgo, cuando las zonas de mayor peligro de ocurrencia de un fenómeno natural coinciden con las zonas de más alto grado de vulnerabilidad obteniéndose así la fig 7.6.

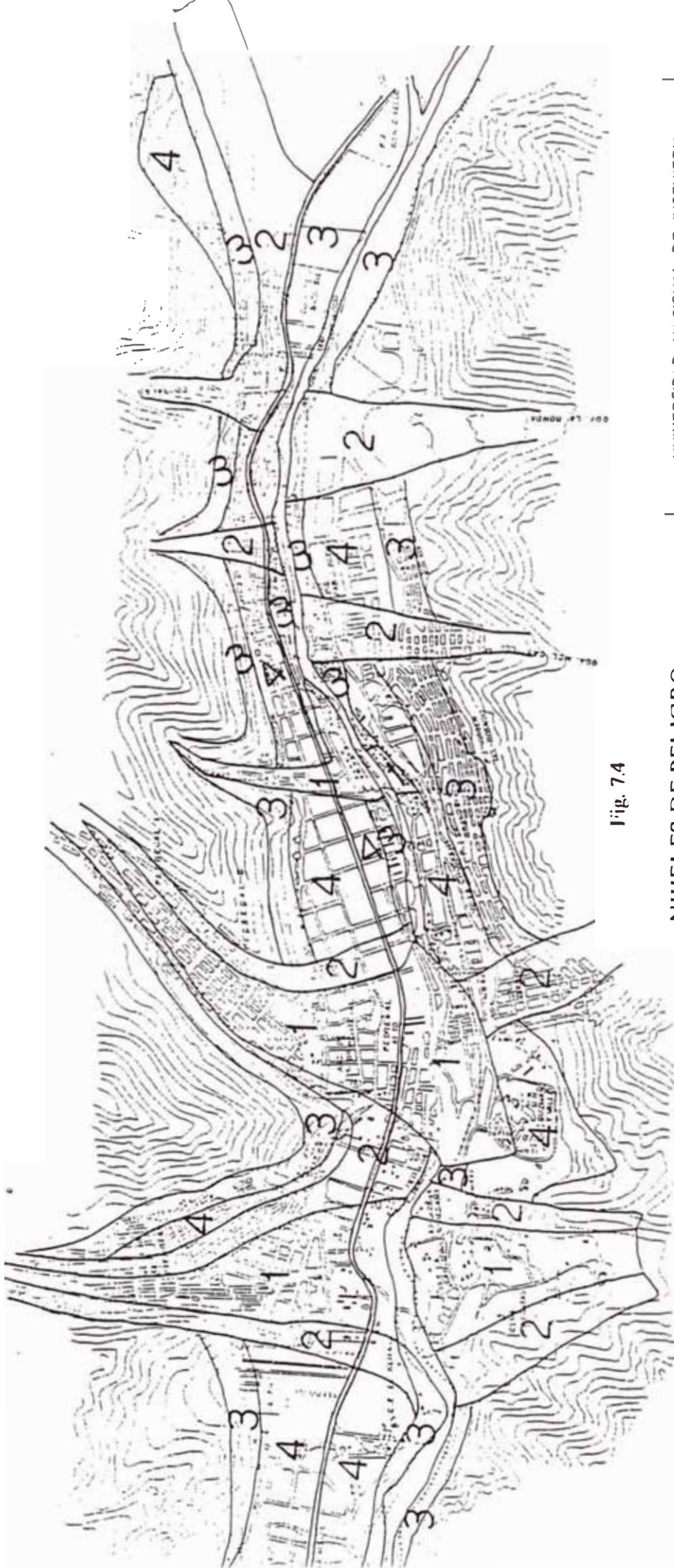


Fig. 7.4

NIVELES DE PELIGRO

- 1.- ALTO
- 2.- MEDIO
- 3.- MODERADO
- 4.- BAJO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
TESIS: METODO DE CORRECCION DEL DRENAJE PARA EVITAR LOS HUAYCOS
ASUNTO: PELIGRO EN CHOSICA
ASESOR: Ing. JULIO KUROIWA H. Fecha: Octubre '91 Fuente: INADUR

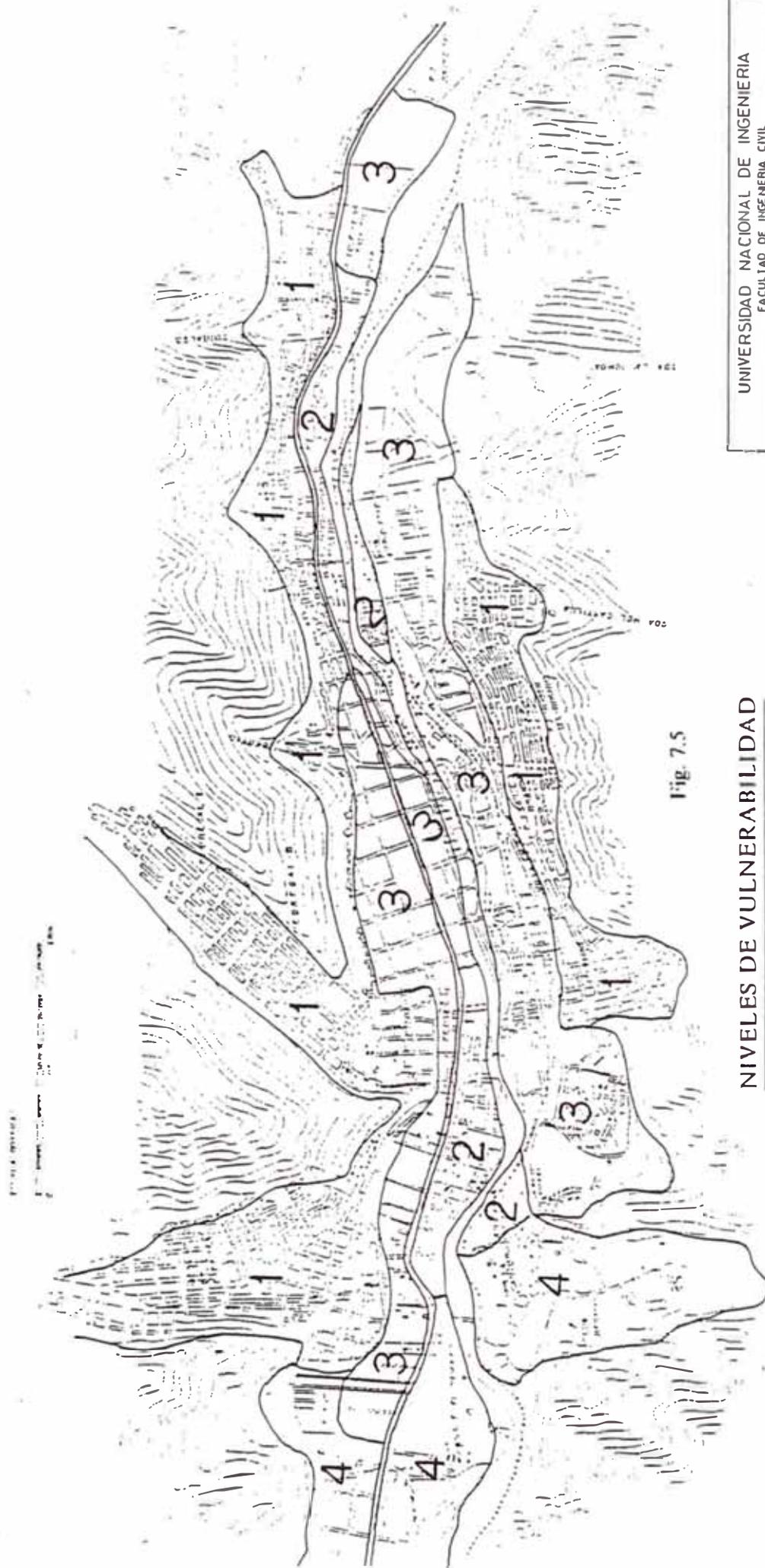


Fig. 7.5

NIVELES DE VULNERABILIDAD

- 1.- ALTO
- 2.- MEDIO
- 3.- MODERADO
- 4.- BAJO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
TESIS: METODO DE CONECCION DEL DRENAJE PARA EVITAR LOS HUAYCOS
ASUNTO: VULNERABILIDAD DE CHOSICA
Asesor: Ing. JUJO KUROIWA H. Fecha: Octubre 91 Fuente: INADLH

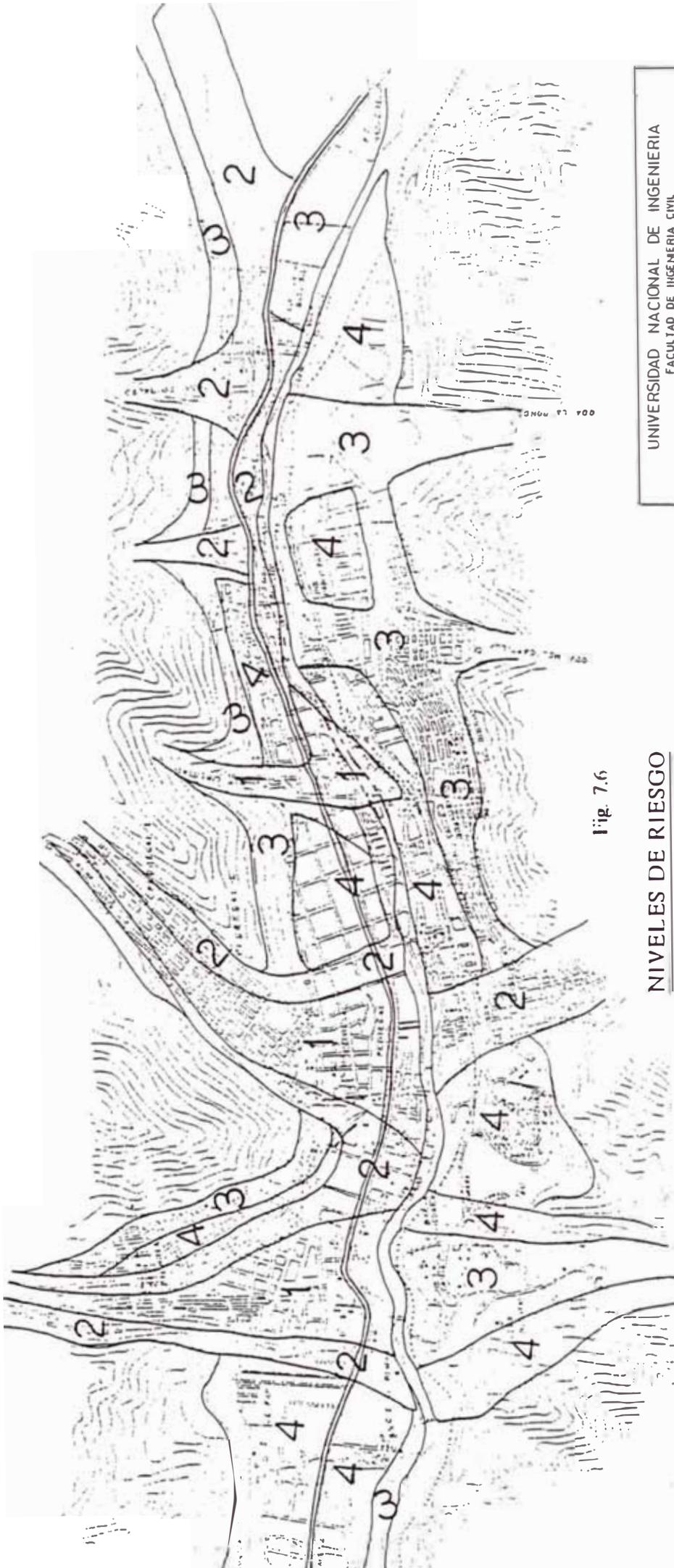


Fig. 7.6

NIVELES DE RIESGO

- 1.- ALTO
- 2.- MEDIO
- 3.- MODERADO
- 4.- BAJO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
TESIS: METODO DE CORRECCION DEL DRENAJE PARA EVITAR LOS HUAYCOS
ASUNTO: RIESGO EN CHOSICA
Asesor: Ing JULIO KUROIWA H. Fecha: Octubre '91 Fuente: INIAOUR

7.2.2. MAPEO INDIRECTO

El objetivo principal de la técnica del mapeo indirecto o causal es construir un modelo matemático que sea suficientemente cercano a la exactitud del sistema real de laderas. Aunque los problemas de geodinámica externa puedan cubrir grandes porcentajes de superficies de algunas áreas, los cálculos de la relativa estabilidad o inestabilidad de las laderas, son necesarios para un planeamiento del empleo de las laderas o de una cuenca.

La posibilidad de emplear las técnicas modernas asistidas por computadoras destinadas a un análisis del riesgo se han incrementado. La aplicación de las metodologías de estadísticas se pueden dividir en dos tipos de análisis: Primero, gran parte del trabajo tiene como objetivo determinar los problemas de geodinámica externa y el **riesgo relativo** que afectan a las laderas. Este trabajo se continúa desarrollando hasta hoy en día, pero no puede proporcionar exactamente ninguna indicación respecto al momento de aparición del fenómeno.

Debida a la naturaleza inexacta de varios parámetros, el segundo tipo de análisis se puede describir como un **pronóstico de riesgo**, debido a que el objetivo es pronosticar por ejemplo el momento real de una avalancha. Por lo general, el pronóstico del riesgo requiere de una intensa entrada de datos con varios de los parámetros necesitando ser determinados exactamente, con algunos factores claves para ser supervisados regular y continuamente.

Por este motivo, los pronósticos se realizan con referencia a inestabilidades que siguen vías conocidas o trayectos y que poseen una continuidad de caída de material renovable. Gran parte del trabajo se realizará en áreas propensas a avalanchas y huaycos relacionados con rastros reconocidos, o depósitos de flujos de tierra.

7.2.2.1. RIESGO RELATIVO

En Australia, Stevenson (1977), ha propuesto un método simple para determinar el riesgo relativo por deslizamiento de tierra en laderas de arcilla. El cálculo se basa en cinco factores: un índice de plasticidad P como un factor de arcilla; la hidrológia W como el nivel máximo anual de agua subterránea relativo a un plano de falla geológica típica; un ángulo de ladera S, la complejidad de la ladera que denota la existencia de fallas antiguas, nuevas o inexistentes; y el uso de la tierra U. La ecuación que se utiliza es la siguiente:

$$\text{Riesgo} = \frac{(P + 2W)(S + 2C)}{U} : \text{Vulnerabilidad por Peligro} \dots(7.1)$$

Este resultado de riesgo es interesante debido a que el factor de "uso de tierra" en cierta medida toma en consideración la vulnerabilidad, produciendo así una evaluación de riesgo antes que del "peligro".

De acuerdo con el método propuesto por Stevenson, se propone en esta tesis uno similar para determinar el riesgo de huaycos de las quebradas, considerando

para ello la relación que existe entre la topografía, hidrológica, suelos y vegetación factores existentes en la generación de un huayco. Este método tiene la siguiente notación:

S = Permeabilidad y tipo de suelo en la quebrada

H = Precipitación anual promedio que cae sobre la cuenca

T = Topografía de la quebrada

V = Vegetación de la quebrada

U = Uso del suelo

El fundamento teórico se describe interpretando el origen y mecanismo del huayco. A la precipitación (H), se le asigna un factor de peso igual a 2 por ser éste el principal agente dinámico en la generación de un huayco; asimismo asignamos a la vegetación (V) un peso similar de 2, por ser también éste el factor que favorece o impide el movimiento del lodo. En conclusión desarrollamos las siguientes fórmulas:

$$S + 2H = \text{LODO}$$

$$T + 2V = \text{MEDIO DE TRANSPORTE}$$

$$\text{LODO} \times \text{MEDIO DE TRANSPORTE} = \text{HUAYCO}$$

Entonces:

$$\text{RIESGO} = \frac{(S + 2H)(T + 2V)}{U} = \frac{\text{VULNERABILIDAD}}{\text{POR PELIGRO}} \dots (7.2)$$

Para la determinación del riesgo mediante la fórmula anterior hemos elaborado el cuadro 7.1, en la que los factores que intervienen en ella se les ha asignado un valor numérico obteniéndose valores cuantitativos del riesgo, para así poder

establecer más adelante un rango o intervalos de riesgo para una cuenca que se este estudiando.

Cuadro 7.1. Puntaje para la obtención del Riesgo por Huaycos

CARACTERISTICA DE LA CUENCA	CARACTERISTICAS PRODUCTORAS DE LA ESCORRENTIA Y SUS CORRESPONDIENTES VALORES NUMERICOS			
	EXTREMO	ALTO	NORMAL	BAJO
RELIEVE	Terreno escarpado y empinado con pendientes mayores del 30%. Puntos.....40	Accidentado, con pendientes promedios del 10% al 30% Puntos.....30	Ondulado con pendientes promedio del 5% al 10% Puntos.....20	Relativamente plano con promedio del 5% al 10% Puntos.....10
INFILTRACION	Sin una capa efectiva de suelo, terreno rocoso de insignificante capacidad de infiltración. Puntos.....20	Lentos para absorber el agua arcilla u otro suelo de baja capacidad de infiltración. Puntos.....15	Normal, franco profundo con infiltración similar a suelos típicos de praderas Puntos.....10	Alto, Arena u otro suelo que absorbe el agua fácil y rápidamente Puntos.....5
COBERTURA VEGETAL	Terreno desnudo o sin cobertura vegetal. Puntos.....20	Cobertura regular, cultivos limpios o natural pobre. Menos del 10% del área bajo buena cobertura. Puntos.....15	Regular a buena, cerca del 50% del área con pastos, bosques o no más del 50% de cultivos limpios Puntos.....10	Excelente, cerca del 90% del área con buenos pastizales bosques o cobertura vegetal Puntos.....5
ALMACENAMIENTO SUPERFICIAL	Casi sin depersiones, pozas poco profundas, desagües pequeños y empinados, no hay lagunas o pantanos. Puntos.....20	Bajo, sistemas bien definidos de pequeños desagües, no hay lagunas o pantanos. Puntos.....15	Normal: Considerable almacenamiento en depersiones, lagunas y pantanos menores del 2% del área Puntos.....10	Alto almacenamiento en depersiones superficiales, drenaje no bien definido; lagunas y pantanos Puntos.....5

Se puede observar del cuadro 7.1, que los valores de "H" no intervienen en ella, debido a que la precipitación depende de la zona o región en que se este evaluando el riesgo. Es por este motivo que el cuadro 7.2, que se muestra a continuación es válido tan solo para la cuenca del río Rímac, de la cual contamos con datos de las precipitaciones promedios anuales.

Cuadro 7.2 Valores de "H" para la cuenca del Rímac

VALORES DE "H"	PRECIPITACION PROMEDIO ANUAL	NIVEL
1	Menor de los 100 m.m.	BAJO
2	Entre los 100 a 250 m.m.	MEDIANO
3	Entre los 250 a 700 m.m.	ALTO
4	Mayor de los 700 m.m.	MUY ALTO

Seguidamente se han evaluado todos los parámetros en la fórmula (7.2) a fin de determinar el nivel de riesgo de la quebrada que se este estudiando. El siguiente cuadro nos proporciona estos valores:

Cuadro 7.3 Valores y niveles de Riesgo

VALORES DE "R"	NIVELES DE RIESGO
0 a 6	BAJO
7 a 24	MEDIANO
25 a 65	ALTO
Mayor de 65	MUY ALTO

Para efecto de ilustrar la aplicación de éste método, se presenta a continuación un ejemplo, para lo cual hemos tomado a la quebrada de San Antonio de Pedregal para la determinación del riesgo.

Tenemos los siguientes valores para la quebrada del Pedregal:

$$S = 2$$

$$T = 3$$

$$V = 3$$

$$H = 2$$

$$U = 1$$

$$\text{RIESGO} = \frac{(2 + 2 \times 2)(3 + 2 \times 3)}{1} = 54.0$$

De acuerdo a la clasificación dada en la tabla anterior, se tiene que con $R = 54.0$ la quebrada San Antonio del Pedregal es de Alto Riesgo a los huaycos, lo que confirma el estudio determinado del mapeo directo en esa zona. Como vemos la aplicación de esta fórmula nos proporciona el riesgo relativo de una quebrada de una forma rápida y confiable, para luego realizar estudios de mapeo directo y poder determinar los niveles de riesgo de la quebrada.

7.2.2.2. PRONOSTICO DEL RIESGO

En los casos donde los riesgos se repiten, por ejemplo en el caso de huellas de huaycos y avalanchas, el problema no es tanto definir la distribución espacial del riesgo, sino la **predicción temporal** de su aparición, es decir el pronóstico del riesgo. Una vez que se han evaluado los lugares de riesgo (es decir, la determinación de las zonas vulnerables por las avalanchas de huaycos), el objetivo de la predicción es determinar la probabilidad de la aparición del riesgo así como el riesgo "aceptable" de tal manera que las áreas en peligro puedan ser evacuadas o ser declaradas zonas restringidas. La metodología de estos pronósticos especialmente para los huaycos se basa en el estudio de la intensidad de las lluvias,

por ser éste fenómeno el principal agente dinámico del origen de las avalanchas de lodos y piedras que descienden por las quebradas de la serranía peruana.

El perfeccionamiento de los cálculos hidrológicos en el curso de las últimas décadas permite contemplar el empleo de un método para pre-determinar la eventual ocurrencia de un huayco. Para la pre-determinación en el caso de la ciudad de Chosica, es necesario disponer la curva de intensidad-duración-frecuencia para un período de retorno frecuente de huaycos en la zona, en nuestro caso ocurre para $T_r = 5.5$ años y dicha curva responde a la siguiente ecuación:

$$I_n = \frac{1162}{29 + t_n}$$

Con esta ecuación se determina el tipo de aguacero crítico con un tiempo de comienzo "to" hasta el final del mismo "tn", encontrándose los valores respectivos de "Io" hasta "In". Estos valores son transformados en altura de precipitación (mm de agua), que serían los valores que registraría un pluviómetro instalado en la zona. El análisis es el siguiente:

$$I = \frac{\Delta h}{A t} ; \text{Entonces : } Ah \text{ (mm)} = \frac{I \text{ (mm/h)} \Delta t \text{ (minutos)}}{60}$$

Cabe recalcar que estos valores de Ah (ver cuadro 7.4) son válidos para la estación de Sta. Eulalia y para la localidad de Chosica, por ser localidades vecinas y de condiciones geofísicas y meteorológicas similares, y no es válido extrapolarlas a otra estación.

Cuadro 7.4. Pronóstico de huaycos en Chosica por precipitación pluvial

t (minut.)	$I = 1162/(29 + t)$ (mm/h)	Ah (mm)	PRONOSTICO
	38.73	0.65	
5	34.18	2.85	Menores de estos valores indican pronóstico Bajo
10	29.79	4.97	
15	26.41	6.60	
20	23.71	7.90	
25	21.52	8.97	
30	19.69	9.85	
40	16.84	11.23	Valores mayores o iguales indican peligro. Es necesario evacuar las zonas de Alto riesgo
50	14.71	12.26	
60	13.06	13.06	
75	11.17	13.96	Amenaza de un gran huayco. Evacuar zonas de mediano y alto riesgo.
90	9.76	14.64	
120	7.80	15.60	

Duración total = 120 minutos = 2 horas

Altura Total de precipitación = 15.60 mm.

El cuadro 7.4, muestra los valores **máximos puntuales** (es decir los que serían observados en un pluviómetro) para un huayco cuya frecuencia o período de retorno es igual a 5.5 años, por ser muy destructor. Estos valores serían los factores o parametros de predicción, que evalúan el peligro de la ocurrencia de un huayco y su dimensión, según la escala de altura de precipitación determinada en el cuadro.

Sería muy conveniente instalar un sistema eléctrico conectado a los pluviómetros con la finalidad de que estos activen sirenas o altavoces de preven-

ción para la evacuación de los pobladores, en el caso de que la precipitación sobrepase los valores establecidos para la zona. Por ejemplo para la ciudad de Chosica el sistema eléctrico activaría las alarmas de evacuación si alguno de los pluviómetros instalados en las partes altas de los cerros circundantes, registrará una altura de precipitación mayor o igual a 9.85 mm. en un tiempo de 30 minutos de lluvia.

Es entonces necesario experimentar y comprobar lo planteado, pues esto es un intento de predecir un fenómeno como el huayco que se produce principalmente debido a las precipitaciones pluviales; por esto se recomienda instalar una red de pluviómetros en la zona de Chosica y Sta. Eulalia a fin de evaluar y precisar los valores encontrados anteriormente durante los meses de lluvias, y así poder evacuar o prevenir a tiempo a los pobladores que habitan en lugares vulnerables a estos fenómenos.

7.3. PROPUESTA DE PLANES PARA LA PREVENCIÓN Y MITIGACIÓN DE DESASTRE OCASINADO POR HUAYCOS

Esta es una propuesta que está orientada fundamentalmente a educar a los adultos y escolares en el conocimiento de los peligros naturales y en las acciones que se deben tomar frente a la condición de una emergencia.

Sus principales objetivos son:

1. Promover y orientar las acciones de capacitación teórica y práctica al estudiantado y población en general, tendientes a mantener un comportamiento adecuado antes, durante y después de la ocurrencia de un fenómeno natural.
2. Estudiar la seguridad de las zonas de menor riesgo , así como programar y realizar ensayos de evacuación por vías seguras.
3. Elaborar manuales que enfoquen la problemática de los desastres, y definir las tareas de prevención, emergencia y recuperación.

Ante la eventualidad de la presencia de grandes huaycos que pueden presentarse por las quebradas que bordean a la ciudad de Chosica, proponemos las siguientes medidas de prevención:

1. No construir en el fondo o partes bajas de las quebradas por donde anteriormente bajaron huaycos.
2. Despejar y limpiar las calles de piedras y de todo aquello que pueda impedir una rápida evacuación.
3. En la parte baja de la quebrada, limpiar el cauce natural del huayco.
4. Construir un sistema de drenaje con la finalidad de corregir y evacuar el escurrimiento superficial de las lluvias.
5. Fomentar la forestación de las quebradas.
6. Construir cunetas en las calles por donde huaycos anteriores corrió agua y lodo.
7. La señal de alerta se dará por medio de sirenas, silbatos o altavoces que los dirigentes encargados harán sonar.

8. Proteger las viviendas que no puedan ser reubicadas o que se encuentren en zonas de mediano riesgo con muros o paredes a fin de mitigar los efectos del huayco.
9. Identificar las rutas de evacuación desde las zonas peligrosas hacia las zonas de seguridad.
10. Realizar ensayos de evacuación hasta que ésta se haga de manera eficiente y ordenada.

Seguidamente proponemos las siguientes medidas de emergencia que se deben tomar en el caso de un desastre originado por un huayco.

1. Se procede a la evacuación ordenada hacia las zonas de seguridad (refugios temporales).
2. Traslado de los heridos a los centros de atención médica.
3. Evaluación y empadronamiento de los afectados.
4. Los dirigentes coordinarán las acciones de ayuda alimentaria, información sobre daños, pérdidas, gestiones de apoyo y otros más.
5. Facilitar las vías de acceso de los vehículos hacia los refugios temporales.
6. Limpieza del cauce en previsión de otros huaycos.

Se debe recordar que si no se controla el pánico de los pobladores, pueden ocurrir muchos accidentes. Si ellos saben como actuar, entonces el pánico no se apoderará de ellos. En caso de locales escolares que se ubiquen en cursos de huaycos, deben determinarse los límites de las zonas amenazadas, que deben ser evacuadas hacia zonas de seguridad.

En conclusión estas actividades propiciarán que todos contribuyan en la preparación de la protección de la vida y propiedades para permitir la continuidad del desarrollo económico, social y cultural de una comunidad.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

1. El ser humano debe estar educado para afrontar cualquier desastre y si es posible prevenirlo o mitigarlo.
2. Es posible afrontar adecuadamente los desastres si:
 - a. Conocemos las causas que generan los desastres.
 - b. Conocemos el tipo de desastre que puede ocurrir en nuestra localidad.
 - c. Realizamos estudios que nos permitan prevenir o mitigar a los fenómenos que causan desastres.
3. El concepto de "Desastre Natural" debe de interpretarse como "Desastre originado por fenómenos naturales".
4. Vivimos en un territorio comprendido dentro de un marco de formación geológica inestable, sujeto a procesos evolutivos que hacen propicios la ocurrencia de diversos tipos de fenómenos.
5. Cuanto más crece una ciudad sin conocimiento de riesgo, ésta se hace más vulnerable a los desastres provocados por los fenómenos naturales o como los ocasionados por el propio ser humano.

6. Si bien los fenómenos naturales son inevitables, los efectos externo del fenómeno pueden ser controlados previniéndolos o mitigandolos con el fin de evitar su acción destructora.
7. La prevención y mitigación debe ser analizada bajo dos medidas:
 - a. Medidas estructurales.
 - b. Medidas no estructurales.
8. La priorización de estudios a realizarse para la prevención y mitigación de desastres causados por los fenómenos naturales más frecuentes en el Perú (Terremotos, deslizamientos, huaycos e inundaciones) es el siguiente:
 - a. Región Lima
 - b. Región Andrés Avelino Caceres
 - c. Región Los Libertadores Wari
 - d. Región Chavin
 - e. Región Inca
9. Existen soluciones reales, efectivas y económicas para evitar la ocurrencia de un huayco, mediante la construcción de un sistema de drenaje en la quebrada, que permita corregir y evacuar las aguas pluviales de la parte alta y media de una cuenca. Lo que proponemos es una medida estructural para la prevención de huaycos.
10. Hay dos factores muy importantes que influyen en el sistema de drenaje, ellos son:
 - a. Factores naturales: La pendiente del terreno, la naturaleza de los suelos, la vegetación existente, la intensidad y regimen de lluvias.
 - b. Factores técnicos: Generalmente son los procesos constructivos y de mantenimiento del sistema de drenaje.

11. El sistema de drenaje evita la erosión aluvial y conserva e intensifica la vegetación natural.
12. Dadas las características de la topografía y clima de la sierra peruana es posible implementar y adecuar el sistema de drenaje con fines agrícolas.
13. Los desastres que ocurrieron en Chosica causados por los huaycos en 1987 y 1989, ocurrieron porque las viviendas y demás infraestructura se encontraban en las inmediaciones del cauce natural de las quebradas.
14. La tasa de crecimiento poblacional del área urbana de Chosica es del 6%, contando actualmente con 90,000 habitantes y habiéndose ocupado casi la totalidad del área disponible para la expansión urbana.
15. Debido a los resultados obtenidos y comparados con otros estudios realizados en Chosica, la fórmula propuesta por Federich Bell para la determinación de las curvas de intensidad-duración-frecuencia es aceptable para su aplicación en regiones que presenten lluvias torrenciales de tipo convectivo con una duración menor o igual a 2 horas, y con períodos de retorno comprendidos entre 2 y 100 años.
16. Se ha establecido un período de retorno de 5 a 6 años aproximadamente, para que se presente por lo menos un huayco en las quebradas que bordean la ciudad de Chosica.
17. El diseño del sistema de corrección del drenaje del Pedregal presentado en el capítulo VI de la tesis se encuentra en un nivel de anteproyecto debido a la falta de información topográfica, es decir, debemos contar por lo menos con planos a una escala de 1:5,000 de toda la cuenca.
18. El costo aproximado en la ejecución del sistema de corrección del drenaje para la quebrada del pedregal es de 4 millones de dólares (incluido 2 badenes y las

obras de protección en la parte baja, no se incluye el drenaje urbano), muy inferior a la propuesta hecha por JICA con presas Sabo (12 millones de dólares).

19. Debemos continuar con el estudio del sistema de corrección del drenaje para cuencas diagnosticadas como de alto riesgo ante los huaycos.
20. Desde el punto de vista de medidas no estructurales, la ciudad de Chosica ha sido analizada desde dos enfoques: Mapeo directo y Mapeo indirecto, y ambos dan resultado de alto riesgo ante la presencia de huaycos o avalanchas que descienden por sus quebradas.
21. El mapeo directo de la ciudad de Chosica ha sido evaluado mediante la determinación del riesgo (Peligro + Vulnerabilidad física) y la determinación del peligro de las quebradas que la bordean.
22. En el mapeo indirecto se determina primero el riesgo relativo de una quebrada que ha presentado eventos anteriores y luego se determina el pronóstico del riesgo.
23. En el análisis para la determinación del riesgo relativo se presenta una metodología muy simple y rápida, basados en los factores generadores de los huaycos, es decir el tipo de suelo que presenta la quebrada, la topografía, la vegetación, la precipitación anual promedio que cae sobre la cuenca y un factor de uso de suelo de la parte baja de la quebrada.
24. Así mismo se han determinado rangos de valores del riesgo relativo para la cuenca del río Rímac, a fin de evaluar las subcuencas afluentes al río.
25. El pronóstico de riesgo determina la predicción temporal del huayco, basado principalmente en el estudio de las curvas de intensidad- duración-frecuencia de las precipitaciones pluviales en la zona de Chosica. Cabe mencionar que

de instalarse una estación pluviométrica o una red de ellos en la zona mencionada , el pronóstico sería el siguiente:

Tiempo (minutos).	Altura de precipitación (milímetros)	Pronóstico.
30	9.85	Menores de estos valores indican pronóstico bajo
60	9.85 a 13.06	Indican Peligro. Probable ocurrencia de un huayco.
120	13.06 a 15.60	Evacuar zonas de mediano y alto riesgo. Ocurrencia de un gran huayco.

26. Desarrollar programas de asistencia técnica, educación y capacitación.

27. Evitar la creciente concentración de poblaciones en zonas urbanas y el desarrollo de la infraestructura física en áreas propensas a peligros naturales.

RECOMENDACIONES

1. Elaborar planes de prevención de desastres en zonas de alto riesgo. En tal sentido se recomienda:
 - a. Formar un comité de prevención en cada comunidad
 - b. Elaborar un Plan de prevención donde se incluyan medidas que disminuyan o eliminen la vulnerabilidad.
 - c. Organizar las tareas comunales que pueden ser:
 - 1) Capacitación para los pobladores
 - 2) Faenas comunales
 - 3) Apoyo a gestiones
 - 4) Búsqueda de financiamiento para poner en práctica el plan de prevención.

2. Elaborar planes durante el desastre. Los preparativos abarcan lo siguiente:
 - a. Comprender la amenaza
 - b. Formular pronósticos y advertencias
 - c. Organización de la población como: defensa, evacuación, rescate, información y difusión.
 - d. Capacitación de grupos de socorro
 - e. La asignación de fondos necesarios para la emergencia.

3. Elaborar planes de emergencia en cada comunidad. En tal sentido se recomienda elaborar un plan de emergencia tomando en cuenta los siguientes puntos:
 - a. Protección y reforzamiento de viviendas que se encuentren en mal estado constructivo.
 - b. Rutas de evacuación
 - c. Preparación de zonas de refugio temporal
 - d. Zonificar las áreas afectadas en caso de emergencia.
 - e. Formación de un Comité de Salud, encargado de los primeros auxilios, hasta la llegada de la atención médica profesional.
 - f. Comisión de información y difusión cuya labor es poder controlar la desorganización y el pánico que se genera después de un desastre, porque muchas veces este factor amplifica la magnitud del desastre.

4. Elaborar planes a ejecutar después del desastre. En tal sentido se recomienda:
 - a. Ubicación de una área para la reubicación temporal. Esto se puede lograr mediante la debida planificación y la microzonificación del área urbana.
 - b. Establecer un programa de viviendas.
 - c. Apoyo a la auto-construcción utilizando materiales de la propia zona.

5. Elaborar un inventario preliminar de amenazas a nivel Municipal y Regional.

6. Imprimir y distribuir cartillas sobre la prevención y mitigación de desastres causados por los fenómenos naturales más frecuentes de la región.
7. Considerar la prevención de desastres en la planificación urbana y obras de ingeniería.
8. Prevenir la influencia antrópica negativa como la deforestación, sobrepastoreo, eliminación inadecuada de desechos, invasión de canales de drenaje. etc.
9. Conservar y mejorar el uso de los recursos en una cuenca.
10. En la sierra, recuperar los andenes que se encuentran en estado de abandono.
11. De acuerdo con la zonificación climática de la cuenca del río Rímac se recomienda las siguientes medidas para la prevención de huaycos.

ZONAS ARIDAS:

-Sistema de drenaje pluvial:

- a. Canales de acopio y de derivación en las laderas de los cerros.
- b. Terrazas de drenaje en el llano aluvial.

-Diques para el control de cárcavas.

-Sistemas de uso de agua de escorrentía de cárcavas.

-Encauzamiento en la parte baja

-Forestación de las laderas.

ZONAS SEMI-ARIDAS:

-Sistema de drenaje pluvial:

- a. Canales de infiltración en las laderas de los cerros
- b. Terrazas de infiltración en el llano de la cuenca

c. Rehabilitación y construcción de andenes

-Diques para el control de cárcavas

-Reforestación o regeneración de pastos en zonas sobrepastoreadas

ZONAS HUMEDAS:

-Andenes o terrazas agrícolas

-Muros de contención y diques para el control de cárcavas

12. Propiciar la construcción del sistema de corrección del drenaje pluvial para las cuencas generadoras de huaycos, con la finalidad de evitarlos.
13. Construir un adecuado sistema de drenaje superficial con cunetas de base para el casco urbano.
14. Propiciar el drenaje de los techos de las viviendas con canales de media caña y tubos verticales motantes en las paredes.
15. El diseño definitivo del drenaje urbano para el P.J. San Antonio del Pedregal requiere de planos a escalas 1/200 a 1/500, donde deben ser localizados todas las líneas de servicio públicos (agua, electricidad, teléfonos y alcantarillado) para no interferir con el sistema de drenaje urbano.
16. Construir badenes en los cruces del cauce de los huaycos.
17. Construir taludes de defensa con piedras cementadas a ambos márgenes del cauce natural que presenten poca profundidad.
18. Propiciar la forestación con árboles en los bordes laterales del cauce natural como protección de posibles desbordes de huaycos.
19. Garantizar el mantenimiento del sistema de drenaje.
20. Limpieza del cauce natural de la quebrada con anterioridad a los meses de lluvia.

21. Demoler y reubicar las viviendas que se encuentren afectadas dentro de los límites del encauzamiento.
22. Capacitar a las comunidades en técnicas de drenaje y de conservación de suelos.
23. Instalar una red hidrometereológica para la zona de Chosica para el pronóstico de huaycos elaborado en el capítulo VII.
24. No autorizar más asentamientos humanos en las partes bajas de quebradas identificadas con alto riesgo.

BIBLIOGRAFIA

1. BERNARDO, A.; "Control de las inundaciones de la ciudad de Tumbes (quebrada Los Tumpis)". Tesis N° 2840, UNI -FIC.
2. COTRINA, Luis; "Huaycos y desbordes del río Rímac"; Tesis UNI -FIC , 1982.
3. CARRILLO, A. "Estabilidad y comportamiento de los suelos del Perú"; CONCYTEC - 1989.
4. CISMID - FIC -UNI; "Prevención Y Mitigación de Desastres"; Memorias del primer simposio nacional; Lima junio de 1987.
5. CONCYTEC; "Andenes y camellones en el Perú andino"; Enero de 1986
6. CHAVEZ DIAZ; "Inundaciones, huaycos y sequias"; Revista del ingeniero civil N° 26 y 29 ; Lima marzo y abril de 1984
7. CHEREQUE M. "Hidrología para estudiantes de ingeniería civil"; PUCP, Lima 1989.
8. HANSEN, A; "Landsile Hazard Analysis"; Slope Instability Edited by D. Brunnsden, 1984 John Wiley & Sans Ltd.
9. INADUR; "Asistencia técnica a centros poblados afectados por desastres naturales: Huaycos casos de Chosica y Matucana"; Lima 1989.
10. INGEMMET; "Estudio geodinámico de la cuenca del Rímac"; Lima, abril de 1988.

11. INGEMMET; "Informe Técnico preliminar de la zona afectada por los huaycos del 9 de marzo de 1987 en Chosica"; Lima, marzo de 1987.
12. JICA; "Plan maestro de la cuenca del Rímac"; Lima, enero de 1988.
13. KATSUTARO Yano; "Sinopsis de las obras para el control de erosión (SABO) en el Japón"; Lima 1988.
14. KUROIWA, H.; "Mitigación de desastres en el proceso del desarrollo regional"; VII Congreso nacional de Ingeniería Civil, Ancash 1988.
15. KUROIWA, H.; "Plan nacional para la mitigación de desastres"; Conferencia presentada en el seminario UNI - CISMID en marzo de 1991.
16. LINSLEY, Ray; "Hidrología para ingenieros"; Edit. McGraw - Hill, 2da. edición.
17. LINSLEY, Ray; "Recursos Hidráulicos"; Edit. McGraw - Hill, 8va. edición.
18. MANSÉN, Alfredo; "Drenaje"; Apuntes de clase 1990 - 91, dictado en la Facultad de Ingeniería Civil de la UNI.
19. MARTINEZ, A.; "Huaicos, aluviones, una realidad aún no comprendida"; II Congreso nacional de ingeniería, CIP 1982.
20. MARTINEZ, A.; "Estudio geotécnico de la zona del Pedregal-Chosica"; PREDES, 1988.
21. MARTINEZ, A.; MARTINEZ J.; "Ingeniería geotécnica en zonas de desastres naturales, quebrada del Pedregal-Chosica"; VII Congreso nacional de Ingeniería Civil, Ancash 1988.
22. MARTINEZ, A.; "Rescate de tecnología para el diseño de encauzamiento del huayco"; 4to. Simposio nacional de prevención de desastres; UNI - CISMID, Mayo de 1990.
23. MENDOZA, J.; "Ingeniería Civil folklórica"; Tesis n° 2086, UNI - FIC.

24. MORA, Sergio; "Inestabilidad de laderas en la cuenca alta del río Chicamocha - Dpto. Boyaca - Colombia"; marzo 1990.
25. O'CONNOR, Hugo; "Investigación del huayco de Chosica - 1987, sus efectos y medidas de mitigación"; Tesis N° 2228 UNI - FIC; diciembre de 1988.
26. ONER; "Estudio geomorfológico aplicado al control de huaycos de la cuenca Río Seco"; Lima - Perú, julio de 1985.
27. PLANMET; "Proyecciones de población del distrito de Lurigancho; Documento de trabajo.
28. PREDES; "Segunda evaluación de daños y situación actual de los damnificados de Chosica y Santa Eulalia"; Lima 1987.
29. RODRIGUEZ, Valdez; "Compendio de Geología General"; Lima 1981.
30. RODRIGUEZ, Edgar; "Plan de defensa de Inundaciones"; 3er. Simposio nacional de prevención y mitigación de desastres; UNI - CISMID, junio de 1989.
31. ROSELL, Arturo; "Irrigación"; Lima - Perú, mayo de 1985.
32. SALGADO, Felipe; "Control de las inundaciones"; Conferencia presentada en la Sociedad mexicana de Geografía y Estadística el 25 de octubre de 1955.
33. SANCHEZ, O. "Terrazas de plataforma constante"; Cuba 1972.
34. SATO, Onuma; "Prevención de desastres urbanos"; Conferencia presentada en el seminario de Planeamiento para la mitigación de desastres en el CISMID - UNI, Lima marzo de 1991.
35. STEVENSON, P.C. (1977). An empirical method for the evaluation of relative landslide risk (Proc. Symp. Int. Assoc. Engng Geol. PRAHA). Int. Assoc. Engng Geol. Bull., 16, 69-72.

36. TAYPE, Vidal; "Aplicación de mapas geodinámicos en la prevención de desastres naturales"; 4to. Simposio nacional de prevención de desastres; UNI - CISMID, Mayo de 1990.
37. VASQUEZ A. & CHANG-NAVARRO; "Manual técnico de conservación de suelos"; 4ta. Edición 1989, Banco Agrario; Lima - Perú.
38. VASQUEZ, Oscar; "Los huaycos de Chosica: Una alternativa de solución"; Conferencia presentada en el 3er simposio nacional de prevención y mitigación de desastres en le CISMID - UNI; Junio de 1989.
39. VEN TE CHOW; "Hidráulica de los canales abiertos"; febrero de 1983.
40. UNDRG; "Prevención y mitigación de desastres, Vol. 10"; Aspectos de información publica.

ANEXOS



FOTO N^o 1.- P.J. San Antonio ubicado en el cono deyeectivo de la quebrada Pedregal de Chosica.



FOTO N^o 2.- Cauce natural de la quebrada Pedredal

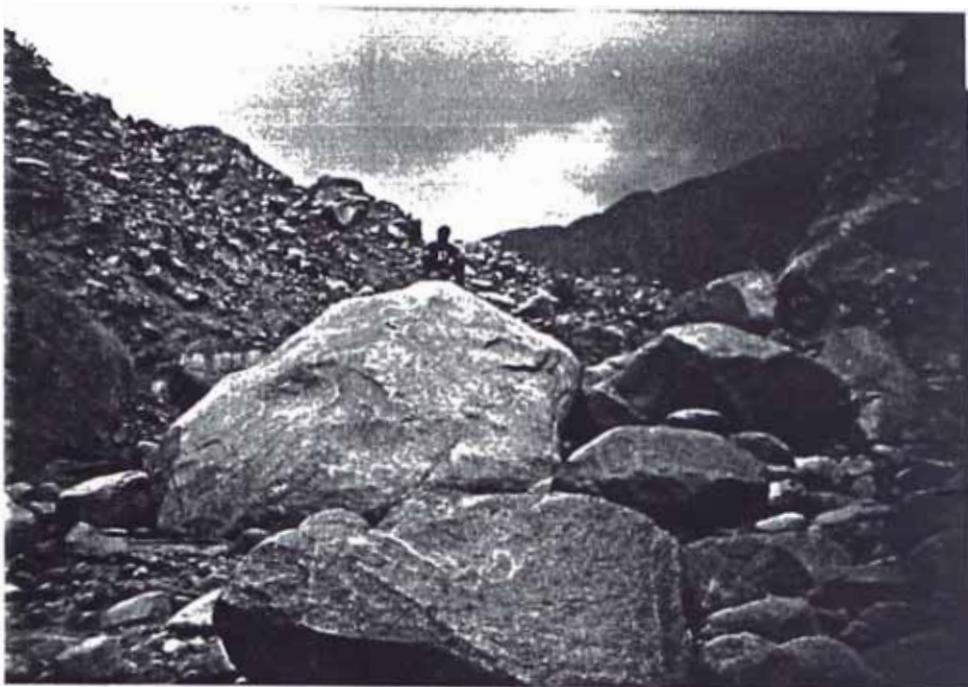


FOTO N^o 3.- Grandes bloques de piedra acarreados por huayecos anteriores que se han depositado en la parte baja y media del cauce.



FOTO N^o 4.- En ésta foto se muestra la división del cauce natural en dos partes, formándose una gran 'y'.



FOTO N^o 5.- Aquí se muestra la meteorización de las rocas como la granodiorita descomponiéndose en arena gruesa y que más tarde formará el lecho del cauce.



FOTO N^o 6.- En la foto se observa a un tributario de aporte pluvial y en ella se observa el desordenado drenaje de la cuenca evidenciado por las líneas blancas.



FOTO N^o 7.- Cañada en proceso de formación de su perfil hidráulico.



FOTO N^o 8.- Canal construido por los pobladores sin asistencia técnica con la finalidad de aprovechar el excedente de la Central Hidroeléctrica de Moyopampa para luego contar con terrenos agrícolas



FOTO N^o 9.- Forestación de las laderas con andenes y terrazas en la localidad de Sta. Eulalia.

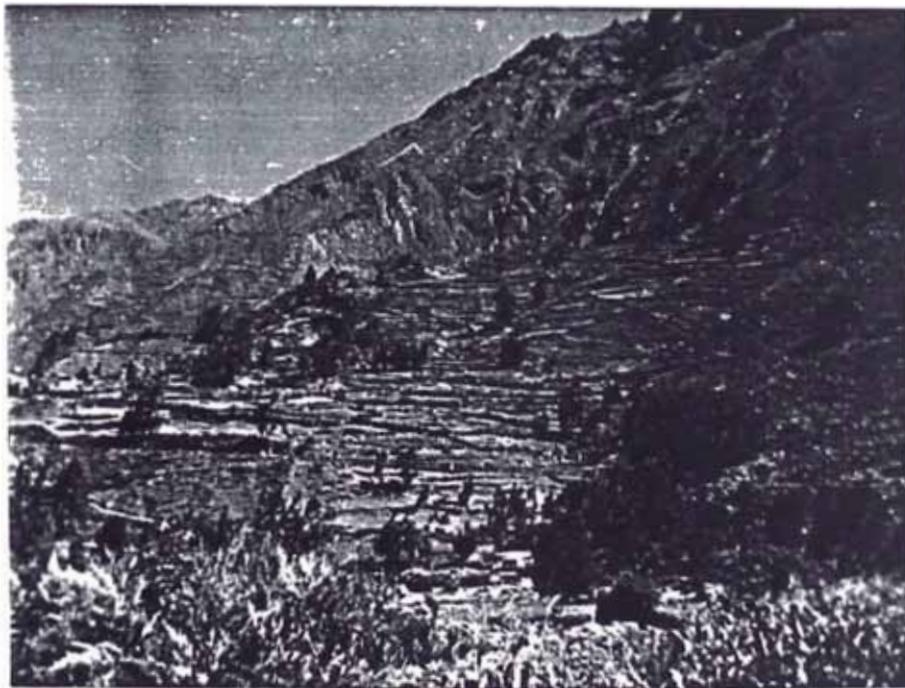


FOTO N^o 10.- Tratamiento de las laderas con terrazas de banco con fines agrícolas (cuenca del río Chillón.)



Foto 11: Este muro se contruyo como medida de defensa, pero no cuenta con la suficiente altura como para evitar un huayco mediano ante la eventualidad de sufrir una obstrucción.

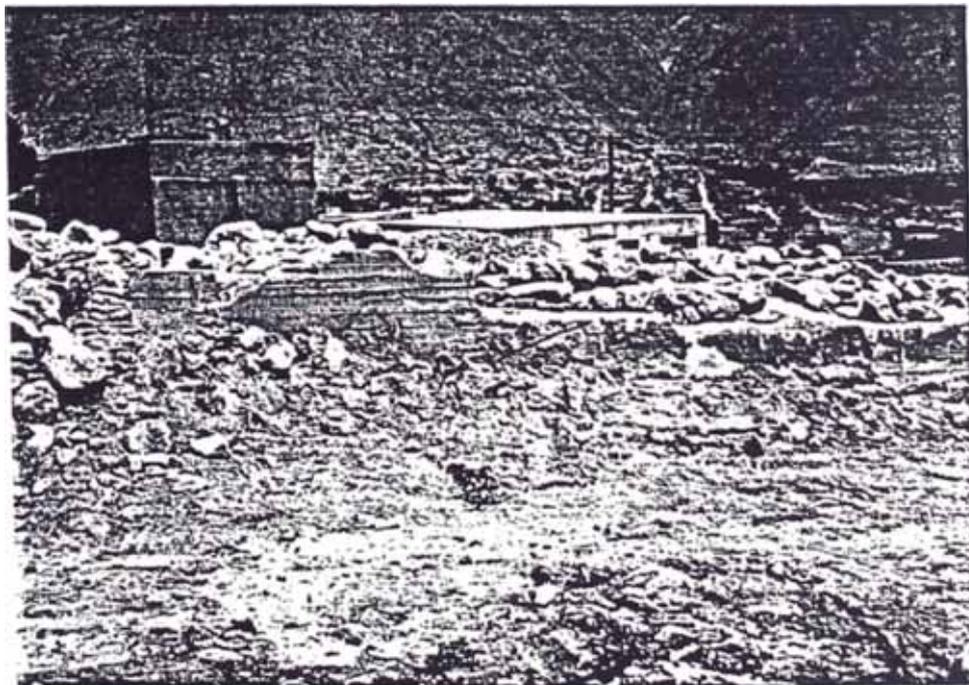


Foto 12: Muros ciclópeos para defensa contra huavcos. Después de estas defensas aparecen las viviendas.



Foto 13: vista de la profundización artificial del cauce para poder manejar un posible futuro huayco.

SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA

DIRECCION DE METEOROLOGIA

DIVISION DE CLIMATOLOGIA

UTISHA
122

ESTACION DE AUTISHA Plu 5122

LAT. "S" DEPTO. LIMA

OBSERVACIONES DE PRECIPITACION MAXIMA
EN 24 HORAS Y FECHA

LONG. "W" PROV. HUAROCHIRI

ALT. 2.250 msnm. DIST. CHACLLA

AÑOS	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DECIEMBRE	TOTAL	MEDIA
1980		0.3 ¹⁸	7.5 ³⁷	4.0 ⁴	0.4 ⁸		0.0	0.0	0.2 ⁹	5.3 ⁷⁹	2.1 ³⁰	0.4 ⁸		
1981	13.7 ¹⁵	9.9 ²²	13.6 ⁶	5.0 ⁵	0.1 ⁷	0.3 ⁹	0.1 ¹⁴	1.7 ³⁰	2.1 ²⁴	6.0	3.3 ¹¹			
1982	7.7 ²⁵	11.2 ¹⁵	3.1 ²⁴	6.7 ⁷	6.0 ⁴	0.0	0.3 ²⁹	1.0 ²³	0.0	5.3 ²⁸	5.1 ⁶	0.4 ²⁰		
1983				7.1 ⁷	0.0	0.0	0.0	0.0						
1984	5.1 ³¹	14.0 ¹¹	5.1 ⁵	7.2 ¹⁸	0.5 ¹⁰	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4 ⁶	4.5 ¹²	4.6 ²⁶		
TOTAL														
MEDIA														
1985	3.1 ¹¹	6.4 ⁶	2.0 ²¹	6.3 ³⁰	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2 ⁹	1.4 ¹¹	0.0	1.1 ³		
1986	3.6 ¹¹	3.4 ¹⁵		4.0 ³⁰	4.0 ²	0.0	0.0	0.0	4.3 ⁵	0.0	0.0	4.1 ²⁵		
1987	6.3 ¹⁹	10.0 ¹⁰	11.6 ⁷	5.9 ¹⁰	4.3 ⁸	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.1 ²⁰	4.2 ²³		
1988	6.7 ³⁰	9.8	7.4 ²²	1.9 ³	1.0 ⁷	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6 ²⁰	0.4 ¹⁷	3.2 ²³		
1989	10.5 ²²	20.3 ³	2.6 ¹⁶	1.3 ²	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.1 ¹²				
TOTAL														
MEDIA														
TOTAL														
MEDIA														
TOTAL														
MEDIA														
TOTAL														
MEDIA														
TOTAL														
MEDIA														
TOTAL														
MEDIA														
TOTAL														
MEDIA														
TOTAL														
MEDIA														
TOTAL														
MEDIA														
TOTAL														
MEDIA														
TOTAL														
MEDIA														
TOTAL														
MEDIA														
TOTAL														
MEDIA														
TOTAL														
MEDIA														
TOTAL														
MEDIA														
TOTAL														
MEDIA														
TOTAL														
MEDIA														
TOTAL														
MEDIA														
TOTAL														
MEDIA														
TOTAL														
MEDIA														
TOTAL														
MEDIA														
TOTAL														
MEDIA														
TOTAL														
MEDIA														
TOTAL														
MEDIA														
TOTAL														
MEDIA														
TOTAL														
MEDIA														
TOTAL														
MEDIA														
TOTAL														
MEDIA														
TOTAL														
MEDIA														
TOTAL														
MEDIA														
TOTAL														
MEDIA														
TOTAL														
MEDIA														
TOTAL														
MEDIA														
TOTAL														
MEDIA														
TOTAL														
MEDIA														
TOTAL														
MEDIA														
TOTAL														
MEDIA														
TOTAL														
MEDIA														
TOTAL														
MEDIA														
TOTAL														
MEDIA														
TOTAL														
MEDIA														
TOTAL														
MEDIA														
TOTAL														
MEDIA														
TOTAL														
MEDIA														
TOTAL														
MEDIA														
TOTAL														
MEDIA														
TOTAL														
MEDIA														
TOTAL														
MEDIA														
TOTAL														
MEDIA														
TOTAL														
MEDIA														
TOTAL														
MEDIA														
TOTAL														
MEDIA														
TOTAL														
MEDIA														
TOTAL														
MEDIA														
TOTAL														
MEDIA														
TOTAL														
MEDIA														
TOTAL														
MEDIA														
TOTAL														
MEDIA														
TOTAL														