

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL



**"TRATAMIENTOS EN LADERAS Y QUEBRADAS
PARA EL CONTROL DE LAS LLOCLLAS
EN EL VALLE DEL RIMAC"**

TESIS

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

CESAR AUGUSTO LEON-PRADO ALADZEME

PROMOCION 87 - I

FIC - UNI

LIMA-PERU

1989

SUMARIO

A lo largo de mi trayectoria por las aulas de esta digna Universidad, hubo en mí una constante preocupación e interés por los desastres naturales que afectan a nuestro país. Y vi reflejada esa inquietud cuando decidí estudiar el origen y el porqué de los huaycos.

Todos los peruanos, conocen o han oído hablar de los huaycos y los daños que éstos causan. Pues bien, ¿a quién corresponde, entre los diversos profesionales, desarrollar las ideas para reducir los daños que éstos fenómenos geodinámicos generan, sino es al ingeniero?

Paralelo a éste fenómeno natural, que no es otra cosa que una manifestación de la naturaleza, dada las características ecológicas del medio en el cual se genera; se viven experiencias desagradables como es la pérdida de un potencial agrícola existente y que año a año va depreedándose por la falta de apoyo a nuestra comunidades campesinas.

Es así, como en el presente trabajo, se busca no sólo controlar la fuerza destructiva de los huaycos, sino vencer a la depredación y al avance de la aridización con tratamientos propios, que años atrás desarrollaran los Incas con verdadero éxito y bajo experiencias de miles de años desde la época pre-colombina..

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
BIBLIOTECA CENTRAL

JEFATURA

DEDICATORIA

A mis padres y hermanos, por su
constante apoyo en mi desarrollo
profesional.

**TRATAMIENTOS DE LADERAS Y QUEBRADAS PARA EL CONTROL DE LAS
LLOCLLAS EN EL VALLE DEL RIMAC.**

INDICE

- INTRODUCCION	11 - 14
- CAP. I :	
LA ARIDIZACION EN EL PERU.	
- 1a-Panorama de la situación agrícola actual.	15 - 19
1b-El avance de la aridización.	20 - 21
1c-La escasez del recurso hídrico.	22 - 26
1d-Necesidad de recuperar tecnología nativa.	27 - 29

000133211

- CAP. II :

EL FENOMENO LLOCLLA EN EL VALLE DEL RIMAC.

2a-Definiciones.	30 - 33
2b-Aspectos generales de la zona de estudio.	34 - 38
2c-Factores y Causas de los huaycos.	39 - 45
2d-Formación y desarrollo de las cárcavas.	46 - 51
2e-Problemas que ocasionan.	52 - 54
2f-Evaluación geográfica y cronológica de los fenómenos en el valle del Rimac.	55 - 62

- CAP. III :

**EVALUACION DE LOS RECURSOS HIDROLOGICOS EN LA
CUENCA DEL RIMAC.**

3a-Características físicas.	63 - 65
3b-Precipitación pluvial.	66 - 68
3c-Análisis hidrológico.	69 - 70
3d-Infiltraciones del agua en el suelo.	71 - 74

CAP. IV :

MEDIDAS PLANTEADAS PARA SU PREVENCIÓN.

4a-Generalidades.	75 - 76
4b-Sistemas precolombino: Andenería.	77 - 89
4c-Sistemas actuales: Nacionales e Internacionales - Comentarios	90 - 97

- CAP. V :

EL P'UNQU.

5a-Definiciones.	98 - 101
5b-Trazado y construcción del P'unqu.	102 - 107
5c-Recuperación del recurso hídrico, control de las llocllas y otras ventajas.	108 - 114
5d-Cálculo hidrotécnico y dimensionamiento.	115 - 120
5e-Análisis de costo.	121 - 124

- CAP VI :

**METODOLOGIA PLANTEADA EN EL TRATAMIENTO DE LAS
LADERAS CONTRA LA EROSION EN EL VALLE DEL RIMAC.**

6a-La erosión del suelo y su control.	125 - 141
---------------------------------------	-----------

6b-Características de los andenes y bancales existentes en la zona.	142 - 147
6c-Estudio Económico.	148. - 152
- CONCLUSIONES.	153 - 158
- RECOMENDACIONES.	159 - 161
- BIBLIOGRAFIA.	162 - 165
- ANEXO.	166 - 167

INTRODUCCION

En el primer capítulo, se analiza el problema de la aridización en el Perú, mostrándose la disponibilidad agrícola insuficiente y carente de una alternativa de solución futura, de acuerdo a la política agrícola actual. A ello se suma la escasez del recurso hídrico y su problema fundamental en la ciudad de Lima, verdaderamente alarmante, lo que urge a tomar medidas correctivas para la recarga del acuífero y aprovechar en lo posible los períodos de lluvia, como lo hicieran los Incas, para satisfacer la demanda de una población creciente.

Se realizan algunas comparaciones de rendimiento agrícola y nos demuestra la falta de un conocimiento de nuestro medio ambiente, y de un uso apropiado de las nuevas tecnologías; lo que nos invita a reflexionar sobre las técnicas incaicas y precolombinas para el tratamiento de nuestro precioso suelo.

Como una consecuencia de ésta deficiencia agrícola en nuestra serranía y la pérdida de toda una tecnología desarrollada a través de miles de años, nos encontramos ante

un fenómeno natural, muy común en nuestro medio, que más parece ser una degradación del comportamiento normal de la naturaleza.

Decimos que el huayco es uno de los fenómenos naturales más comunes en nuestro medio y de mayor daño a la ingeniería nacional, pues sólo bastaría en mirar los cuadros y tablas estadísticas que las respectivas organizaciones del estado nos la muestran y que al respecto, sólo se han presentado conjeturas y polémicas, mas no planteamientos sustanciales a realizar.

Para los pobladores de la sierra y las estribaciones andinas los meses de Enero , Febrero y Marzo son sinónimos de destrucción y muerte. Es la época de lluvias torrenciales, huaycos y desbordes de los rios. Algunos con gran suerte salvarán sus vidas, pero contemplarán, impotentes, como sus viviendas, cultivos y animales desaparecen bajo la costra de lodo.

Son muchos los peruanos que han aportado algo valiosos a la solución de éste problema, en su debido momento, sin embargo no se ha tenido la conciencia suficiente por parte de las autoridades para encarar el problema, que lamentablemente tanto daño nos hace al país año a año.

En el cuarto capítulo del presente trabajo, se estudia las medidas que se han planteado para su prevención; y para ello empezamos tal vez por la más importante y la que será la pieza fundamental de éste trabajo para plantear una alternativa de solución acorde con nuestra realidad.

Las terrazas agrícolas (Andenería), es uno de los logros más importantes de la agricultura prehispánica. En éste caso el elemento motor para una mejor utilización de agua de las redes hidrográficas naturales, se asocia a la voluntad de conservar el suelo de la erosión hídrica. La construcción de éstas banquetas tiende tanto a la retención del suelo, como a dotar la tierra de la posibilidad de embeber el agua que de otro modo sólo mojaría la superficie del terreno.

Así lograríamos que el agua de escorrentía no sólo descienda lentamente, sino que de alguna forma contribuya a la recarga del acuífero y retardar en lo posible su descarga al océano.

A lo largo de miles de años, los Incas comprendieron que reducir los daños causados por los huaycos, no consiste en frenar la fuerza del torrente, sino que simplemente evitar en lo posible que el fenómeno se genere.

Paralelo a la rehabilitación de los andenes, investigamos los sistemas de contra-erosión de laderas y designamos tales procesos como el Pung'u, que no viene a ser otra cosa que un

sistema de terrazas estrechas con tierra a manera de pequeños lomos, que tienen la finalidad no sólo la de recuperar el recurso hídrico y el control de las lloccllas, sino que también incrementar el rendimiento agrícola de la zona.

En los capítulos siguientes se realiza un cálculo hidrotécnico para el dimensionamiento y construcción de estos bancales, planteando las respectivas recomendaciones. Así mismo, una evaluación económica por hectárea del proyecto.

I

LA ARIDIZACION EN EL PERU

1a- Panorama de la situación agrícola actual.

A manera de información, presentamos las últimas evaluaciones agrícolas realizadas por la ONERN (1):

	COSTA	SIERRA	SELVA
uso agrícola actual.	760000 HA	1517000 HA	440000 HA
superf. de la región.	13570000 HA	38880000 HA	76000000 HA
% de superf. cultivada.	5.6%	3.9%	0.6%
disponib. por habitante.	0.08 HA/hab	0.21 HA/hab	0.23 HA/hab
aptitud agric. evalua. ONERN.	1637000 HA	1361000 HA	4611000 HA

Superficie actual cultivada :

-2.1 % de la extensión territorial (2.7 millones HA)

Total de tierras cultivables :

-6.0 % de la extensión territorial (7.6 millones HA)

A esto deducimos, que sólo el 36% del potencial total agrícola se utiliza actualmente, quedando 4880000 HA de tierras a incorporar.

Clasificación de tierras desde el punto de vista agrícola:

La evaluación de la aptitud agrícola realizada por la ONERN se basó en la siguiente clasificación :

A)- Tierras aptas para cultivo en limpio.- son las mejores tierras, permiten la remoción periódica y continuada del suelo para el sembrío de cultivo de corto periodo vegetativo o intensivos (1 año). Se disponen sólo de 4902000 HA. (3.81%).

En la costa, existen principalmente en los valles irrigados; mientras que en la sierra, se les encuentran en zonas de topografía suave y fondo de valles abrigados.

B)- Tierras aptas para cultivos permanentes.- son aquellas cuyas condiciones ecológicas no son adecuadas para la remoción periódica y continuada del suelo, pero se permite la implantación de cultivos perennes y semiperennes (arboles frutales). Se disponen de 2707000 HA. En la costa se les encuentran en la cabecera de los valles irrigados; mientras que en la sierra en algunos valles de topografía

relativamente suave. Sus principales limitaciones están referidas a las escasas profundidades y pedregosidad.

C)- Tierras aptas para pastos.- se disponen de 17916000 HA.(13.94%) localizándose en las regiones altoandinas (a partir de los 3300m.).

D)- Tierras aptas para producción forestal.- se disponen de 48696000 HA.(37.9%) localizándose en la vertiente oriental boscosa, comprendiendo la selva alta y la selva baja.

E)- Tierras de protección.- constituyen todas aquellas tierras que no reúnen las condiciones ecológicas mínimas requeridas para cultivos intensivos, permanentes, de pastos y producción forestal. Están constituidos por un área de 54300000 (42.25%).

De lo mencionado, vemos que actualmente la disponibilidad de tierras agrícolas es de 0.14 HA/hab. Por otra parte de acuerdo a la hoja de balance de alimentos de 1972 y los rendimientos medios de parcelas a 1976, nos permite saber que la superficie promedio que requiere la adecuada alimentación de un peruano es de 0.2758 HA/hab.; cifra de la cual sólo llegamos al 50%. Asumiéndose ahora que para el año 2000 seamos 30 millones de peruanos, necesitaríamos incorporar 1400000 HA. al menos para mantener la misma dotación actual, sin embargo ésta cantidad sería casi utópica si continuamos

con la misma política agrícola en la incorporación de nuevas áreas cultivables. Considerando un rango de crecimiento del 6% al 12%, proporciones más acordes con la realidad y a los registros históricos de incorporación de tierras al agro en el país, tendríamos para el año 2000 un total de 0.11HA/hab, lo que representaría el 40% de la alimentación normal; a éste paso la gente no podría producir lo esperado y menos, pensar mejor.

Sin embargo, el problema de la insuficiente producción no es de ahora, ya que desde el virreynato al perderse la tecnología nativa que permitía exportar alimentos al Ecuador, Panamá, Chile, etc., nuestro país desde 1647 se vió obligado a importar en cantidades crecientes, primero de Chile, luego de la Argentina y últimamente de USA. (2)

En un medio tan accidentado como el nuestro, es posible volver a utilizar las técnicas que permitieran excelentes resultados hace más de 450 años y con ello todos esos años de experiencia agrícola que vivieron desde las culturas precolombinas.

Según el informe sobre población mundial 1988, la producción anual de alimentos en el mundo deberá incrementarse entre 3% a 4% hasta fines del presente siglo para permitir alimentar adecuadamente a los mil cien millones de nuevos seres humanos que nacerán hasta esa fecha. (3)

El incremento agrícola requiere de una acción concertada de los gobiernos, de los organismos no gubernamentales, de las

organizaciones internacionales, de las comunidades y de los individuos en torno a diversos puntos. Estos son, entre otros: sistemas de investigación y extensión agraria, rehabilitación de las tierras de cultivo degradadas, explotación sostenible de las tierras altas de las cuencas hidrográficas; uso de abonos y pesticidas no riesgosos para el medio ambiente, freno a la erosión de las laderas y a la desertificación.

.....

- (1). "Los recursos naturales del Perú" ONERN (1985)
- (2). "Regeneración del recurso hídrico en el Perú"
Santiago E. Antúnez de Mayolo (1985)
- (3). "El Comercio" 17-07-88

1b- El avance de la aridización.

La revisión de varios textos del siglo XVI a la fecha, deja la impresión de que nos hallamos ante un proceso de aridización y su comprobación se encuentra en las ruinas de poblaciones precolombinas a la vera de los cauces de los ríos, que dejaron de correr desde hace ya varios milenios.

A ésto se suma la acción del poblador peruano, que durante los últimos 450 años, no hizo más que aprovechar los bosques que existían en la costa, valles, etc. Contribuyendo así a la desertificación por aumento del albedo y disminución de la precipitación pluvial, ya que los suelos descubiertos aumentan la reflexión de ondas infrarrojas, modificando las condiciones de circulación atmosférica que limitaba la ocurrencia de lluvias. Además, al desaparecer la cobertura forestal, las lluvias no llegan a infiltrarse al suelo en gran volumen, y son rápidamente descargadas al mar, por lo que la evapotranspiración queda notablemente reducida, y como tal la contribución de la humedad a la formación de nubes y lluvias quedan disminuidas.

Estudios realizados por Petersen testimonian que en el norte la aridización avanzó a 2 Km/siglo, mientras que en el valle de Lima avanzó a 2.4 Km/siglo y a 4 Km/siglo en Nazca; transformando tal avance en una elevación y correlativa reducción de la cuenca húmeda, ello implicaría una

disminución de la escorrentia. Esto explicaría la diferencia en la apreciación de las descargas de los ríos costeros, que se hallan en descripciones de los siglos XVI y XVII con la observada en nuestros días. (4)

Si bien a la corriente fría peruana se le atribuye el origen de la aridez en la costa, fue Schweigger quien señaló el cambio de clima y la mudanza de la fauna, como consecuencia de un progresivo desplazamiento hacia el norte de la corriente peruana. Por otra parte, podemos suponer que el proceso de progresiva aridización, es debida al desplazamiento de la placa de Nazca de Oeste a Este; teóricamente sería difícil probar esto, sin embargo nos podemos valer de lo que se marcó en la historia; las leyes nativas nos hablan de grandes crisis climatológicas con sequías durante muchos años, coincidentes con catastróficos procesos sísmicos. Esto se deduciría a que se produce un afloramiento de grandes masas de agua al existir un movimiento muy profundo en la zona de subducción, trayendo como consecuencia un enfriamiento de las aguas superficiales y con ello una menor tasa de evaporación ocasionando una menor precipitación en el flanco occidental. (5)

En general, éste proceso de aridización que se produce es algo natural e irreversible, que obligaría a adoptar medidas inmediatas para minimizar el efecto.

1-c La escasez del recurso hídrico.

En el ande, el agua es un tema constante de preocupación, de conversación, de sueño y deseo. Siempre se habla de los tiempos antiguos, "cuando el agua era más abundante".

Así, estudios de estratificación realizados en los andenes del valle del Rímac, nos indica que ha existido un cambio importante en el régimen pluvial de la zona, dada la no existencia de una estratificación visible de los sedimentos, estratificación que debería hallarse si los depósitos hubieran sido traídos por lluvias periódicas a intervalos más o menos largos; la regularidad de los depósitos parece indicar que ellos se han producido por pequeñas y frecuentes capas en forma continua, no mediando entre una y otra el tiempo necesario a establecer sobre la superficie de una y el basamento de la otra. Por otro lado, los elementos del suelo, tras el muro, están constituidos por diorita disgregada proveniente de la cumbre de los cerros, (6). Esto sugiere que tales depósitos fueron traídos por aguas de lluvia frecuente, continuadas y normales para el período de tiempo considerado de formación, y no por lluvias accidentales y periódicas como las que tenemos a la fecha.

Por otro lado, de acuerdo a los cronistas, encontramos que se hace referencia a las miles de leguas de cordilleras nevadas

y de como se valían de las cumbres nevadas para ubicar la entrada a los puertos.

En 1895 Squier determinó la línea de equilibrio de nieves perpetuas a los 4495m. 14 años más tarde Sievers los halló a los 4550m. En 1972 la cota de equilibrio de la cordillera Blanca se hallaba a los 4740m., en 1980 asciende a 4946m. De seguir ésta proyección al año 2000 se encontraría hacia los 5500m. (7)

Ablación de los nevados

año	1895	1972	1980	2000
.....				
Línea de las nieves perpetuas.	4495m.	4740m.	4947m.	5500m.

El proceso de ablación y la escasez de precipitación continúa, puede ser explicada por la acción desertizadora ocasionada por el excesivo pastoreo, la denudación de la cobertura alto-andina y el incremento de los focos calientes a lo largo de la costa; todo ello contribuye al alejamiento de las lluvias, nevadas y a la elevación de la cota de isohietas y de equilibrio de los nevados.

Es decir que en un futuro, de no crear condiciones favorables para la precipitación pluvial, las generaciones futuras se hallarán ante un problema sin solución.

Problema del recurso hídrico en la ciudad de Lima

Las aguas superficiales del río Rímac y el acuífero subterráneo, de las partes bajas de los valles del Rímac y del Chillón, abastecen de agua potable a la ciudad de Lima. El agua superficial se potabiliza en la planta de la Atarjea y se distribuye mediante una red de tuberías que abastece al 60% de la población.

El agua subterránea se capta en unos 260 pozos que administra SEDAFAL y otros privados que sirven básicamente a industrias.

Los caudales promedio de abastecimiento son los siguientes :

- Planta de tratamiento de la Atarjea :	11.35 m ³ /seg
- Galerías filtrantes en la Atarjea :	0.25 m ³ /seg.
- Pozos de SEDAFAL :	4.10 m ³ /seg
- Pozos privados :	3.10 m ³ /seg

TOTAL :	20.80 m ³ /seg.

Con ésta dotación actual tenemos un déficit de 2 m³/seg, lo que explica la escasez de agua en el cono norte, cono sur y

En conclusión, vemos que la escasez del recurso hídrico para la ciudad de Lima es verdaderamente alarmante y urgen medidas para su pronta solución a corto y mediano plazo. Entre las medidas a corto plazo podríamos señalar el de recargar el acuífero costero, mediante sistemas de filtración en laderas (captando así la máxima escorrentia posible) y entre las soluciones a mediano plazo, estaría la obra de transvase del Mantaro a la vertiente del Pacífico, siendo su punto más económico de unión en la cabecera del rio Santa Eulalia, desde sus inicios en la laguna de Milloc derivada directamente de la laguna de Marcapomacocha.

Además de los problemas mencionados, se suma el poco tiempo que demoran las lluvias precipitadas en las cabeceras de nuestras cordilleras para llegar al mar (7 a 9 hrs.), salvo, en los rios Chili y Tambo (19hrs.), Santa y Chira (38hrs.), Piura (46hrs.). Debiéndose ésto a la alta gradiente de nuestros suelos andinos (vertiente del Pacífico), determinando que sólo un 25% de las aguas de escorrentia sea utilizadas en la agricultura, perdiéndose en el mar un 75%. (SENAMHI 1980).

-
- (4), (5), (7). "Regeneración del recurso hídrico en el Perú".
Santiago E. Antúnez de Mayolo. 1985.
- (6). "Tecnología Andina" ITINTEC -- Ravines.

1-d Necesidad de recuperar tecnología nativa.

Estudios realizados en el nevado Quelcaya por Thompson, en base a testigos de perforaciones, nos revela que en los últimos 1500 años, el Perú atravesó periodos de sequía a otros periodos de lluvias intensas, con etapas secas de hasta 4 siglos, como el que sucediera entre los años 1250 y 1310. Es decir que correspondió a los Incas desarrollar el imperio y llevarlo a una gran productividad cuando las condiciones climatológicas no eran muy favorables. Esto explica el porque del profundo dominio que tenían de la hidráulica y riego. (8)

Si comparásemos el rendimiento de la agricultura actual, con la de antaño, podemos comprobar que a la fecha, en el país, no existe un conocimiento exacto del uso del territorio y tampoco un uso apropiado de las nuevas tecnologías. Según aparece en una histórica carta del obispo Valverde, la producción de trigo en el Cuzco, cuando se utilizaban las técnicas incaicas eran de unos 13000 kilos por Ha., en cambio actualmente al haberse perdido esa tecnología, apenas se cosechan 1000 kilos por Ha. (9)

Se piensa, que los rios de la costa no son manejables, debido a que sus puntas tienen muy altos volúmenes de descarga, Sin embargo, ello implica desconocer que los antiguos peruanos

dominaron rios caudalosos, y los represaban sólo una vez al año, tales como el Tumbes, Chira, Piura, Santa, etc. La solución consistía en dejar pasar las puntas y represar las aguas limpias. Estos embalses eran ciegos, pues lo que interesaba no era el escurrimiento del agua por una compuerta de la presa, sino que por infiltración elevara el nivel acuifero de la costa, para mantener así más tiempo la vegetación y protegiendo además el crecimiento de malezas y arbustos.

Es indudable que la tecnología hidráulica Inca empleó la estadística para resolver diversos problemas, registrando en los Quipus los más mínimos objetos, formulando modelos estadísticos de previsión de clima, los que eran ajustados por coeficientes proporcionados por la naturaleza : fauna y flora.

Actualmente, el departamento de Puno puede ser considerado como el más pobre del país, sin embargo, por la cantidad y diversidad de restos arqueológicos de andenería y qochas, es evidente que los habitantes del altiplano supieron manejar su medio ecológico con una eficiencia sorprendente; las qochas representan uno de los más ingeniosos sistemas de riego desarrollados en la agricultura prehispánica en armonía con las características geológicas y climáticas de la región. Lo más interesante de todo esto es que el sistema se mantiene vigente tal como se puede apreciar en Llallahua, donde existen alrededor de 200 qochas con lo cual podemos

hacer una comparación de rendimientos agrícolas, pues en ésta zona se llega a obtener de 18 a 20 kilos de papa por Ha. en comparación a una agricultura normal en la sierra de 7 a 10 kilos/Ha.(10)

Vemos pues así, que la recuperación de tecnología propia andina no sólo es importante sino también necesaria, para así recuperar el equilibrio ecológico y aprovechar al máximo el recurso hídrico disponible.

.....

- (8). "Regeneración del recurso hídrico en el Perú"
Santiago E. Antúnez de Mayolo (1985)
- (9). "El Comercio" 25-03-88
- (10). "El Comercio" 07-07-88

II

EL FENOMENO LLOCLLA EN EL VALLE DEL RIMAC

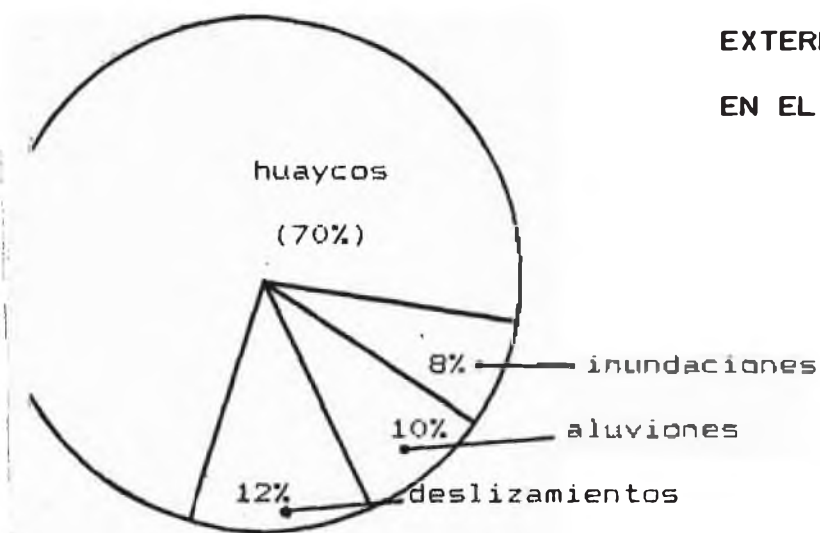
2a- Definiciones.

El territorio peruano, por su posición geográfica emplazada a lo largo del eje de la cordillera andina, orogénicamente activa, presenta una topografía accidentada de condiciones geomorfológicas, geológicas, climáticas y litoestructurales complejas que hacen propiciar la ocurrencia de eventos geodinámicos, internos y externos, constituyendo un problema de alta incidencia por sus efectos destructivos para el desarrollo de las obras de ingeniería, agricultura, asentamientos humanos, etc.

Entre los fenómenos geodinámicos externos tenemos a los huaycos, deslizamientos, inundaciones y aluviones, los cuales están gobernados por las características de cada región: morfología del terreno, condiciones climáticas propias, mecánica de los glaciares, etc. Estas características tienen relación directa con el menor o mayor grado con que se producen éstos fenómenos naturales.

A lo largo de la historia de desastres naturales en el Perú, registradas desde el año 1925 a la fecha, se han producido cerca de 5000 huaycos, siendo éste el fenómeno geodinámico de mayor ocurrencia en nuestro medio correspondiéndole sólo a la ciudad de Lima el 25%, es por ello la razón y la importancia de su estudio en el presente trabajo. (11)

**FENOMENOS GEODINAMICOS
EXTERNOS REGISTRADOS
EN EL PERU DESDE 1925.**



Ref. Vidal Taype R.

Los huaycos son un fenómeno muy conocido por el hombre peruano desde que se instaló en las profundas quebradas andinas que, por sus características morfológicas y su escaso o casi nula vegetación, presentan condiciones favorables a la formación de éstas destructivas lavas torrenciales, a base de

lodo y piedras, las cuales descienden violentamente por las quebradas secundarias de la cordillera y sus ramificaciones, provenientes de las cabeceras de montañas y demoliendo cuanto halla al paso; mientras que el aluvión, es una avalancha violenta cuyas proporciones de magnitud y velocidad son mayores a la de un huayco, pudiéndose deber también su formación a la ruptura de presas artificiales de origen glaciario.

En general los huaycos y aluviones no respetan nada cuando se les deja desarrollar, arrasando con todos los intentos de obras que pretenden detenerlos por lo que no sería técnico hacer obras para su canalización y/o contención, antes es necesario buscar el modo de reducir todo aquello que le permita funcionar y alcanzar su evolución y desarrollo dentro de su cuenca.

Señalaremos ahora la diferencia entre huayco y lloclla; llamaremos lloclla al agua de escorrentía que baja por las quebradas, arrastrando consigo partículas pequeñas de roca y suelo, desarrollándose ésta en las partes altas de las laderas y quebradas. Y llamaremos huayco cuando ésta lloclla alcanza una magnitud considerable en fuerza de arrastre, transportando masa de lodo y piedras depositándolo en el cono de deyección.

Por otra parte, cabe indicar de que existen dos tipos de agua de avenida : llapana e ihuanco.

Aquella que desciende de la cabecera de la costa cuando llueve en ella y arrastra material de erosión eólica, rica en feldespatos y calizas, de color blanquizo se les llama mal agua (llapana). Con éstas aguas se corrigen los suelos que se hallan ensalitrados, pues basta uno o dos remojos profundos con ella para neutralizar la sal.

El material en suspensión arrastrado por ésta calidad de agua es nociva para las tierras francas de cultivo, ya que deja sobre ellas una capa compacta.

El ihuanco es aquella de color siena, barrosas, que según Domingo de Santo Tomás (1560) significa abono; son aguas que traen material orgánico y arcillas en suspensión, que van engrosando los suelos cultivables. (12)

-
- (11). "Las catástrofes naturales como problema en el desarrollo de la ingeniería nacional" Vidal Taype Ramos
II congreso Nacional de Ingeniería (1986).
- (12). "Regeneración del recurso hídrico en el Perú"
Santiago E. Antúnez de Mayolo (1985).

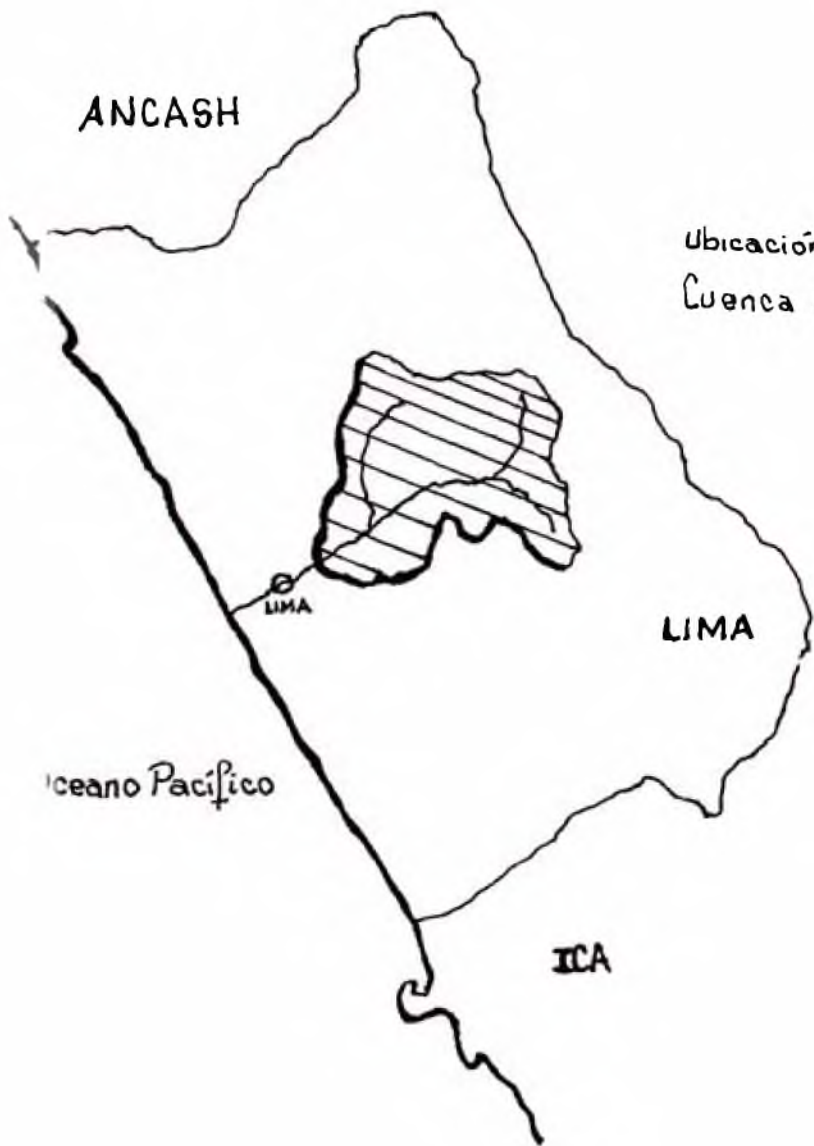
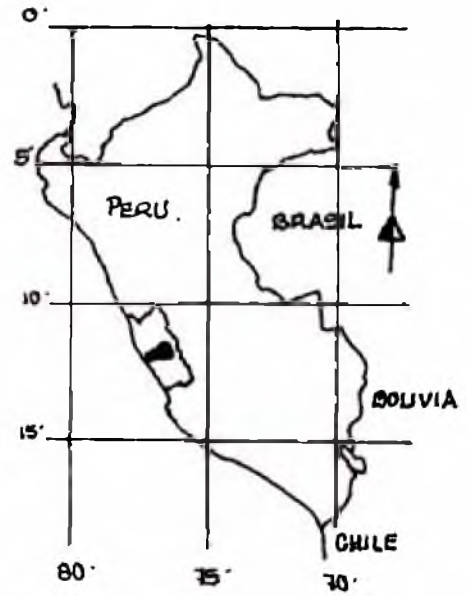
2b- Aspectos generales de la zona en estudio.

Uno de los valles de la costa peruana que involucra mayor difusión de fenómenos geodinámicos, según la estadística de ocurrencia de éstos, es la cuenca del Rímac; por donde cruza la carretera central, la línea férrea y en donde se emplaza importantes centros poblados. (ver plano A).

El río Rímac nace en la laguna del Ticticocha. La cuenca se halla comprendida entre las coordenadas geográficas $76^{\circ}05'$ y $77^{\circ}10'$ de longitud Oeste, $11^{\circ}25'$ y $12^{\circ}10'$ de latitud sur.

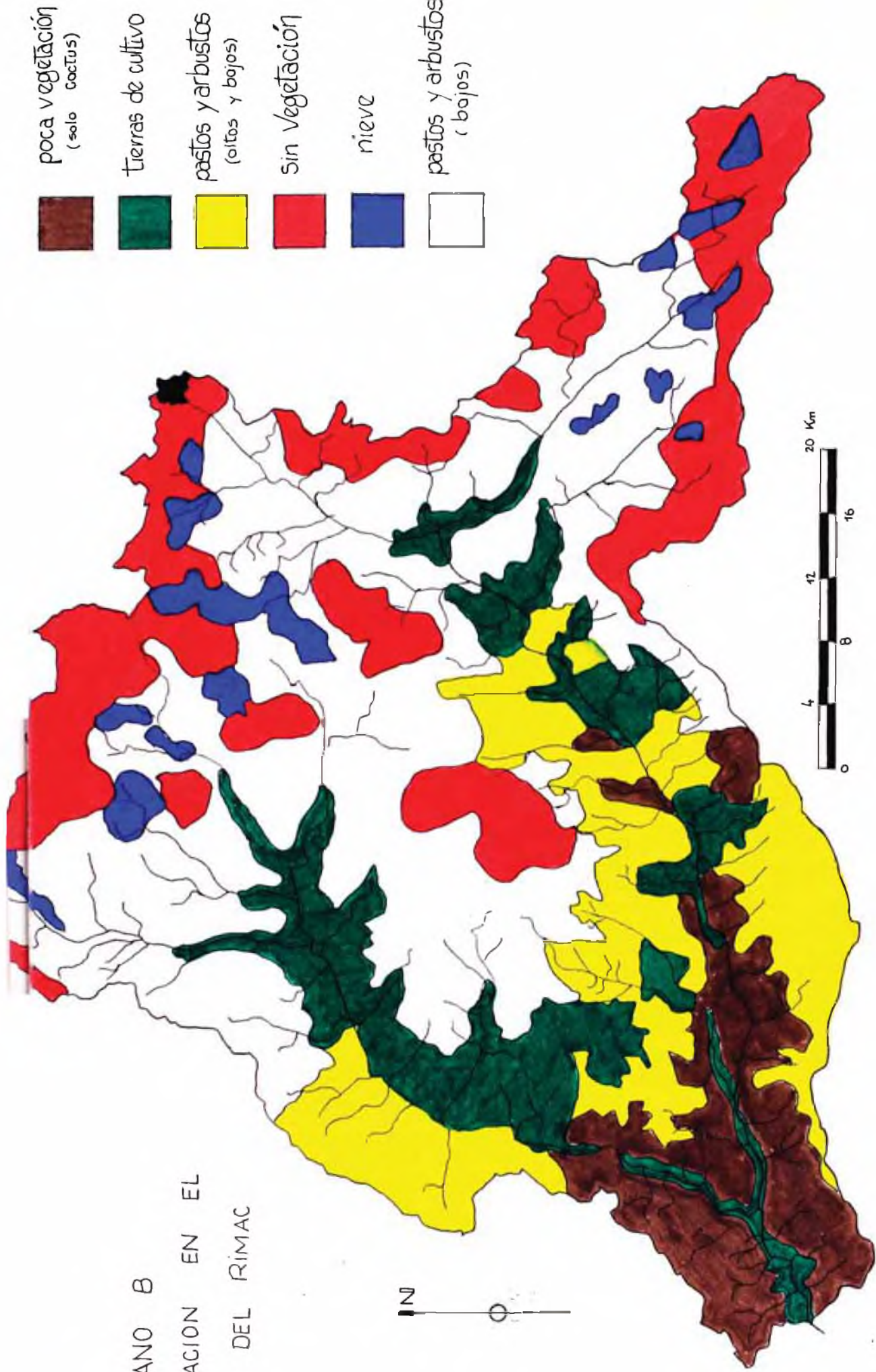
La evolución geomorfológica en sus primeros tramos es del tipo glaciar, presentando una topografía irregular en forma de U, originado por la erosión del terreno periglacial, encerrando los círculos glaciares en sus puntos más elevados como : Monte Meiggs, Anticona, cerros Jirishmachay, Fanchacoto y Ticlio, encañonándose posteriormente para formar un valle fluvial angosto con paredes escarpadas hasta la llanura aluvial. (ver plano B).

La cuenca cuenta con un área de drenaje total hasta su desembocadura de 3112.26 km², recorriendo una distancia total de 126.5 km. aproximadamente y con las siguientes pendientes promedio :



ubicación de la
Cuenca del rio Rimac.

PLANO B
VEGETACION EN EL
VALLE DEL RIMAC



curso superior6.9%
 curso medio.....6.8%
 curso inferior.....1.7%

El río Rímac presenta dos subcuencas importantes la del río Santa Eulalia y la del río San Mateo (al que también se le llama río Rímac). Los ríos San Mateo y Santa Eulalia cuentan hasta su confluencia con una pendiente promedio de 4.94% y 6.33% respectivamente . Desde la confluencia de éstos, la pendiente promedio baja a 1.7%.

Resumen del área de la cuenca del Rímac(13) :

Area del curso superior 552.06 km²
 Area del curso medio 738.38 km²
 Area del curso inferior 232.37 km²

 1522.81 km².

A ésta cuenca principal del río Rímac, se adicionan las cuencas de los tributarios y de las quebradas principales.

Area del valle del Santa Eulalia1012.00 km²
 Quebradas Jicamarca y Canto Grande 577.00 km²

 AREA TOTAL : 3112.26 km².
 LONGITUD TOTAL . 126.50 km².

Uno de los aspectos más importantes que debemos de considerar en la zona de estudio es el gran fracturamiento existente, como resultado de la interacción de las placas tectónicas, y la acción intempérica que actúa en forma muy activa, atacando a los afloramientos rocosos produciendo la disgregación de los mismos, realizándose bajo dos procesos : físicos y químicos.

PROCESO QUIMICO : constituye el más importante de la zona, se produce debido a la acción del vapor de agua, al oxígeno, anhídrido carbónico, etc. Estos elementos se encuentran en el medio ambiente y cuando entran en contacto directo con las rocas atacan a los minerales componentes de las mismas, convirtiéndolas en óxidos, carbonatos e hidratos.

PROCESO FISICO : estos procesos son un poco más limitados en la zona por cuanto éstos generalmente se basan en la variación brusca de temperatura, cosa que no sucede. Pero existen otras clases de procesos como es por ejemplo la acción del viento cargado de partículas de roca que realizan un trabajo de desgaste.

.....

(13). "Inventario de evaluación de recursos naturales en Marcapomacocha"

ONERN 1985

2c- Factores y Causas de los huaycos.

ASPECTOS TECNICOS:

Geología-. En el valle del Rímac existen afloramientos de rocas intrusivas granodiorítica-tonalítica, pertenecientes al Batolito de la costa, las cuales se presentan fracturadas y diaclasadas con una fuerte meteorización superficial, originando suelos residuales de alta permeabilidad (areno-limoso). Mientras que en las partes bajas de las quebradas, existen depósitos coluviales-proluviales inconsolidados, conformados por bloques angulosos en una matriz areno limosa.

En la desembocadura de las quebradas está representado por depósitos proluviales constituidos por materiales heterogéneos (cantos, gravas, bloques) bien consolidados en la matriz areno limosa. (14)

Geomorfología-. El valle del Rímac está caracterizado por sus numerosas quebradas de escorrentía muy temporal y por la presencia de terrazas fluviales sobre las cuales se depositan el material arrastrado (cono de deyección), tales como las quebradas Quirio, Fedregal, Matala, etc.

En la zona de estudio, existen tres aspectos distintos y bien marcados en el paisaje : en la primera parte del camino desde Lima a San Bartolomé, el valle es ancho y aunque va angostándose aguas arriba, siempre se presenta un fondo plano

y sus laderas son de suave pendiente correspondiendo a una región de depósito en la que el río ha divagado en sus épocas de estiaje y ocupando todo el lecho en sus crecidas. En la segunda parte empezando desde San Bartolomé (1513 msnm.) y extendiéndose hasta Chicla (3733 msnm.), se distingue que la quebrada principal se angosta notablemente, sus laderas son empinadas notándose una fuerte erosión en cárcavas muy profundas a manera de surcos en el talud. Después de Chicla, la quebrada se ensancha notablemente, sus laderas son menos elevadas y de pendientes más suave; su modelado se debe a la acción glacial y en ella no se presentan problemas de huaycos, los derrumbes se deben a otras causas.

Meteorología-. Las precipitaciones en ésta zona, tienen las características de ser localizadas y de duración y magnitud variable, pudiendo ser muy intensas en algunas áreas y muy leves en otras.

La razón de las fuertes precipitaciones en el valle del Rímac, durante los meses de Diciembre a Marzo, se debe a la presencia del fenómeno del Niño, puesto que en éste período las aguas calientes de la corriente del Niño avanzan hacia el sur, mientras que el anticiclón del pacífico sur se aleja de la costa; así las aguas elevan la temperatura ambiental generando la inestabilidad del aire, ascendiendo las nubes cargadas de humedad y transformándose en lluvias regulares.

En general, los huaycos son fenómenos que están relacionados con las lluvias y la falta de cobertura vegetal en las vertientes ;ocurren con mayor frecuencia en las estribaciones occidentales costaneras, valles interandinos entre los 1000 a 3000msnm. y en la faja subandina oriental. Se presentan todos los años entre los meses de febrero y marzo coincidiendo con la segunda mitad de la estación húmeda, donde ocurren fuertes precipitaciones que caen después de prolongadas sequías.

La importancia de su conocimiento está en que siempre causan daños que impactan el normal desarrollo del país, principalmente en áreas denudadas de tierras resacas y con escasa o ninguna vegetación, sin que al presente la ingeniería nacional pueda evitar grandes pérdidas, puesto que es difícil contrarrestar los efectos de un huayco una vez que se ha formado en la parte alta de la cuenca.

FACTORES QUE ACTIVAN LA EVOLUCION DE UN TORRENTE :

A- Climatológicos-. zonas de clima árido a semi-árido con lluvias intensas en cortos periodos de tiempo y de manera permanente, incrementano bruscamente el contenido de humedad de la región.

B- Topográficos-. fuertes pendientes que varían entre los 22° y 70° en las laderas y de 3° a 8° en las quebradas, facilitando así el descenso por éstas últimas.

C- Litológicos-. tipos de roca existente que permite una fácil meteorización y desintegración, acumulándose suelos residuales que serán lavados con las precipitaciones cíclicas.

D-. Tectónico-. dado que la cordillera andina es el resultado de la interacción de placas tectónicas, éstas se encuentran bajo un intenso fracturamiento haciendo posible la alteración de las rocas.

E- Antrópicos-. producidos por la acción del hombre por la tala indiscriminada de los bosques naturales y por la acción ganadera (sobrepastoreo).(15)

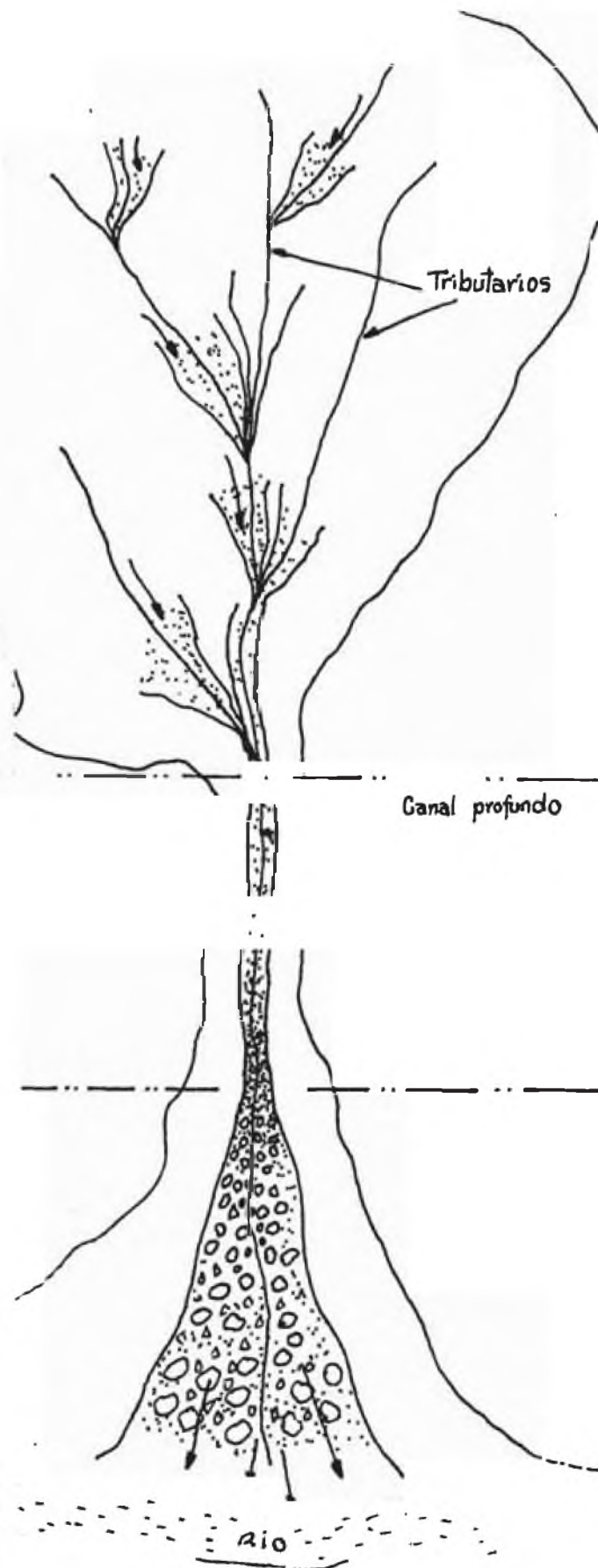
MECANISMO DEL FUNCIONAMIENTO DE UN HUAYCO :

Un torrente es un curso de agua temporal en el que se reúne gran cantidad de agua, que adquiere en razón a su masa y de la pendiente del lecho una fuerza viva considerable, que consta de tres partes: (ver fig. IIc-1)

a- Cuenca de recepción o embudo.- la cual es la zona de producción de las llocllas.

ESQUEMA DE GENERACION DE UN HUAYCO

Fig IIc 1



Zona de producción
(Area de recepción)

Escorrentia Superficial.
Erosión de fondo.
Fuertes pendientes.

Canal profundo

Zona de transporte

Erosión Lateral intensa.
Derrumbe de taludes Laterales
del Course, gran aporte del
material

Zona de Acumulación
(cono de deyección)

pendientes Suaves
Area Ocupada generalmente
por edificaciones y Terrenos
de cultivo.

b- cuenca media o canal.- la cual es la zona de transporte y de mayor erosión.

c- cuenca baja o cono de deyección.- llamada también zona de acumulación, y es aquí donde el fenómeno lloclla se denomina comúnmente huayco.

De manera general, podemos decir que la cuenca de recepción, donde se origina el torrente, es un circo de paredes muy deleznable y que al caer precipitaciones de alta intensidad, saturan al suelo haciendo que éste descienda rápidamente; éstas aguas fuertemente cargadas de materias sólidas, al escapar por un canal estrecho, de paredes elevadas y pendientes pronunciadas, adquieren una mayor velocidad, el cual al atacar de frente los lados del canal en sus sinuosidades y cambios de dirección, provocará derrumbes y barrages momentáneos por la fuerte erosión lateral; aguas abajo, desemboca en un valle más ancho y de menor pendiente, llamado cono de deyección, en éste el agua pierde su capacidad de arrastre depositándose así todo el material transportado.

Cabe señalar que se puede distinguir siempre un principio de estratificación y clasificación, pues los trozos más grandes y pesados se depositan primero y ocupan el vértice del cono, mientras que su base se forma por el lodo y material fino arrastrado.

Para el ingeniero peruano es muy importante conocer éste mecanismo de funcionamiento puesto que así sabrá como disminuir su energía destructiva mitigando los daños que causa.

Residiendo la fuerza de los torrentes en la aglomeración repentina de grandes cantidades de agua con sedimentos en el fondo del circo, hay que evitar en lo posible ésta aglomeración, haciendo que el descenso de las aguas por las laderas sea suave y en filetes delgados que no puedan adquirir fuerza viva para el arrastre de los suelos; (16) esto se obtiene por ejemplo con la acción de la vegetación, aprovechando además el agua que discurre. Si las laderas de embudo se encuentran forradas de vegetación, el producto de las lluvias no atacaría al terreno ya que la erosión sería disminuida sustancialmente dada la condición de un mejor engrampe suelo-roca.

Con éste análisis, del mecanismo de funcionamiento de los huaycos, podríamos afirmar que éstos fenómenos geodinámicos son una distorsión de la naturaleza y por lo tanto se deberán de combatir mediante tratamientos correctivos de ésta.

.....

(14), (15). "Informe técnico y preliminar de la zona afectada por los huaycos del 09-03-87 en Chosica UNI 1987

(16). "Los Huaycos" José J. Bravo
boletín sociedad de Ingenieros.

2d- Formación y desarrollo de las cárcavas.

La aparición de surcos y cárcavas en las laderas, es el grado superior del proceso de erosión que se manifiesta en los suelos lateríticos; éste se encuentra en directa relación con las condiciones hidrológicas del drenaje (lluvia e intensidad), la configuración del terreno y la predisposición del mismo a la erosión, así como el grado de protección natural de su superficie por la vegetación.

PROCESOS EROSIVOS EN LADERAS

El proceso de erosión consiste en la separación de partículas de suelo de su posición en la masa de mismo y su desplazamiento hasta un cauce por el que pueden ser transportadas a otros lugares. A continuación presentamos dos tipos de erosión :

a- La erosión de arroyo.- Tiene lugar cuando se forma un arroyuelo durante las borrascas, la turbulencia de la corriente crea fuerzas locales capaces de arrancar partículas de suelo del lecho y orillas del cauce; al profundizar el arroyo, el perfil tiene pendiente más fuerte en la cabecera. Como la erosión es más rápida en ésta zona de máxima pendiente, el cauce del arroyo crece hacia la cabecera. (17)

b- La erosión laminar.— el escurrimiento superficial destruye, lava y transporta sucesivamente la capa superior del suelo en forma de lámina continua. El resultado de éste proceso es la disminución gradual del espesor del perfil del suelo con sus consecuencias desfavorables para la vegetación así como el lavado de las materias nutrientes del suelo, el desnudamiento de las raíces, etc. (18)

Cabe señalar además, que en la erosión laminar no se forman canales definidos y es difícil de observar excepto cuando el nivel del terreno queda bajo antiguas señales de suelo (postes de cercas, raíces de árboles al descubierto, etc.). La corriente laminar puede además recoger material suelto ayudando así a la erosión.

Por otro lado, el Dr. Ellison demostró que la energía con que caen las gotas de lluvia puede ser un factor muy importante de erosión. El diámetro "d" de las gotas de lluvia varían de 0.5 a 6mm. y las velocidades finales v varían con el diámetro entre 4 y 8 m/seg. (19)

$$E_p = mgh$$

$$E_p = f(w, v) \quad \dots \quad E_p = Kd^3 v^2$$

Como podemos ver, la potencia erosiva de las gotas varían ampliamente con el tamaño, siendo las lluvias muy intensas

con gotas gruesas, varios miles de veces más erosivas que las lloviznas.



En terrenos inclinados, al caer las partículas de suelo se introducen en la lámina de corriente superficial y reciben un nuevo ímpetu cuesta abajo antes de asentarse en la superficie del suelo.

.....

(17), (19). "Hidrología para Ingenieros"
Linsley-Kohler-Paulhus España 1968

(18), "Erosión en cárcavas" Serie Oriente
Academia de ciencias de Cuba 1972

FUERZAS EROSIVAS DE ACCION EN LA FORMACION DE LAS CARCAVAS.

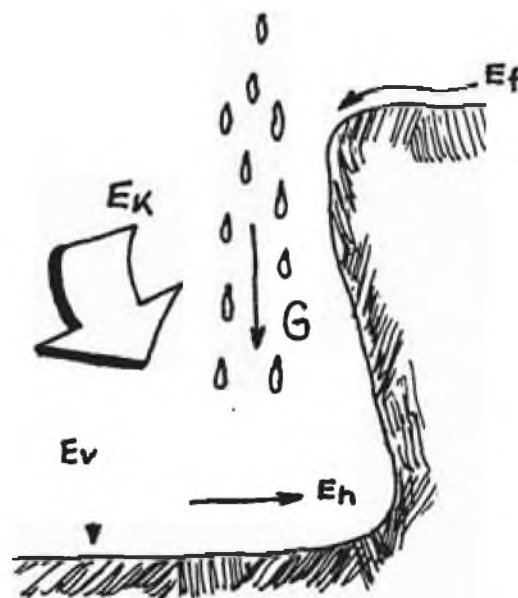
E_k = erosión de los lados de la cárcava. (desintegración física y química).

E_v = componente vertical de la fuerza erosiva.

E_h = Componente horizontal de la fuerza erosiva.

E_f = escurrimiento superficial erosivo.

G = gravitación terrestre.



E_v causa la erosión de fondo, su magnitud depende principalmente de la cantidad y velocidad del agua desplazada.

E_h Causa la socavación del talón lateral y de las paredes del mismo.

E_f Producida por la erosión tipo laminar; la magnitud de ésta fuerza dependerá del área, inclinación y tipo de cubierta vegetal.

E_k actúa principalmente sobre las paredes desnudas, no protegidas por la cubierta vegetal, mediante una erosión física y química.

G Causa en la pendiente de la cárcava, la caída de las partículas individuales liberadas por otros procesos erosivos. La gravitación terrestre es la causa del corrimiento de las paredes laterales, cuya estabilidad fue interrumpida por diferentes causas.

MODALIDADES DEL ENSANCHAMIENTO DE LAS CARCAVAS.

Con el resultado total de las fuerzas erosivas, el ataque de la erosión se concentra en dos direcciones principales : (20)

-ver fig. IID-1-

a- Horizontal.

b- Vertical.

La combinación de éstos nos da las siguientes modalidades:

corrimiento.

ii - socavación.

iii- Ensanchamiento piramidal lateral.

iv - Ensanchamiento lateral causado por la erosión en forma de grietas.

.....

(20). "Erosión en cárcavas" Serie Oriente
Academia de ciencias de Cuba 1972

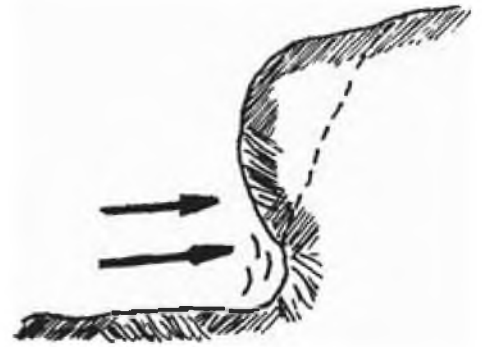
MODALIDADES DEL ENSANCHAMIENTO DE LAS CÁRCAVAS:

Fig. II d 1

Corrimiento.



Socavación.



Ensanchamiento
Lateral piramidal.



Ensanchamiento Lateral
Causado por la erosión
en grietas.



2e- Problemas que ocasionan.

Los efectos de los fenómenos geodinámicos, como los huaycos, han impactado considerablemente en el ámbito nacional, originando los tipos de riesgos naturales con características destructivas que limitan la producción del hombre en los diversos campos de desarrollo de la ingeniería nacional, afectando así las siguientes obras de infraestructura :

OBRAS DE INGENIERIA: La carretera central Lima-La Oroya, la línea férrea y algunos puentes de la vía central, que son obras de penetración a los pueblos de la sierra, cumpliendo una labor de desarrollo socio-económico, son afectados anualmente por los huaycos periódicos que las interrumpen entre los meses de Enero y Marzo, dificultando la normal circulación de pasajeros y productos de pan llevar.

A LOS CENTROS POBLADOS: Un gran porcentaje de las viviendas ubicadas en las riberas y en la desembocadura de las quebradas tributarias del río Rímac, son afectadas todos los años en verano, producto de las fuertes precipitaciones. Estas lluvias provocan la crecienta de los cursos de agua, huaycos y derrumbes, que comprometen la seguridad física de los poblados que habitan en estos valles interandinos y que afectan también a la población que habita en los mayores

centros urbanos, los mismos que reciben gran porcentaje de su abastecimiento de productos alimenticios.

A todo esto se suma el estado en que se encuentran los pueblos jóvenes, que por su rápido crecimiento demográfico no se encuentran en los sitios menos vulnerables por no existir una orientación de crecimiento recomendada para estos fenómenos; así encontramos numerosas poblaciones expuestas a procesos geodinámicos, debido a que, la mayoría de las viviendas se hallan en la desembocadura de las quebradas o en la falda de los cerros, sobre pendientes que oscilan entre 25° ^{30'} y 30°.

A LA AGRICULTURA: las tierras de cultivo que ocupan extensas áreas de terreno a lo largo del valle, quebradas y flancos de las vertientes de la cuenca del Rimac, están sometidas a la acción erosiva de las aguas superficiales en época de creciente, a huaycos intempestivos y a los desbordamientos que provocan las inundaciones de cada año.

Y como hemos visto en el capítulo de la aridización, nuestra realidad agrícola nacional no está en condiciones para perder ninguna hectárea de cultivo, sino por el contrario proteger desde las más mínimas inversiones de desarrollo de sectores agrarios.

A todo esto sumamos los daños causados en la planta de tratamiento de la Atarjea, que todos los años en las épocas

de lluvia, debe ser sometido a constante limpieza con maquinaria pesada para sacar las toneladas de barro arrastradas, siendo el costo de ésta operación muy alta. El problema ocasionado se debe a la contaminación de las aguas del Rímac por los numerosos huaycos que desembocan en el río, el cual arrastra las aguas cargadas de gran turbidez produciéndose una colmatación muy violenta de los pozos desarenadores, reteniéndose el lodo y generándose problemas para la sedimentación de cuerpos extraños. Todo esto genera un gran problema de racionalización del agua potable que mortifica a la gran ciudad de Lima.

En los últimos 60 años, los huaycos han alcanzado una mayor destrucción en las áreas que han experimentado mayores tasas de crecimiento demográfico, consecuentemente a aumentado la devastación física, pérdidas de vidas humanas (llegando hasta las 200 mil víctimas y materiales en toda la región, que bordean los 100 millones de dólares U.S.A); reconocemos pues que éstos fenómenos constituyen un obstáculo para el desarrollo económico y social, por alcanzar fuertes sumas de dinero en la etapa de reconstrucción, pudiendo debilitar y llegar incluso a destruir la economía del país.

cuadro II-i

DESASTRES NATURALES EN EL PERU

Fenómeno	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985
Derrumbe	4	--	1	--	3	9	2	4	6	9	13	18	11	3
Deslizamiento	6	1	--	2	4	1	--	--	--	1	21	40	19	1
Huayco	2	1	--	--	1	10	6	1	9	33	7	203	38	7
Aluvión	2	--	2	--	--	3	1	3	2	10	13	31	1	2
Inundaciones	--	--	6	10	6	24	8	9	2	32	60	157	35	10
Erosión	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	5	4	1
Luvia torrenc.	--	--	1	7	5	1	9	4	22	1	4	109	20	10
Nevada	--	--	3	--	--	--	--	1	1	--	--	--	--	2
Helada	--	--	--	--	1	--	--	1	2	--	1	3	--	--
Granizada	--	--	--	--	--	--	--	1	--	--	--	--	1	--
Sismos	--	--	2	--	1	--	--	7	12	3	5	--	--	1
total	14	2	15	19	21	48	26	31	56	89	124	571	129	37

Ref. Misión Japonesa - Cismid.

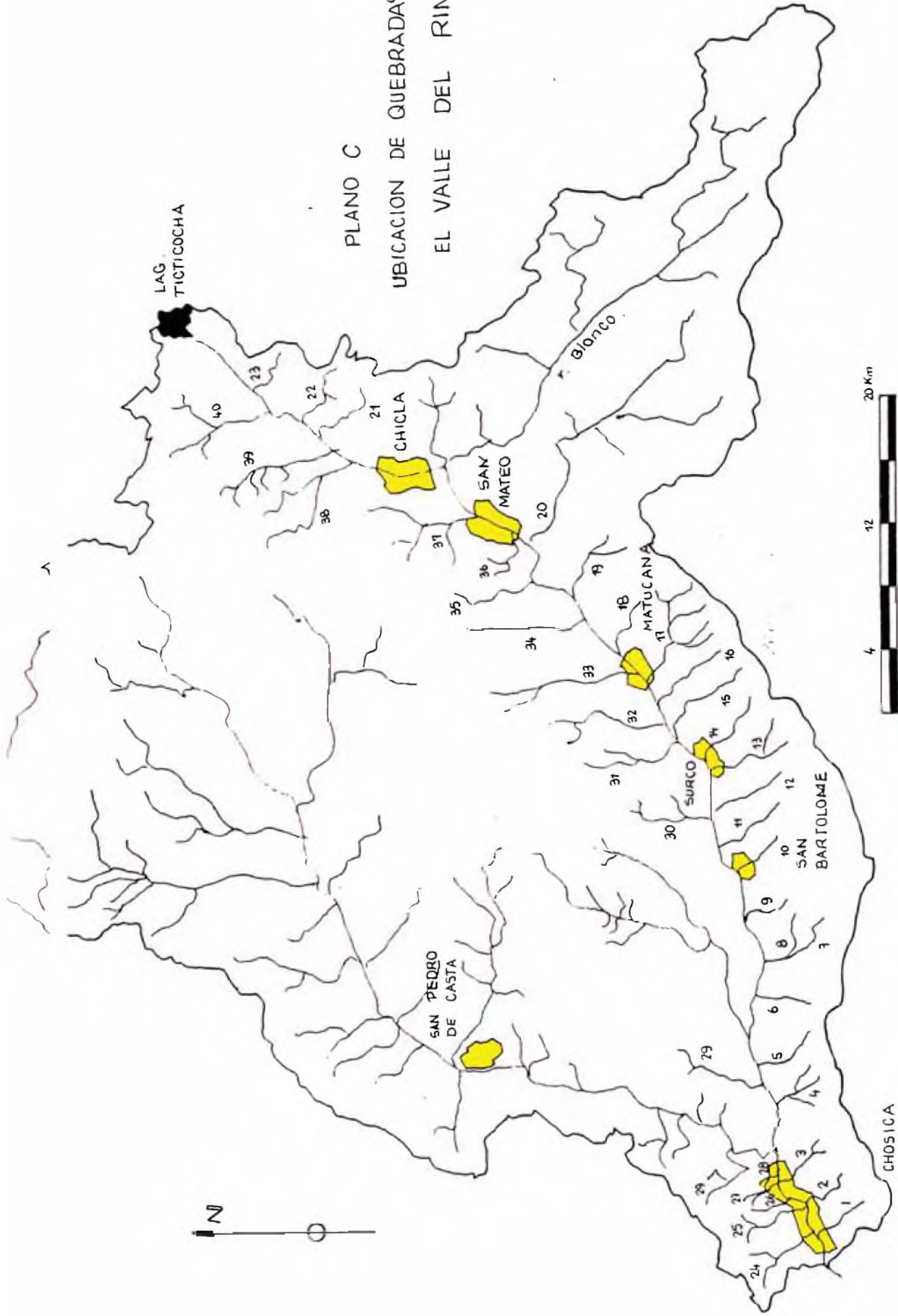
Cuadro II-ii-

QUEBRADAS TRIBUTARIAS DEL VALLE DEL RIMAC

MARGEN IZQUIERDA

#	Nombre de la quebrada	Distancia (km)	Longitud (km)	Deseembocadura al rio	cumbre	características de la quebrada
01	CALIFORNIA	30.9	4	750 msnm	1700 msnm	4 tributarios
02	LA CANTUTA	33.4	6	800 msnm	2210 msnm	4 tributarios
03	LA REDONDA	37.0		890 msnm	2210 msnm	2 tributarios
04	HUAYCO	42.0	4.5	1030 msnm	2300 msnm	2 tributarios
05	SANTA ANA	42.1	4	1030 msnm	2300 msnm	5 tributarios
06	CUPICHE	45.7	4.5	1150 msnm	2600 msnm	4 tributarios
07	AGUA SALADA	52.2	5	1320 msnm	3200 msnm	2 tributarios
08	ANTIOQUIA	52.2	4.5	1320 msnm	2900 msnm	2 tributarios
09	DEL PATE	52.5	5.5	1350 msnm	3605 msnm	2 tributarios
10	RIO SECO	55.9	4	1520 msnm	4630 msnm	1 tributario
11	ESPERANZA	58.1	3	1550 msnm	3750 msnm	1 tributario
12	VERRUGAS	60.8	5	1650 msnm	4470 msnm	1 tributario
13	MATALA	66.3	7	1970 msnm	4630 msnm	4 tributarios
14	CUCHIMACHAY	66.9	5.5	2010 msnm	4580 msnm	----
15	CHACAMOZA	67.5	5	2030 msnm	4500 msnm	----
16	BARRANCO	71.0	3	2200 msnm	4680 msnm	----
17	CHUCUMAYO	73.5	6	2360 msnm	5020 msnm	5 tributarios
18	CHACAHUARO	78.6	4	2490 msnm	4720 msnm	----
19	VISO	81.1	7	2750 msnm	5315 msnm	2 tributarios
20	PARAC	87.3	8	2950 msnm	5310 msnm	----
21	VENTIUNO	104.1	2.5	4050 msnm	5020 msnm	----
22	CARMEN	105.1	5.5	4150 msnm	5300 msnm	----
23	CORINA	108.6	3	4380 msnm	5200 msnm	----

PLANO C
UBICACION DE QUEBRADAS EN
EL VALLE DEL RIMAC .



Cuadro II-iii-

QUEBRADAS TRIBUTARIAS DEL VALLE DEL RIMAC

ORGEN DERECHA

#	Nombre de la quebrada	Distancia (km)	Longitud (km)	Desembocadura al rio	cumbre	características de la quebrada
	SANTA MARIA	30.9	3	755 msnm	1650 msnm	2 tributarios
5	QUIRIO	33.5	4.5	805 msnm	2010 msnm	3 tributarios
6	PEDREGAL	34.5		820 msnm	2330 msnm	2 tributarios
	CAROSSIO	36.4	1.5	840 msnm	1675 msnm	-----
8	CORRALES	37.0	2	850 msnm	2000 msnm	-----
	SAN JUAN	43.3	5.5	1150 msnm	2950 msnm	1 tributario
10	LINDAY	63.0	5	1780 msnm	4800 msnm	6 tributarios
11	YAMAJUNE	69.3	9	2100 msnm	4880 msnm	-----
12	PALCACANCHA	70.9		2200 msnm	4900 msnm	5 tributarios
13	PAIHUA	75.0	10	2400 msnm	4760 msnm	-----
14	PANCHA	79.1	7	2510 msnm	5300 msnm	2 tributarios
15	OCATARA	84.0	3	2850 msnm	4760 msnm	-----
16	CHALLUMAY	87.7	3	2950 msnm	5000 msnm	
17	TURUMANYA	91.8	6	3200 msnm	5250 msnm	3 tributarios
18	SANTA ROSA	101.5	4	3900 msnm	5300 msnm	----
19	TACPIN	103.0	4	3980 msnm	5280 msnm	3 tributarios
20	CHINCHAN	107.5	3.5	4280 msnm	5200 msnm	4 tributarios

La distancia referida es tomando en cuenta el kilometraje de la carretera central.

La longitud indicada está referida a la proyección de la quebrada en el plano.

EVALUACION CRONOLOGICA

Cuadro II-iv-

A continuación presentaremos los huaycos más importantes acontecidos en el valle del rimac desde el año 1980, ubicando las quebradas y fechas correspondientes :

1980	Qda. Rio Seco	ENE 27
	Qda. Rio Seco	MAR 16
	Qda. Esperanza	MAR 27
1981	Qda. Rio Seco	FEB 12
	Qda. Esperanza	FEB 12
	Qda. Esperanza	FEB 21
	Qda. Del Fate	MAR 04
	Qda. Rio Seco	MAR 05
	Qda. Linday	MAR 21
	Qda. Matala	MAR 26
1983	Qda. Rio Seco	ENE 21
	Qda. Paihua	FEB 22
	Qda. Rio Seco	FEB 22
	Qda. San Juan	FEB 23
	Qda. Chucumayo	FEB 28
	Qda. Matala	FEB 28
	Qda. Rio Seco	MAR 02
	Qda. Linday	MAR 06
	Qda. Paihua	MAR 06
	Qda. Paihua	MAR 22
1984	Qda. Falcacancha	ENE 21
	Qda. Pedregal	FEB 04
	Qda. San Juan	MAR 10
1987	Qda. La Cantuta	MAR 02
	Qda. Quirio	MAR 09
	Qda. Pedregal	MAR 09
	Qda. Carossio	MAR 09
	Qda. Corrales	MAR 09

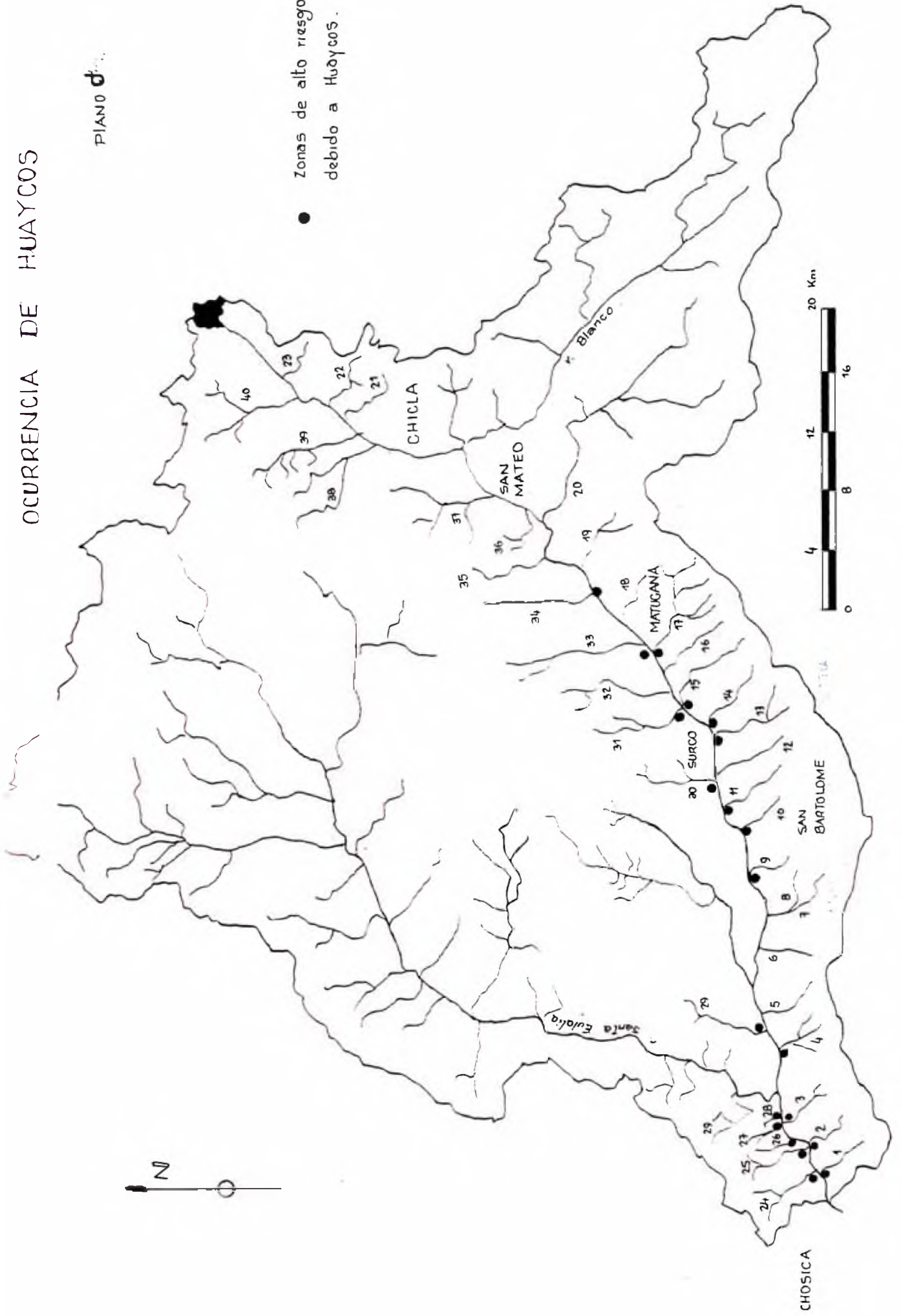
1988	Qda. Paihua	FEB 10
	Qda. Cuchimachay	FEB 10
1989	Qda. Verrugas	ENE 16
	Qda. Chacamoza	ENE 25
	Qda. Ocatara	ENE 25
	Qda. Matala	ENE 29
	Qda. Paihua	ENE 29
	Qda. Quirio	FEB 16
	Qda. Pedregal	FEB 16
	Qda. Carossio	FEB 16
	Qda. Corrales	FEB 16
	Qda. La Cantuta	FEB 16
	Qda. California	FEB 16

Esta información fue obtenida de la evaluación del Plan Maestro realizado en la zona por el gobierno Japonés con el apoyo de la UNI, y completada por información publicada por el diario El Comercio, en las distintas fechas de ocurrencia de los fenómenos.

OCURRENCIA DE HUAYCOS

PIANO d'

● Zonas de alto riesgo debido a HUAYCOS.



III

EVALUACION DE LOS RECURSOS HIDROLOGICOS EN LA CUENCA DEL RIMAC

3a- Características de la cuenca de estudio.



AREA DEL VALLE DEL SANTA EULALIA : 1012.45 Km².

AREA DEL VALLE DEL RIMAC : 1277.20 Km².

(antes de la confluencia con el-
Santa Eulalia).(21)

Para los fines del análisis hidrológico del Rímac, se ha empleado básicamente los registros de la estación de Chosica (toma de Yanacoto) a 850m., la que controla los recursos de una cuenca colectora total de 2311 Km², de la cual 1943 Km² constituyen la denominada cuenca húmeda; es decir que del total de la cuenca, el 84% contribuye sensiblemente al escurrimiento superficial.

Por razones de estudio, dividiremos a la zona en tres regiones : (ver plano E)

- REGION I : 800m - 2200m.
Ai = 368 Km².

Que dadas las características geográficas la podríamos clasificar como una región Yunga (sierra baja); comprendiendo los sectores de San Bartolomé, Surco, etc.

- REGION II : 2200m - 3100m.
Aii = 347 Km².

Comprenden los sectores de Matucana, Tamboraque, etc. Es la zona considerada como la de mayor ocurrencia de huaycos; la clasificaremos como una región Yunga-Quechua.

- REGION III: 3100m - 3800m.
Aiii = 249 Km².

Comprende los sectores de San Mateo, la cuenca del río Blanco, Chicla, etc. Está considerado como región Quechua-Sierra media.

- REGION IV : 3800m - 4800m.
Aiv = 969 Km².

Clasificado como región Puna (sierra alta); comprendiendo los sectores de Casapalca, Cinchán, Ticlio, etc.

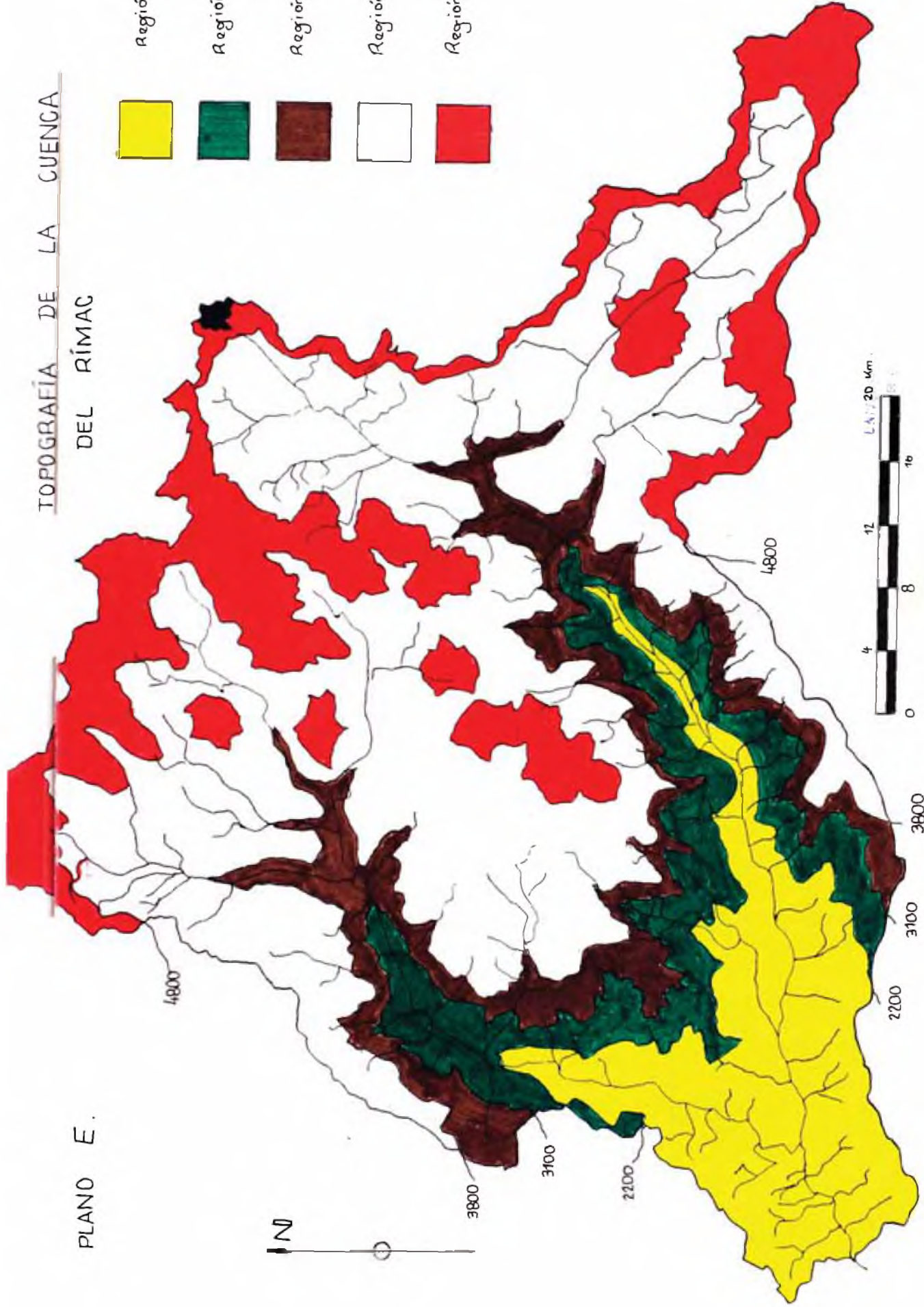
- REGION V : más de 4800m.
Av = 378 Km².

Comprendiendo toda la región de los nevados.

TOPOGRAFÍA DE LA CUENCA DEL RÍMAC

PLANO E.

- Región I
- Región II
- Región III
- Región IV
- Región V



3b- Precipitación pluvial.

De acuerdo a la información disponible, la precipitación pluvial en la zona de estudio varía escasos milímetros en la zona de costa árida y desértica hasta un promedio estimado de 1000 mm. en la cordillera.

PROM. ANUAL

Región I :	125 mm
Región II :	350 mm
Región III:	500 mm.
Región IV:	700 mm.
Región V :	1000 mm.

Estos datos obtenidos, son propios de la zona y basados en un promedio de la información disponible; cabe señalar que pueden presentarse fuertes alteraciones entre sectores cercanos, así por ejemplo podemos mencionar a la estación de Paricancha (3800m.) de la cuenca del río Chillón, la cual registra una precipitación de 800mm, mayor que otras estaciones de estudio ubicadas a similar altitud, tales como Bellavista y San José de Parac pertenecientes a la cuenca del Rimac. Esta mayor precipitación registrada en Paricancha parece ser de efecto localizado debido a la mayor

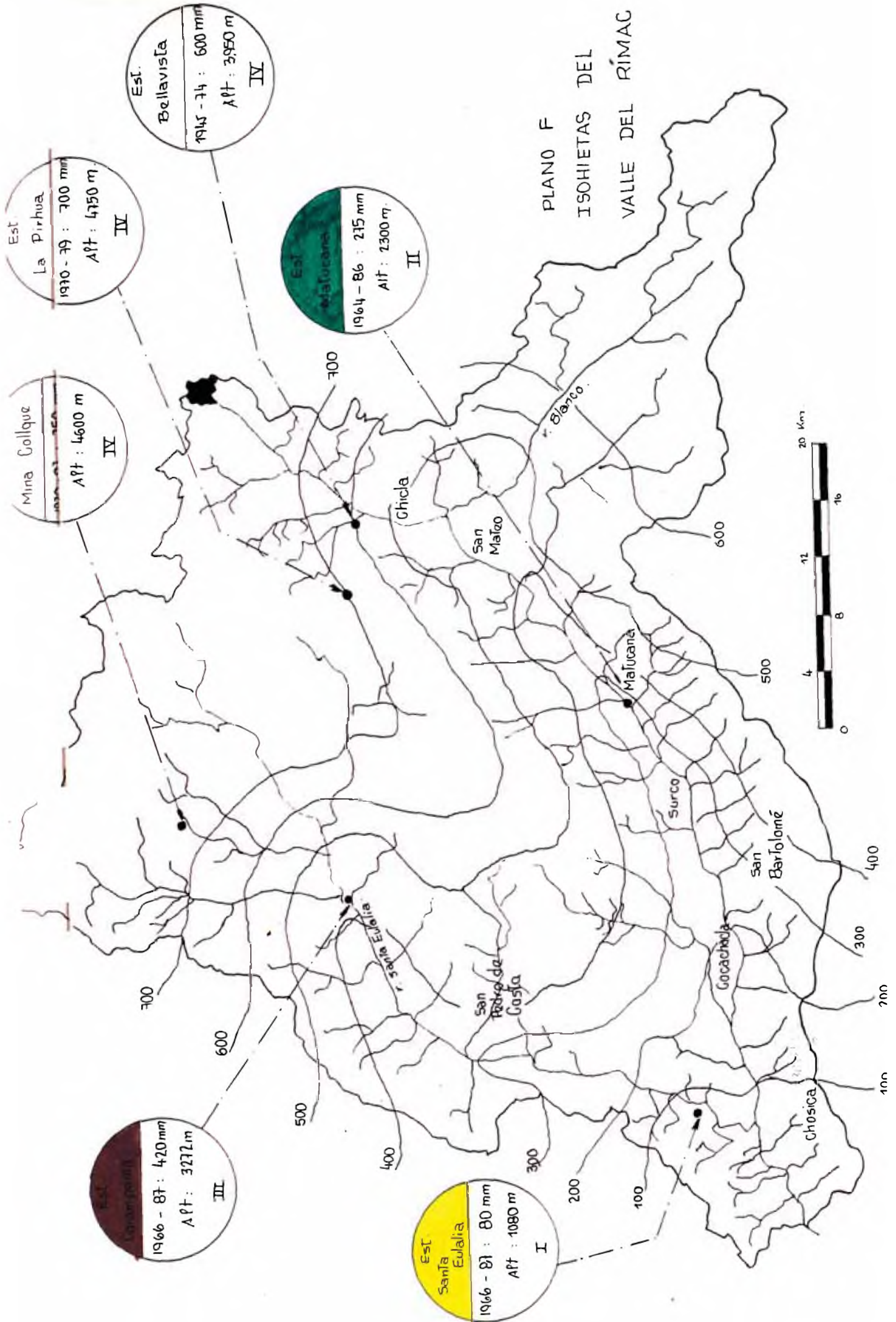
evapotranspiración generada por la gran área de lagunas y vegetación que se localiza hacia el sur de esta localidad.

En el plano F, de Isohietas en el valle del Rímac, se representa aproximadamente la precipitación pluvial promedio anual de la zona, sin considerar los efectos localizados que pudieran presentarse, tal como lo mencionado más arriba.

.....

21). "Inventario de evaluación de los recursos naturales en Marcapomacocha" ONERN 1975

PLANO F
ISOHIETAS DEL
VALLE DEL RÍMAC



3c- Análisis hidrológico.

Con la finalidad de homogenizar las series históricas y evaluar comportamientos, fijamos un periodo que comienza con el año agrícola 1951-52 y termina en el año agrícola 1981-82, a fin de no falsear la serie con los valores extraordinarios del gran Niño de 1982-83.

Así tenemos los siguientes datos :

Descarga media mensual

(toma de Yanacoto)..... 27.14 m³/seg.

Módulos mensuales promedios (m³/seg).

ene.	33.27	jul.....	15.18
feb.....	55.83	ago.....	14.98
mar.....	60.43	set.....	15.48
abr.....	35.58	oct.....	16.12
may.....	20.09	nov.....	18.26
jun.....	16.44	dic.....	22.96

Descargas promedio de las subcuencas adyacentes:

Cuenca del rio Blanco ----- At= 203 km².
 módulo anual= 3.36 m³/seg.
 = 16.6 lts/seg/km²

Cuenca del rio San Mateo ----- At= 886 km².
 módulo anual= 14.33 m³/seg.
 = 16.0 lts/seg/km².

Cuenca del rio Santa Eulalia ----- At= 812 km².
 módulo anual= 9.74 m³/seg.
 = 12.0 lts/seg/km².

**MAXIMAS AVENIDAS DEL RIO RIMAC.
(1970 - 1983).**

ESTACION CHOSICA (22).....

Fecha.	Altura de mira.	Descarga m3/seg.
15/01/70	1.88m.	194.8
17/03/71	2.00m.	202.0
14/01/72	1.48m.	104.0
73	no funcionó.	
20/02/74	1.60m.	93.0
28/02/75	1.45m.	71.6
07/02/76	1.66m.	144.0
19/02/77	2.04m.	245.0
23/02/78	1.74m.	169.0
20/02/79	1.88m.	203.0
26/01/80,15/03/80	1.53m.	117.4
10/03/81	2.60m.	340.0 duración 5h.
12/02/82	1.33m.	85.0
01/04/83	3.50m.	600.0
16/02/84	2.60m.	206.0
17/03/85	1.93m.	135.0
01/03/86	1.75m.	113.8
09/03/87	1.94m.	137.1
04/02/88	1.42m.	82.8

VELOCIDAD DE LAS DESCARGAS :

La agreste topografía de nuestro territorio y su escasa cobertura de flora,origina que las lluvias no sean disturbadas en su escurrimiento,evitando así su infiltración en el suelo.

Esta situación determina que tan sólo el 25% de las aguas pluviales son utilizadas en la agricultura,perdiéndose en el mar el resto,a ésto se suma la gran velocidad de la mayoría de los rios costeros.

3d- Infiltración del agua en el suelo.

Los pastizales altoandinos tienen la característica de ser de suelo muy compacto debido al constante taponeo a los que son sometidos, producto del trajín del ganado, reduciéndose así la tasa de infiltración del agua.

Estudios realizados en la cuenca del Rímac, en la región IV (3800m - 4800m.), indican que la masa retenida en el suelo como un promedio anual de agua es del orden del 40% del total precipitrado, como podemos apreciar en el cuadro III-i (23).

Mes	Masa precipitada 1000,000 m3.	Masa escurrida 1000,000 m3.	Retención (%).
ENE	29.02	14.81	49
FEB	34.24	19.85	42
MAR	32.66	23.55	28
ABR	15.75	13.56	14
MAY	5.39	6.68	-
JUN	1.06	3.70	-
JUL	1.23	3.03	-
AGO	2.83	2.74	-
SET	8.30	2.89	
OCT	13.75	3.90	72
NOV	16.09	5.13	68
DIC	25.65	9.43	63

Cuadro III-i

Nótese en el cuadro anterior, el descenso que tiene la capacidad de retención del terreno en los meses de marzo a abril, debiéndose esto al incremento de humedad que sufren las laderas durante los meses de dic., ene. y feb.; es por ésta razón la ocurrencia de numerosos huaycos, ya que la saturación de las partículas del suelo les hace perder resistencia al corte entre ellas, acción que se ve favorecida por el alto valor de la masa escurrida que no puede ser controlada por el suelo.

Nótese además, en el cuadro anterior, que durante los meses de mayo a agosto la masa escurrida es muy superior a la masa precipitada, esto se debe no sólo a la ablación de los nevados sino al aporte de manantiales producto de la recarga del acuífero durante los meses de lluvia, demostrándose que el agua infiltrada tarda en llegar a las partes más bajas cerca de tres meses.

Así mismo, el incremento del % de retención en los meses de Octubre a Diciembre, demostrando la sequedad de los terrenos no sólo por la disminución de las lluvias sino también por el agotamiento de los acuíferos.

Estudios realizados en Cusipata, permiten conocer la profundidad de infiltración según la calidad del suelo, que puede ser típico para las condiciones de nuestros pastizales. (24) ver cuadro III-ii.

Cuadro III-ii

Tiempo que demora la infiltración del agua en cm.

tiempo acumulado (min)	sobre pasturas		en melgas	
	pastos naturales (cm)	pastos cultivados (cm)	pastos naturales (cm)	pastos cultivados (cm)
05	0.17	0.58	--	--
10	0.20	0.67	--	--
12	--	--	0.45	1.30
37	--	--	1.28	3.19
50	0.40	1.20	--	--
74	--	--	3.38	6.73
100	1.30	4.75	--	--
114	--	--	--	8.65
150	1.65	6.30	--	--

.....

(22). "El Comercio" SENAMHI 08-02-88

(23), (24). "Regeneración del recurso hídrico" Motors Columbus
Santiago E. Antúnez de Mayolo 1985

Infiltración básica	
Textura	(cm/hr).
.....	
Franco arcilloso	2.3
Franco arenoso	7.0
Franco	4.2
Franco arcilloso-arenoso	9.0

Cuadro III-iii

La lentitud con la que el agua se infiltra y los obstáculos que representa la compactación del suelo, exige que para un mayor aprovechamiento del agua superficial, debe roturarse el suelo y crear así condiciones de melgas o estanques, para que aumentando la presión sea más rápida la infiltración del agua.

Por otra parte, si quisiéramos comprobar la influencia del agua infiltrada en los pisos altoandinos, bastará en observar el nivel de los pozos de agua de los valles, los cuales muestran una elevación por recarga de la napa freática; ésta contribución es sumamente importante, ya que proporciona agua en los momentos más críticos para los cultivos. Ahora bien, si aplicáramos técnicas de tal manera de facilitar la filtración para recargar el acuífero en los altos andes, obtendríamos un aumento sustancial de agua para las épocas de estiaje y con ello obtener un mayor rendimiento en las parcelas y paralelamente una protección contra la erosión y pérdidas del suelo.

IV

MEDIDAS PLANTEADAS PARA SU PREVENCIÓN

4a-Generalidades.

"Los desastres naturales han sido, son y serán para el Perú un problema nacional que frena, atrasa y compromete al normal desarrollo de cualquier plan de gobierno; cuya calamidad genera crisis que afecta a la gran mayoría, por lo que ningún gobierno, debe olvidar de incluirla en su programa de acción." (25)

Así pues, desde época precolombina, los ingenieros peruanos en su afán de proteger a sus pueblos y obras de ingeniería, estudiaron la posibilidad de reducir los daños causados por los huaycos; sin embargo, estos intentos por eliminar la fuerza del torrente es casi imposible, pues nadie puede conocer ni predecir la magnitud de la fuerza que la masa de lodo puede movilizar. Tenemos casos concretos de desastres preincas: Lumbra-Huaral, así como las ruinas de Chanchan arrasadas por huaycos, Chavín de Huántar, etc. y los más recientes Ranrahirca, Yungay, Mayunmarca, Villa Rica, etc.

Posteriormente,comprendieron que reducir los daños causados por los huaycos no consiste en frenar la fuerza del torrente,sino que simplemente evitar en lo posible que el fenómeno se genere,logrando que el agua de escorrentia producida por las lluvias (llocllas)baje en láminas delgadas tal que no pueda adquirir una fuerza viva de arrastre considerable para producir daños.

Haciendo un análisis de la frecuente ocurrencia de éstos fenómenos en la costa,sierra y selva,se mencionan a continuación algunas soluciones propuestas a la fecha:

- Sistemas de Andeneria o Agricultura en terrazas.
- Diques reguladores o Gaviones.
- Encausamiento de flujos de huayco.
- Desquinche de rocas.

.....

(25). "Huaycos y Aluviones: Una realidad nacional aún no comprendida" . III congreso Nacional de Ingeniería 1986.

4b- Sistemas precolombinos ; ANDENERIA.

La escasez de tierras de cultivo en la sierra, fue superada con la construcción de los andenes; éste notable artificio de los habitantes del antiguo Perú, inició su período experimental entre los años 500 al 300 AC, siendo tecnificado más adelante por los Incas entre los años 1000 al 1400 DC(26); los cuales le dieron una doble finalidad :ganar zonas de cultivo a los cerros y evitar la erosión de estos, para que se reduzcan los deslizamientos.

Estas terrazas escalonadas llamó la atención de los primeros europeos que las vieron y han continuado siendo materia de observaciones y notas, a tal punto que no hay descripción del Perú pretérito, en que no se les citen. Los primeros cronistas y autores de la colonia, adjudicaron a los Incas la construcción de estos, pero luego se establecería que el empleo de estas terrazas artificiales correspondían a culturas más antiguas. Es por ésta razón, que podemos afirmar la experiencia que no deberíamos desaprovechar por ser vivencias de la naturaleza de nuestro medio ambiente.

La importancia económica de los andenes fue constatada por las autoridades españolas de la colonia, así transcribimos los siguientes párrafos de las conocidas ordenanzas del virrey Toledo, que gobernó en período 1569-1581, y que fueron dictadas para todo el virreinato :

Ordenanza #25, relativa a la reparación de los andenes :

"Por cuanto en muchos repartimientos de los de la sierra, de éste reino, hay gran cantidad de chacras de maíz y papas, que están hechas de andenes, y cerrados los tales andenes con piedras, y de descuidarse los dueños de ellas, de reparar y aderezar, como es justo que lo hagan, ha resultado que las avenidas de las aguas han rodado la mayor parte de las chacras." (27)

La construcción de éste sistema de terrazas permitió al hombre andino controlar la erosión de los suelos, dominar mejor las aguas y manejar adecuadamente los sistemas de cultivo, aumentando en gran número las sementeras. La capacidad y uso apropiado de los andenes, de acuerdo a la rotación de cultivos, riego y drenaje, permitieron una maximización en el uso de la tierra; por otro lado las terrazas agrícolas hicieron posible modificar las condiciones del suelo y del clima, creando condiciones favorables para una agricultura en laderas de gran declive. Así el hombre ha podido modificar y manejar la estructura, textura y profundidad de los suelos a través de las terrazas, facilitando la penetración y retención del agua en el suelo con efectos modificadores del clima.

Veamos ahora algunas características y opiniones expresadas por estudiosos contemporáneos :

P.F.Cook, en 1937, llama a los antiguos peruanos, constructores de andenes, "reconstructores del terreno." (28) H.Bingham, en su libro "La ciudad perdida de los Incas" nos dice que el alto y ancho de los terraplenes dependían de la pendiente de la ladera. En las más escarpadas, existían terrazas angostas de sólo 0.9 a 1.7m de ancho, aunque la dimensión corriente fluctuaba entre 1.80m a 4.5m; los largos bancos de los andenes se halla interrumpidos por pasadizos, que servían para llegar a estas terrazas artificiales, y de canales de desagüe, para permitir que el agua de la superficie de las colinas más altas, fluyese libremente hacia abajo sin arrasar nada del precioso suelo, que había sido acarreado desde muy lejos por medio de canastos a espalda de los trabajadores. (29)

Germán Zevallos en su libro "Contribución al estudio geográfico-económico de los andenes", estima que el escalonado de los sembríos atenúa la pérdida de humedad del terreno, pues corrige en parte la caída normal de los rayos solares sobre el suelo. (30)

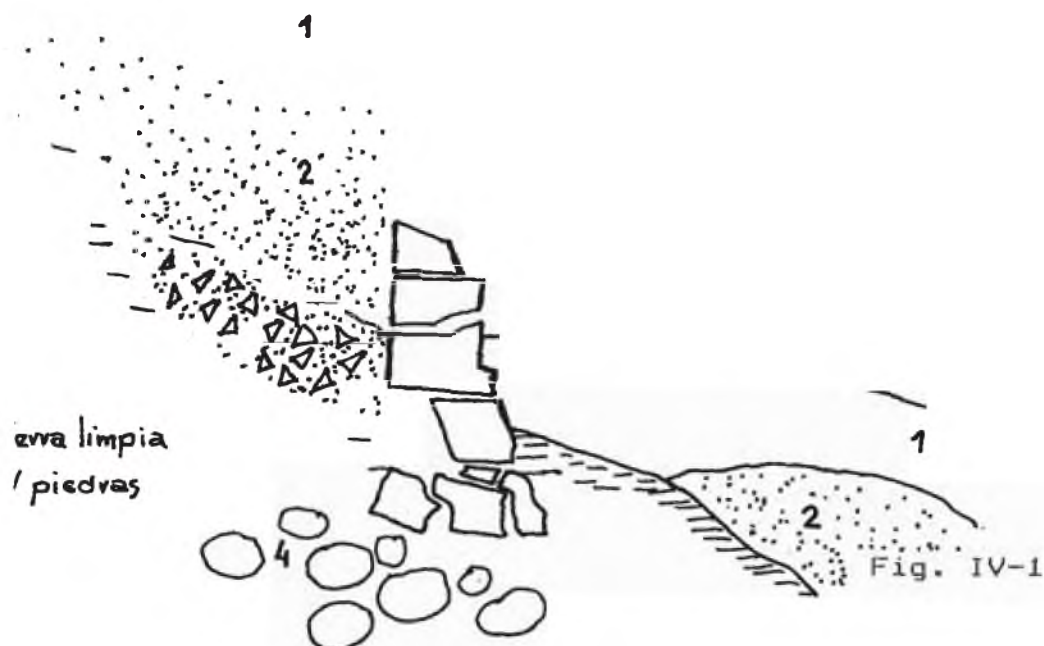
En líneas generales, los Incas con sus sistemas de andenería conservaron y protegieron taludes inestables en Pisac-Cuzco, Huiffay-Huana, Machupichu, Colocampata, etc. y posteriormente los españoles en Ayacucho trataron de continuar ésta escuela en el control de los huaycos con obras pequeñas de andenería en las faldas del cerro Picota. Más adelante, ante el abandono de los cultivos en andenes, o

simplemente el mal manejo de los suelos en laderas, no sólo contraen la superficie cultivada en el país, sino que también produce un fenómeno erosivo de consecuencias muy negativas para el equilibrio de los valles interandinos.

ESTRUCTURA DE UN ANDEN.

Dado el gran periodo de desarrollo agrícola que tuvieron los antiguos peruanos, como es lógico suponer, existió una variación en la estructura y construcción de las terrazas agrícolas de acuerdo a la experiencia de los años y diversidad de lugares en que se realizaron las obras. Así la técnica de los Collaguas-Arequipa, en la construcción de andenes fue la de levantar muros de piedra picadas entre sí, asentados con un mortero de barro; el declive era rellenado con piedras menudas, cascajo y tierra de cultivo, que muchas veces eran trasladadas de otras zonas. En las partes laterales de los andenes existen estructuras líticas muy bien definidas para cumplir la función de canales, con los que se efectuaba la distribución de las aguas.

En Atuén, pequeño poblado cerca de Chachapoyas y a una altitud de 3550msnm, los andenes de piedra tienen una altura de 0.6 a 1.20m. y un ancho de 2 a 2.85m, fueron hechas con piedras calizas de diferentes tamaños. Sus laderas tienen una pendiente promedio de 25° a 35°. (31)



- 1- Tierra limpia; suelo franco limoso con alto contenido orgánico.
- 2- Contiene gran cantidad de piedras con poca tierra.
- 3- Es la parte de la ladera del cerro que no ha sido removida, reposa sobre el talud natural.
- 4- Tierra muy dura, con muchas piedras, piso original a base del cual ha evolucionado el suelo de la ladera.

Del gráfico anterior podemos apreciar lo siguiente (IV-1):
 Que la pirca fue construida sobre el ~~suelo~~ suelo natural, la cual es una capa de suelo residual. El material de relleno fue tomado de la ladera del lugar y colocado detrás del muro. Se coloca encima una capa de humus de 30cm. La siguiente terraza se levanta sobre la capa del suelo superficial del andén inferior.

En el valle de Urubamba, Cuzco, se puede apreciar el sistema de andenería realizado que consiste en un muro nuclear levantado con piedras sin labrar, tramadas y consolidadas con argamasa, apoyada sobre un cimiento que penetra en el suelo y con una contrapendiente del orden del 2 al 3%, protegida a su vez con un revestimiento de piedras. (ver fig IV-2), (32).

La cavidad resultante entre el muro y la ladera del cerro, es rellena por sucesivas capas :

Las piedras grandes del fondo son cubiertas con ripio (que proporciona un drenaje y evita que el suelo de la parte superior se filtre o lave hacia abajo). A continuación de ésta capa viene la tierra inorgánica, la cual se distingue por su color negruzco (tiene por finalidad mantener la fertilidad del suelo). Luego una capa de arcilla muy delgada, la cual previene un drenaje de agua demasiado rápido y finalmente encima de éste viene una capa de suelo agrícola o tierra vegetal.

A continuación presentamos un corte típico de éste sistema de andenerías del valle del Urubamba. (nótese la diferencia de potencia entre estratos).

.....

(26), (27), (28), "Andenes y camellones en el Perú andino"
(29), (30), (31). CONCYTEC 1986

(32). "Maravillosa andenería incaica" El Comercio
1986

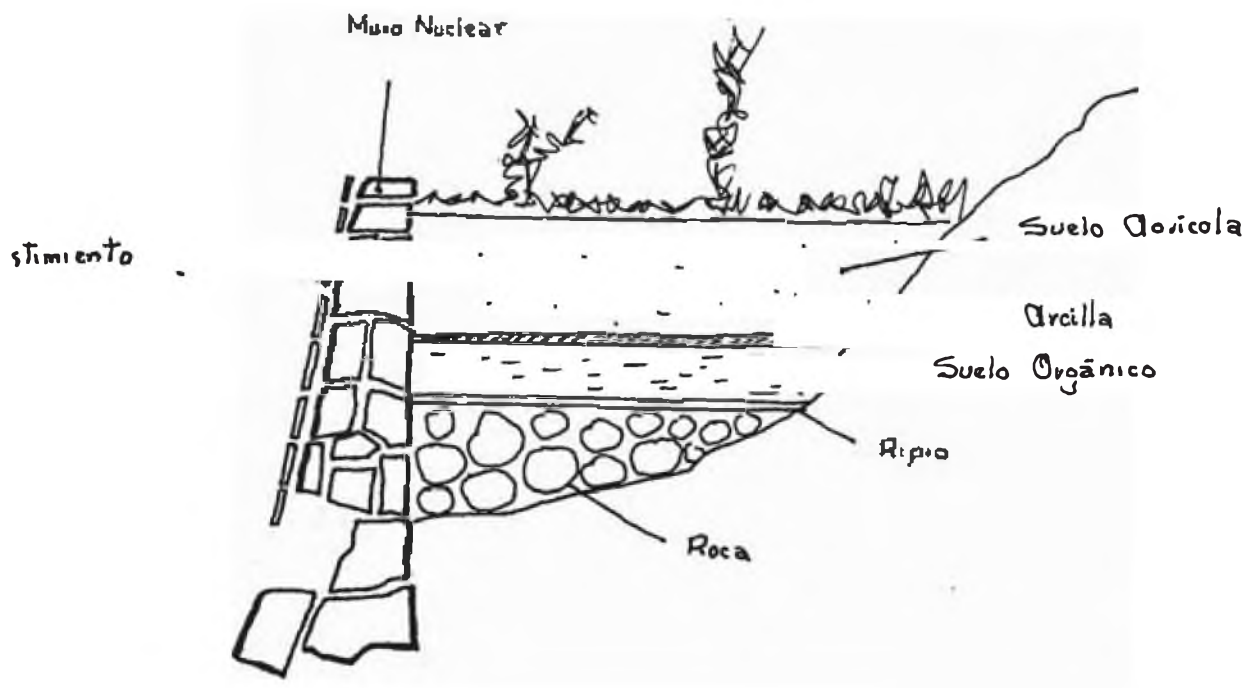


Fig. IV-2

ASPECTOS EN SU CONSTRUCCION.

En líneas generales, podemos considerar al siguiente proceso constructivo como el desarrollado por los antiguos peruanos, basándonos en la recopilación de las diversas bibliografías consultadas.

El muro de contención era construido con una ligera inclinación de 75 aproximadamente para que pudiera soportar mejor el peso y la presión del relleno; estaba conformado por piedras medianas de 12 a 15 cm. en la parte superior y de 20 a 25 cm. en la parte inferior, reforzados de una buena cimentación con piedras más grandes, el empalme del picado

no era exacto, dado que las piedras utilizadas en su mayoría son amorfas y angulares. Esto explica que normalmente presenten aberturas en la juntas de las piedras, lo cual ayuda a la oxigenación del suelo y al cumplimiento de las funciones metabólicas que en él se producen.

El tipo de mampostería es semejante en las distintas comunidades por la clase de materiales utilizados (rocas sedimentarias, calizas, areniscas). El ancho de los terraplenes oscilan entre 1 a 4m y la longitud entre 15 a 45 m.

Basándonos ahora en la figura anterior, podemos comprender perfectamente la técnica de construcción; en primer lugar construyeron el muro de contención sobre la ladera del cerro, luego se rellenó un estrato de piedras más o menos bien nivelado e inmediatamente encima una capa de tierra escogida, sobre la que se efectuaba los cultivos. Dicha capa, llega hasta el fondo o sea hasta la base de la siguiente terraza, pero la capa siguiente hacia el fondo de la terraza no se encuentra. En otras palabras, la capa artificial pedregosa se construyó exclusivamente en la parte delantera de los terraplenes, extendiéndose a todo lo ancho, ésta tiene la facilidad de impedir que el agua se empoce en la terraza y pase así a la siguiente por drenaje. Dada la ligera pendiente, el agua así sucesivamente irá descendiendo por todas las terrazas de las laderas, aprovechando el uso del agua al máximo y retardando así en lo posible la descarga a los ríos. Cabe señalar que en

muchos lugares se ha encontrado una capa de arcilla de espesor variable (saña) debajo de la capa de tierra cultivable.

En cuanto al sistema de irrigación de las terrazas agrícolas debe ser sin duda muy amplio, aunque poseamos muy pocos datos sobre el particular, Cook menciona de tres maneras distintas de hacer bajar el agua de un canal a otro." En algunos andenes estrechos hay canales verticales hacia los extremos de los muros de contención; en otras series de andenes el agua cae por piedras saledizas, el tercer método consistía en hacer descender el agua a lo largo del muro de las extremidades de los andenes por un canal formado por una doble hilera de piedras."(33)

El drenaje sin duda ha representado un factor muy importante para el funcionamiento de éstas terrazas, pues la acumulación de agua dañaría las raíces de las plantas; en algunos casos cuando las terrazas se construían sobre un suelo impermeable los excedentes de agua salían por percolación por las juntas de las piedras, en otros casos se construían una doble pared de contención, rellena a base de grandes piedras por cuya junta se efectuaba el drenaje.

Es indudable que estos sistemas de terrazas requieren de constante mantención y cuidado, ya que una vez abandonadas el proceso erosivo es rápido; a pesar de no existir un estudio detallado, existe una estrecha relación entre la condición de

cuidado de las terrazas y la distancia entre casa y campo, presión de población y grado de dependencia del propietario de la agricultura para la subsistencia. Según Sanders, nota que aparentemente es difícil mantener el sistema de terrazas cuando estas están situadas a más de 300 a 400m. de la casa hacienda. (34)

COMENTARIOS

Sacando las enseñanzas del pasado, podemos ver como se trataron zonas de gran inestabilidad en la época preinca, experiencia que fue superándose en el incanato, donde numerosos taludes fueron prácticamente modificados y transformados en áreas estables para los asentamientos humanos y para el desarrollo agrícola.

La protección del suelo ejercida por los andenes es el resultado de su constitución :terrazas escalonadas sobre laderas de montaña, apoyadas sobre un muro de contención que puede ser de piedra o de tierra, donde la pendiente de la superficie de cultivo ha sido nivelada adoptando el conjunto formas de curva de nivel. Los andenes cubren varios pisos altitudinales que incluyen diversas zonas ecológicas, de modo tal que permiten mantener una diversidad de cultivos.

El control que ejercen los andenes sobre la erosión, especialmente la hídrica, se debe que estas plataformas presentan un escalonamiento como para que la lámina de agua

que cae sobre ellas, discorra tan despacio que no llega a mover cantidades importantes del suelo (Gustafeson-57). Por otro lado, el agua de escorrentía tampoco provoca daños importantes pues se disipa la energía de arrastre, impidiendo el aumento de velocidad y volumen a lo largo de la quebrada.

Por lo tanto, el agua que llega a la terraza se empoza en la superficie facilitando la filtración de las partículas finas del suelo a las partes más bajas, quedando en la superficie el suelo de textura gruesa y de mejor permeabilidad. Por otra parte, el agua de infiltración no podría llegar nuevamente a la superficie por capilaridad, aún suponiendo que la textura del suelo favoreciera tal proceso, pues como el drenaje es perfecto, cumplida su misión el agua se evacúa o, más propiamente, evacúa su exceso.

Pero cuando predomina la lluvia sobre la evapotranspiración, como en éste caso, en que los elementos gruesos superficiales y el drenaje no permite evaporación, existe el peligro de que ciertos elementos útiles a la vegetación y solubles en el agua, tales como los nitratos, sean arrastrados por las aguas infiltradas y llevado fuera del alcance de las raíces de las plantas. En tal caso, el indígena se ingenió para evitar tal daño. Las aguas que escurren de los planos superiores van a inmigrar a los inferiores, llevando consigo elementos nutritivos que de otra forma se hubieran perdido, como sucede

en un terreno corriente.(35) Resulta así un progresivo enriquecimiento de los planos inferiores a expensa de los superiores.

Las angostas fajas de tierra plana, que constituyen las terrazas a nivel en los andenes, no sólo son más fáciles de regar con aguas de lluvia y de cultivar, sino que, disminuyendo escurrimiento y evaporación, permiten alcanzar los resultados que ha mencionado Emilio Romero en su libro "El aspecto económico de los antiguos andenes peruanos" : distribución más uniforme del agua, aumento de infiltración -con sus efectos reguladores en el régimen de descarga de los cursos de agua- y permite el aprovechamiento inmediato en el andén inferior de cualquier desborde del superior.

El sistema de andenería planteado en el antiguo Perú, posee las siguientes ventajas :

- Reduce la pendiente y de ésta forma se controla el problema de erosión.
- Se minimizan los riesgos de helada, al producir mayor turbulencia al viento.
- Se logra una mayor exposición al sol, así se gana mayor energía luminosa.
- Se controla el agua de escorrentia, facilitando la penetración del agua al subsuelo.

No cabe duda que toda la tecnología artesanal existió, que aún puede recuperarse y adecuarse a la ingeniería actual, aprovechándose las raíces innatas del agricultor, motivando en las comunidades la recuperación del terreno a la agricultura mediante los andenes, que si bien algún daño han sufrido, es por el abandono y falta de mantenimiento como de uso a que fueron destinados en defensa de la erosión de los suelos en laderas.

.....

- (33). "Los trabajos hidráulicos del inca en el antiguo Perú"
A. Regal 1970
- (34). "Investigación arqueológica en el Mantaro medio"
D. Bonavia 1970
- (35). "Tecnología andina" Ravines ITINTEC

4c-Sistemas Actuales : Nacionales e Internacionales.

ci- DIQUES REGULADORES O GAVIONES.

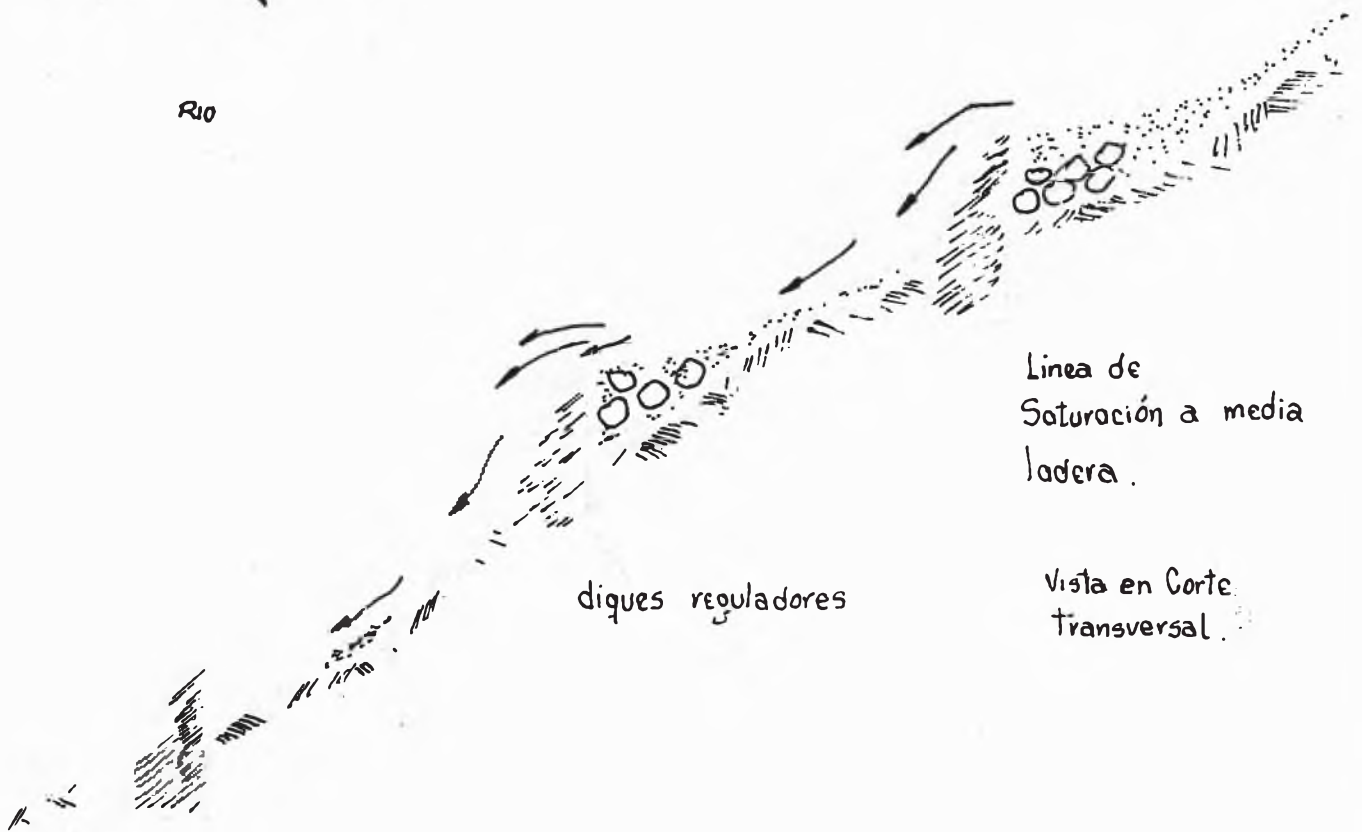
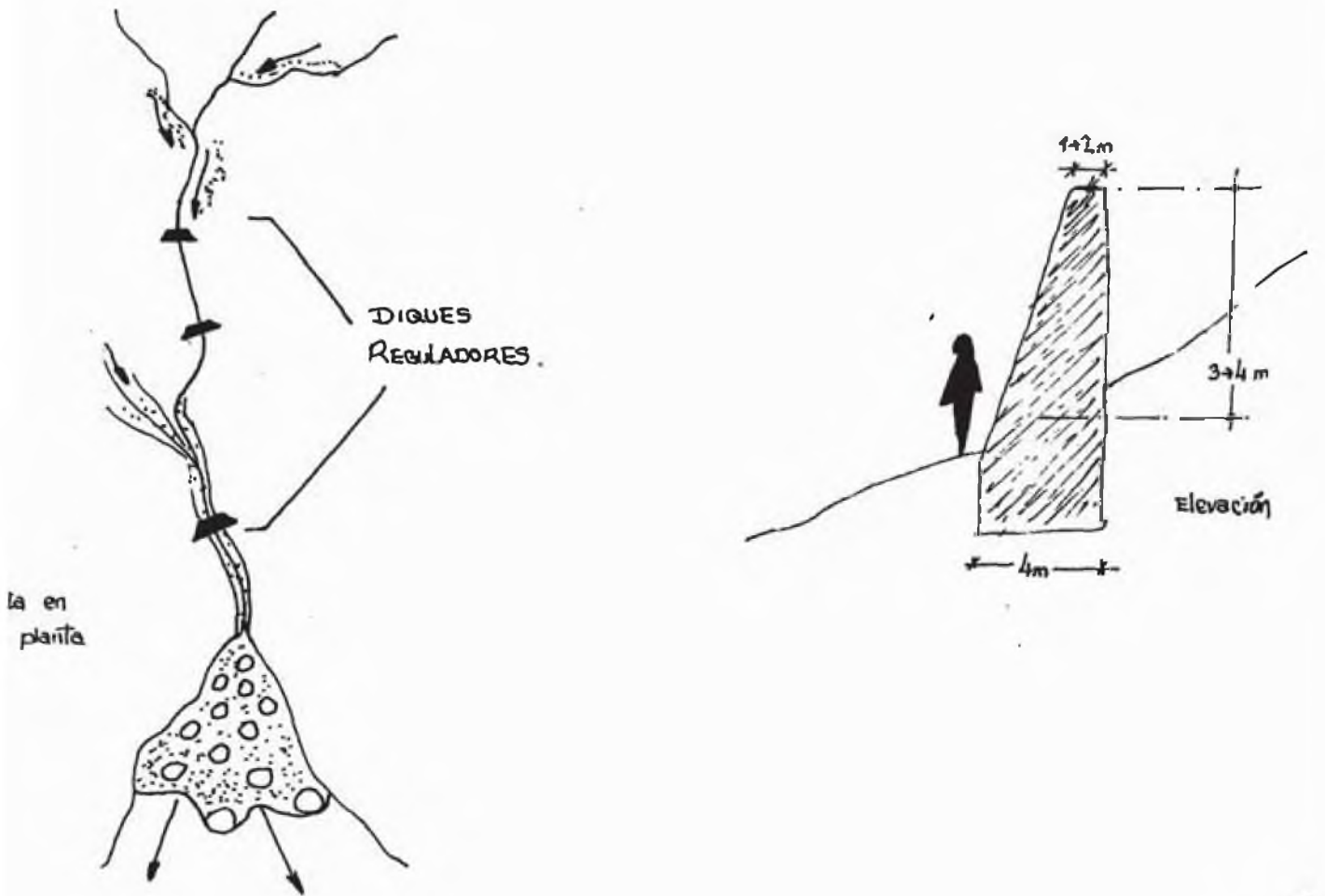
Son estructuras de concreto o enrocado, con murete central de hormigón y paramento aguas abajo, en banquetas tipo gaviones; en algunos casos puede ser de concreto ciclópeo.

Los diques reguladores, hasta la fecha, no se han utilizado para controlar las avenidas intempestivas de flujos de lodo, las cuales bajan con gran velocidad por lo que su control requeriría del diseño de una obra sólida y estable al volteo y deslizamiento.

Se plantea que éste tipo de obra debe proyectarse en las partes más estrechas del curso de una quebrada, en forma de escalones, es decir 2 a 3 diques o presas de sección trapezoidal con las siguientes características : base menor 2m., base mayor 4m. y una altura de 3 a 4m. debiendo tener una buena base para dificultar su asentamiento en caso de socavación. Se especifica además que el cuerpo de la obra debe estar constituido por bloques de roca con diámetros de 0.5m. y gravas; debiendo además de llevar en su núcleo un murete de concreto para tener mayor resistencia al empuje del torrente, estar cimentado transversalmente a la quebrada y empotrado ambos extremos del dique en los estribos a la parte más angosta de la quebrada. (ver fig IV-3)

DIQUO REGULADORES O GAVIONES

Fig. IV. 3



Ref: Vidal Taype R. " Estudio Geotecnico - Geodinámico y Seguridad Física en los Centros Poblados del Valle del Rimac .

Se menciona que la presente estructura tendría por finalidad disminuir la velocidad del flujo del huayco, sedimentar los materiales transportados por el flujo hídrico y, por último, regular la corriente en forma escalonada, según el número de diques correspondientes al diseño en la quebrada. (36)

COMENTARIOS .

Se ha mencionado anteriormente que cualquier intento por eliminar las fuerzas de un huayco y aluviones es casi imposible o no puede lograrse, pues nadie puede conocer ni predecir la magnitud de la fuerza que la masa de lodo puede movilizar en un torrente; si bien es cierto que podríamos evaluarla de acuerdo a la masa desplazada en un determinado tiempo y habiendo recorrido una determinada distancia, pueda que estemos muy por debajo de la realidad o el caso de considerar factores de seguridad demasiado conservadores, pues el material a desplazarse estaría en función a su condición natural (efectos de meteorización, características de formación geológica, estratigrafía de la quebrada, etc) . Es por ello la razón que para reducir sus efectos causados por los huaycos debemos de impedir la formación de estos, trabajando en las partes más altas de las quebradas para que el agua descienda en filetes delgados y no adquiera fuerza de arrastre considerable, cosa que éste sistemas de diques no lo plantea.

Este sistema de diques trabajando como muros de contención, podría resultar si ésta estructura estaría en capacidad de absorber toda la energía generada por el torrente, cosa que lo haría antieconómico puesto que se requeriría una obra masiva de 3 a 4m. de alto y una longitud en función a la zona más estrecha de la quebrada (ver figura IV-3) ,aparte de asegurarse la estabilidad de los estribos y construido por personas calificadas, a esto sumamos el transporte de los materiales a las zonas altas (3500m.).

Se menciona además que éste sistema tiene por finalidad sedimentar los materiales transportados por el flujo hídrico sin embargo, como el relleno será colocado en forma natural, si éste no es drenado adecuadamente, las propiedades físicas del material cambiarían con cada estación, y durante el curso de cada año pasaría por estados de saturación parcial o total, lo que hace variar la magnitud del empuje activo. Es por ello la importancia de construir unos drenes en el muro para así evitar que se obstaculizen cuando ocurran los torrentes.

A esto podríamos añadir, en lo que respecta al empuje pasivo, que no se puede contar como una fuerza de ayuda a la estabilidad del muro pues la presencia de agujeros por futuras raíces al pié del dique podría transformar el suelo en un material tan compresible que, para que la resistencia

pasiva alcance a hacerse efectiva, resulte necesario que el muro avance una distancia considerable, cosa que no se puede contemplar en los diseños pues afectaría directamente a la estabilidad del muro.

cii- ENCAUZAMIENTO DE FLUJOS DE HUAYCO :

Son medidas que tienen por objeto proteger las carreteras que cruzan por la desembocadura de las quebradas, observadas en muchos tramos de la carretera central Lima-La Oroya. El procedimiento del encausamiento, consiste en captar la creciente laminar que drena sobre una quebrada, en un solo canal de descargas mediante la construcción de diques de enrocado en forma divergente, de esta manera todo el flujo del huayco pasaría por un solo punto.

COMENTARIOS .

Este sistema de defensa planteado contra la acción de los huaycos, para que la ruta sea cambiada (canal por donde debe discurrir una eventual avenida de piedras, lodo y agua), no tiene razón de ser, a mi parecer, no sólo por cuestiones técnicas y de acuerdo a la opinión de geólogos e ingenieros, sino fundamentalmente porque si se construyera un nuevo cauce para el huayco, en línea recta, se estaría creando un enorme peligro pues de producirse una avenida de grandes

dimensiones, los grandes bloques de piedra irían a dar rápidamente hacia el río Rimac y lo embalsaría en menos de tres horas, creando una presa eventual que no sólo traería consecuencias graves a Chosica sino que al romperse inundaría la ciudad de Lima. A parte de esto, los muros de encausamineto deberían de ser de gran resistencia para que pueda soportar la fuerza del torrente, pues como podemos apreciar en la quebrada de El Pedregal, el muro de encausamiento fue partido en dos por el último huayco en dicha zona el 9-03-87. (ver anexo fotogr. 3)

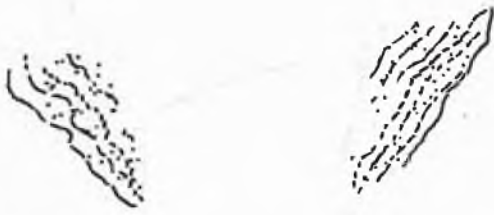
Ciii- DESQUINCHE DE ROCA :

Este método consiste en realizar una limpieza de rocas inestables que se exponen en los flancos de las quebradas; para efectuar dicho trabajo, es muy importante tener en cuenta el tamaño de los bloques de roca, pudiéndose utilizar medios mecánicos o empleando explosivos. Con el material removido, se construyen terrazas las cuales estarían confinadas por muros de contención previamente ubicados a lo largo del cauce del huayco. (ver fig. IV-4)

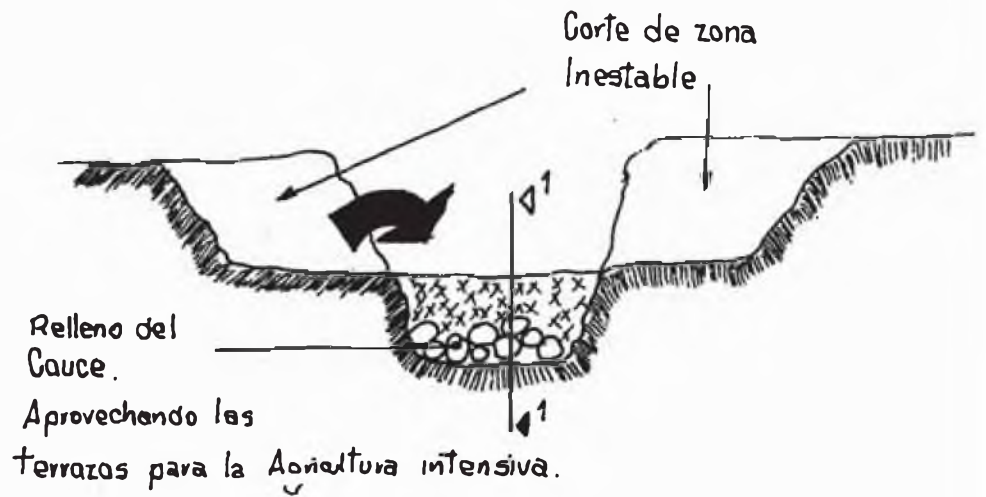
DE QINCHE DE ROCAS.

Fig. 14.4

Superficies
Inestables



Cauce profundo
de la quebrada



Construcción de
Muros de Concreto

Relleno:
Desquinche del material Inestable
de la ladera adyacente.



Corte 1-1

Ref: César León-Prado
1900.

COMENTARIOS

Esta metodología nos da una solución sin resolver el problema o la causa que lo origina, es decir que no es un tratamiento correctivo de la ladera sino más bien se busca un equilibrio suelo-roca a la fuerza, formando terrazas en las que se requerirían maquinarias muy pesadas, a parte de lo costoso que sería la construcción de estos grandes muros. A mi parecer, debería buscarse tratamientos correctivos desde la parte alta donde empieza a originarse las llocllas, de tal manera que se controle la fuerza de descenso del agua precipitada por las lluvias y en lo posible favorecer desde las cumbres la filtración para la recarga de la napa freática.

Cabe señalar que como metodología para recuperar el terreno perdido en las quebradas profundas, sería el ideal siempre y cuando se hallan primero tratado las partes altas.

.....

(36). "Estudio geotécnico-geodinámico y seguridad física de los centros poblados en el valle del Rímac".

Vidal Taype Ramos 1977

V
EL P'UNQU

5a- Definiciones - Fundamento histórico.

En 1976, el Dr. Antunez de Mayolo estudiando el problema nutricional en Puno, plantea una técnica fácil de aplicar a muy bajo costo y que en contados años podría elevar sustancialmente la capacidad de carga de las pasturas naturales.

En aquel entonces se le designó a ésta técnica "Cochas" por la similitud con una de las modalidades del riego precolombino, mediante depresiones en el terreno, con la finalidad de captar el agua y almacenarla donde lentamente se infiltraría en el suelo (Rossel :77). Posteriormente se cambia tal designación por P'unqu, que en quechua significa estancar el agua. Así ésta técnica del P'unqu consiste en abrir pequeñas cavidades de unos 40 a 45 cm. de ancho, por unos 80 a 90 cm. de largo y unos 20 a 25 cm. de profundidad a fin que el escurrimiento de la lluvia llene éstas cavidades, y tenga tiempo de infiltrarse en el suelo.

Esta metodología se basa en el criterio adoptado por los primeros agricultores peruanos, que le dieron mucha importancia a la formación de acuíferos, como podemos apreciar a los embalses construidos por las culturas precolombinas, los cuales eran fundamentalmente ciegos, pues lo que interesaba no era que el agua discurriera por una compuerta sino que por infiltración alumbrara en niveles inferiores, y elevara la napa acuífera para mantener más tiempo la vegetación.

Básicamente, éste sistema del P'unqu ha sido planteado con el objeto de solucionar el problema agrícola; en el presente trabajo se demostrará su validez como medida correctiva de la erosión de suelos en laderas, para evitar la formación de huaycos mediante el control de las llocllas en la parte alta de las quebradas. Para ello nos valdremos de las memorias de Duccio Bonavia, en su expedición por el Mantaro medio, en el cual nos menciona la existencia de unas terrazas sin fronteras de piedra (bancales), construidas por los precolombinos en niveles superiores a los sistemas tradicionales de andenerías como una combinación de planteamientos. Así muy cerca de Ayahuanco (Ayacucho) se distinguen estas terrazas agrícolas, los cuales los describe como pequeños lomos irregulares, en lo que a volumen se refiere, pero situados a lo largo de la ladera en sentido transversal y a distancias constantes el uno del otro sin huella alguna de muros de contención.

Aparentemente, anota, han sido surcos abiertos en el cerro y que los lomos se han formado por un proceso natural, creado por el amontonamiento de los materiales que caen por gravedad desde las partes altas; el plano de construcción es irregular y muestra un adaptamiento total a la topografía; en lugares donde existían rocas grandes, éstas si era posible se aprovechaban o sencillamente dicha zona no era utilizada para construcción de ésta terrazas o por último se desviaban de su curso.(37)

Según Swanson (1955) "hay evidencias que en el antiguo Perú, en áreas altas no se construían terrazas con piedras sino un sistema de terrazas estrechas con tierra a manera de pequeños lomos".(38)

Así podríamos mencionar a diversos autores, los cuales nos llevan a una sola conclusión y es que los Incas conocieron y aplicaron todo un sistema de contraerosión en las partes altas, encima de las terrazas, sirviéndoles de defensa. La avenida o lloclla originada por las lluvias, por medio del arrastre de materiales han creado los pequeños lomos, que en la actualidad se pueden apreciar y es casi seguro que el ichu y otras hierbas que crecen encima de ellos han servido como elementos de selección, dejando pasar el agua y las partículas pequeñas impidiendo el desplazamiento de piedras más grandes las cuales se acumulaban formando los lomos.

Además el agua que iba descendiendo por las terrazas, llegaba a ellas sin el ímpetu destructivo que, sin éste sistema de defensa, hubiera sido inevitable.

Finalmente, podríamos añadir que éste sistema de terrazas, es considerado por los estudiosos como expresión de una habilidad tecnológica cultural del hombre andino, para llevar a cabo mejoras sobre las laderas naturales, más que como expresión de la influencia del medio sobre el hombre. La terraza agrícola transforma la ladera natural, altera los patrones del drenaje natural, cambia los perfiles y el desarrollo de los suelos, contrarresta los ciclos naturales de erosión, produce una sedimentación controlada y el desarrollo de perfiles más suaves que los naturales, tal como podríamos observar en la entrada a río Blanco, donde se aprecia la existencia de estos bancales a más de 4500m. de altura, como un recuerdo perenne de lo que pudo realizar la agricultura andina.

.....

(37). "Investigación arqueológica en el Mantaro medio"

D. Bonavia 1970

(38). "Andenes y camellones en el Perú antiguo" CONCYTEC

5b- Trazado y construcción del P'unqu.

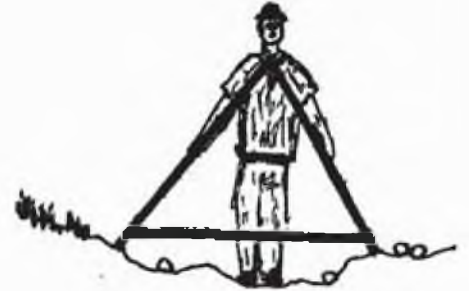
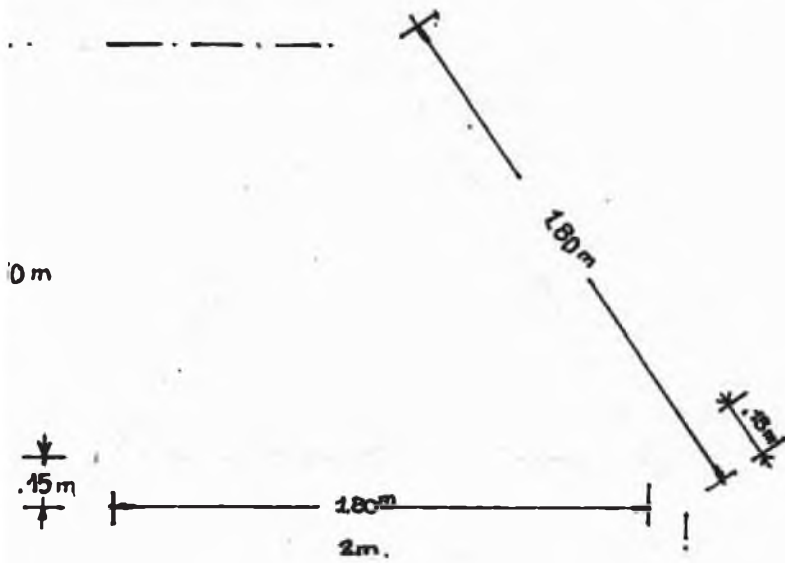
El trazado del P'unqu será en función a las características insitu que presente la ladera, entre ellas la textura y contextura del suelo, su potencia, la gradiente, etc. a fin de no vencer el coeficiente de rugosidad del lecho rocoso. El instrumento a emplearse para el trazado será el del "escantillón trilátero" o "nivel en A", que es un instrumento rústico, hecho de tres palos de 6' de largo o de cañas que llevan suspendida una piedra que hace la función de plomada. Este instrumento es de fácil construcción y su manejo no requiere de mucha destreza pues basta en observar que el plomo de en el centro, para dar por nivelado el primer punto.

El avance del trazado y/o nivelado, se efectuará en sentido transversal a la ladera y tomando siempre de referencia un punto del nivelado anterior, así que cuando nivelemos los primeros puntos A y B, el siguiente será el B y un nuevo punto C de tal forma que al final obtendremos marcado en el terreno una curva a nivel, la cual será de referencia para la construcción de los P'unqu. (ver fig. V-1)

El nivelado es muy importante puesto que al abrir éstas oquedades en la ladera, el agua de la lluvia no debe discurrir en el talud, de lo contrario se perdería el planteamiento inicial de detener el agua y obligarlo a infiltrarse.

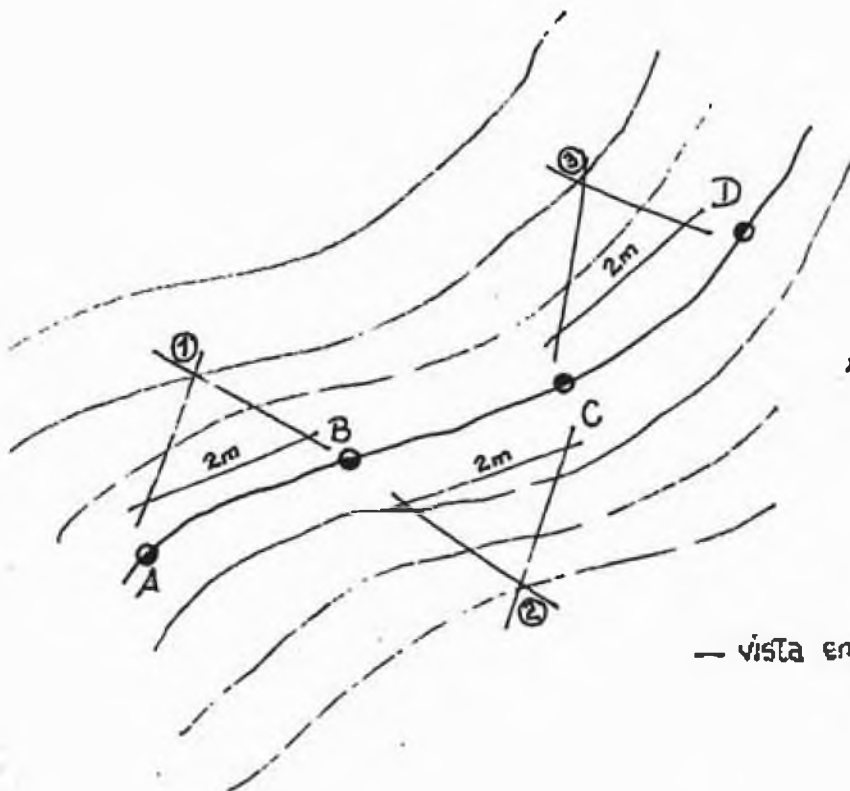
L. PUNGU : azado y Construcción.

Fig. V.1



"Escantillón Trilátero"
o
"Nivel en A"

(Fig 5b-1)



Avance del
nivelado .

(Fig 5b-2)

— vista en planta —

Siguiendo la línea de nivel, se comienza a abrir cavidades que medirán aproximadamente 40 a 45 cm. de ancho, por unos 60 a 90 cm. de largo y unos 20 a 25 cm. de profundidad; el material removido por la tacla se coloca al borde exterior que da hacia el fondo del valle. (ver fig. V-2)

En el interior del P'unqu se sembrarían matas, dándose preferencia a leguminosas que pueden nitrificar el suelo como la husq'a, que si bien es tóxica para el ganado lanar, no es consumida por los camélidos (llamas, alpacas), la sallihua, el ckera entre otras matas e intercalando con algunos arbustos como el rocke, kiswar, etc. (39)

Cabe señalar que el Perú tiene la especialidad de existir árboles, que se han adaptado a la vida en alturas donde normalmente, en otros lugares del planeta, no se encuentran árboles. Así tenemos : el Colle, el Quishuar, el Hapru, etc.

Esta predilección se han notado en diversos lugares de ^{del} Perú como Cuzco, Ayacucho, Ancash, etc, lo que alienta la investigación de reforestación en áreas cercanas a carreteras y pueblos donde los huaycos constituyen un peligro latente.

.....

(39), "Regeneración del Recurso hídrico"

Santiago E. Antúnez de Mayolo 1985

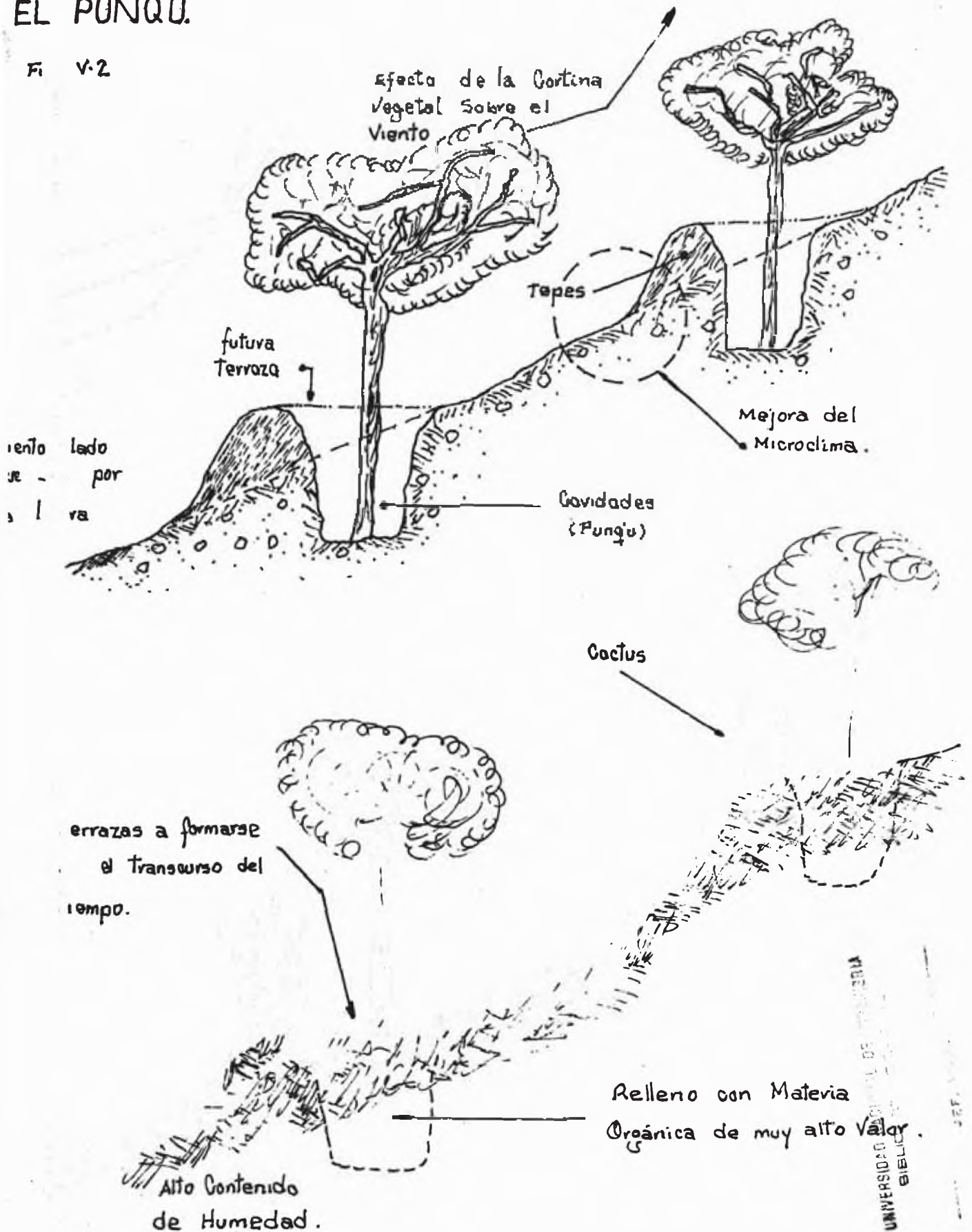
Al pié de los tepes formados y al lado opuesto a las plantas que servirán de cortinas vegetales, se sembrarían diversas plantas de raíces comestibles, como el achacana, capasu, chicuri, etc. El objeto es aprovechar la humedad que forma este P'unqu, para que permita el crecimiento de plantas alimenticias, que puedan servir de alimentos de emergencia, en los casos que se pierda la cosecha por graves crisis climáticas, como lluvias torrenciales, sequías prolongadas, heladas y nevadas, que no afectan mayormente a éstas plantas, demostrando así el gran potencial de su domesticación. (ver fig. V-2).

Sobre los tepes se sembraría el llamado "cactus lanudo" o el "airampo"; estos con su cobertura y profundas raíces fijan a los tepes y los defienden de la acción erosiva pluvial. (40)

En su estado natural los árboles, en primer lugar, actúan como un paraguas que mitiga la caída de las gotas de lluvia, en segundo lugar, como una esponja que absorbe el agua. Sin embargo recomendamos árboles que su follaje adopte la forma de sombrilla, con hojas muy pequeñas, en ésta forma ofrecen una mayor área superficial a los vientos y neblinas; por otra parte las hojas extraen por sus estomas la humedad y el exceso se precipita sin evaporarse ya que el suelo es frío por la sombra mencionada, reduciendo así la evaporación.

EL PUNQU.

F. V. 2



Ref: S. Antúnez de Mayolo 1985.

"Regeneración del Recurso Hídrico en el Perú."

Cabe señalar, que una de las grandes ventajas de éste sistema de construcción, se basa en el hecho de que durante la ubicación de las terrazas individuales, es posible respetar las condiciones del microrrelieve de la localidad y disponer además, la densidad de la siembra, según la necesidad.

Por otra parte, cualquier error en el trazado de estos surcos a nivel originarian nuevas cárcavas; en éste sentido son muy peligrosos los surcos que pasan por depresiones del terreno o se acercan a ellos; en éstos casos, los surcos concentran el escurrimiento superficial en las depresiones, donde éste último desarrolla toda su fuerza erosiva. -Esta advertencia fue recogida del proyecto realizado en Pinares de Mayarí (Cuba), con una metodología muy similar para el tratamiento de las cárcavas-. (41)

.....

- (39), (40). "Regeneración del Recurso hídrico"
Santiago E. Antúnez de Mayolo, 1985
- (41). "Erosión en Carcavas" Serie Oriente
Academia de Ciencias de Cuba.

5c- Recuperación del recurso hídrico, control de las lloccllas y otras ventajas.

Podríamos señalar que los beneficios a derivarse de la técnica del F'unqu son:

a)- **Almacenaje de agua** Se produce escurrimientos por lo general, cuando en una lluvia la lámina de agua precipitada es mayor de 2 mm. Sin embargo es posible almacenar el agua no infiltrada mediante éste sistema del F'unqu, para ello estimaremos una sección :

- 0.40 a 0.45 m. de ancho.
- 0.20 a 0.25 m. de profundidad.
- 0.60 a 0.90 m. de largo.

- Volúmen mínimo de almacenamiento 48 lts.
- Volúmen máximo de almacenamiento 101 lts.
- Volúmen promedio por Funq'u 70 lts.

Estudios realizados por Motor Columbus nos señala que en pisos delgados de suelos altoandinos, de alta gradiente, entre los 4300 m. y 5000m, existe una capacidad de almacenar agua que sobrepasa los 200 lts/m², sin que se haya producido deslizamientos. (42)

b)- **Control de las llocllas** - Durante el periodo de lluvias intensas, éstas quedarán retenidas transitoriamente en los suelos altoandinos por acción de las cavidades construídas, y la cortina vegetal contribuirá a la selección del material transportado por las riadas (llocllas) logrando obstaculizar e impedir el desplazamiento de grandes bloques por acción de las aguas.

Asumiendo que una lluvia fuerte sea del orden de 12mm. en 4 hrs. de lo cual podríamos decir :

- Su infiltración sería no menor de 2mm.
- Su escurrimiento sería no mayor de 10mm.

Consideraremos, según la siguiente modulación mostrada en el gráfico V-3 , un área tributaria por P'unqu de 4m².

$$\text{Donde (M) Masa a discurrir: } M = 0.010m \times 4 \text{ m}^2$$

$$M = 40 \text{ litros}$$

Considerando según el cuadro III-iii , una tasa de infiltración del P'unqu de 3.2 cm/hr. como infiltración básica, entonces la capacidad de infiltración durante las 4 hrs. será de :

Dis r i u c i n e n
p l a n t a d e l P u n g u

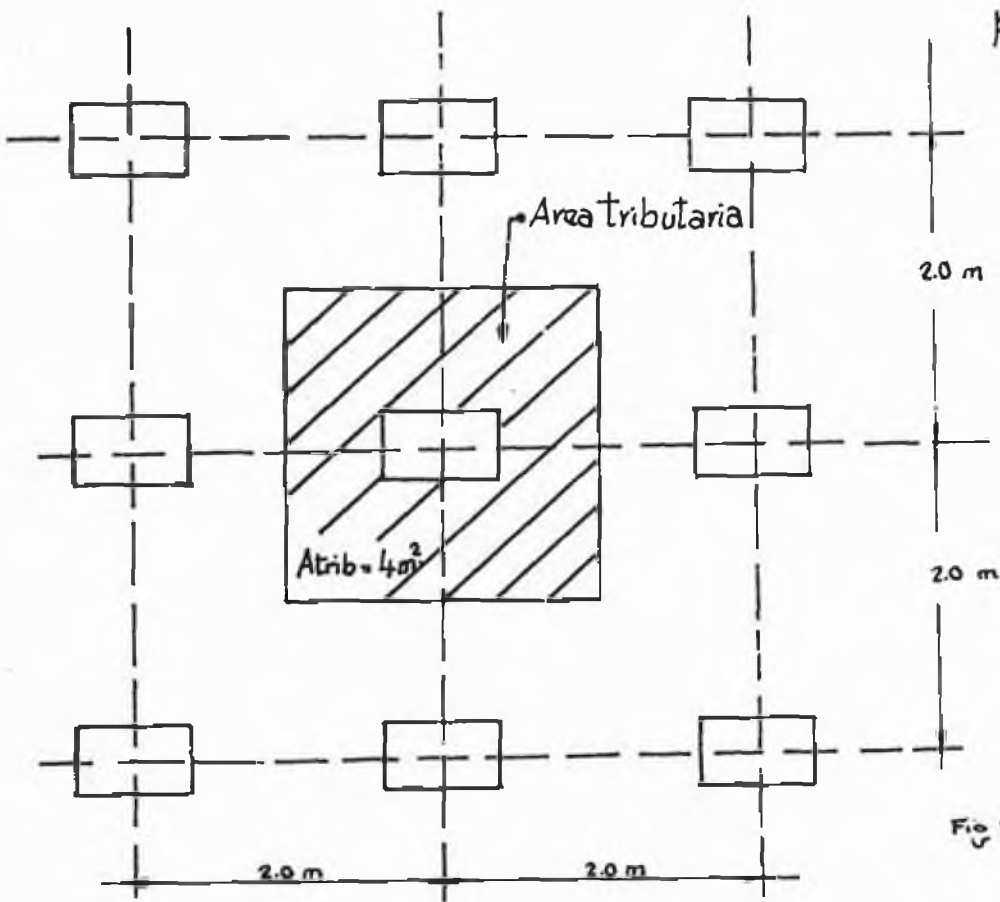
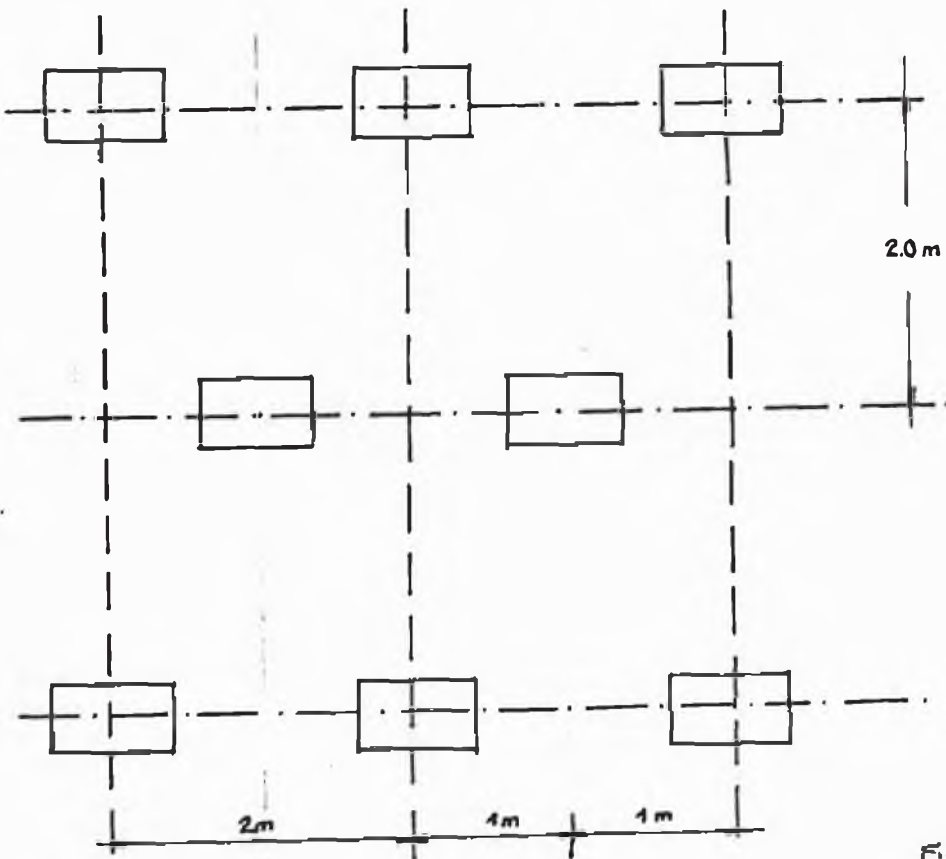


Fig V.3



Variante en la
distribución
recomendada
para Superficie
Onduladas.

Fig V.4

$$I = 4 \text{ hrs.} \times 0.032 \text{ m.} \times \text{area promedio.}$$

$$\text{Area promedio del F'unqu} : 0.32 \text{ m}^2.$$

$$I = 0.0408 \text{ m}^3/4\text{hrs.}$$

$$\dots\dots\dots I = 40 \text{ litros.}$$

Donde 40 lts.(I), es menor que la capacidad promedio del F'unqu e igual a la masa por discurrir.

La siguiente distribución en planta de los F'unqu -mostrada en la siguiente figura V-4, sería la más recomendable para una mayor capacidad de control del agua de escorrentía, sobre todo en terrenos de pendientes muy onduladas.

c) **Fertilidad del suelo** .- La aplicación de ésta técnica permitirá regenerar alta fertilidad en los pastizales, debido a que las cortinas vegetales contribuirán con sus módulos nitrificados a mejorar la microflora del lugar y así aumentar la calidad de nutrientes de las plantas.

Se sabe que la cobertura vegetal en las zonas tratadas con acequias de infiltración se incrementan de un 10 a 40 % en 3 años. (43)

Por otro lado el hecho de establecer un sistema de fertilización escalonada, aprovecha la fuerza de la gravedad por el escurrimiento y filtración del agua de terraza en terraza, llevando consigo elementos solubles que favorecen el desarrollo de las plantas; tales como los nitratos aportados por las leguminosas.

d) **Mejora del microclima** .- Los tepes colocados al frente de los P'unqu tienen un efecto positivo en la conductividad térmica, ya que durante el día reciben la radiación solar trabajando como acumuladores del calor, y por la noche irradia el calor acumulado a la cortina vegetal desde la profundidad más caliente hacia la superficie más fría.(44)

e) **Acción efectiva contra las heladas** .- La cortina de vegetación aumenta la turbulencia de los movimientos del aire y especialmente del aire frío que gobierna en la zona. El enfriamiento de la superficie del suelo por radiación, en ausencia de vientos, produce una fuerte gradiente de temperatura en el aire; cualquier movimiento de aire tiende a uniformizar la temperatura y es más eficaz cuando existe un movimiento turbulento de éste. Todo lo que incrementa la turbulencia del viento reduce la acción de las heladas. Por otro lado, sirve la cortina vegetal de cortaviento para las masas de aire ascendentes, obligándolos a desplazarse hacia arriba; todo esto contribuye en forma efectiva a una mayor formación de bio-masa.

f) **Conservación del suelo** .- Está científicamente comprobado que los pastizales disminuyen la velocidad cinética del escurrimiento del agua, evitando su acción erosiva. Esta consideración es sumamente importante, ya que en nuestra serranía y puna, casi toda la materia orgánica se halla a nivel del suelo y su arrastre determina que su valor

fertilizante sea perdido; es por ello que decimos, al ocurrir un huayco, que los daños que causa no son sólo por los destrozos que ocasiona sino también por la pérdida del suelo, recurso que tarda muchos años en formarse.

Así, la técnica del P'unqu determinará que toda ésta materia orgánica se deposite en las cavidades formadas, y con el tiempo es probable que 10 a 12 años éstas cochas habrán quedado cegadas, pero en ellas se habrá depositado material orgánico de muy alta calidad, que contribuirá a mejorar la calidad de las pasturas que sobre ellas se desarrollarán.

Antes que ésto suceda, se debería abrir otras hiladas de P'unqu, que reemplacen la función de las que quedaron rellenas. A largo plazo 18 a 20 años, el material acarreado habrán llegado a la altura del coronamiento de los tepes, y se habrán formado bancales de muy alta calidad de suelo, tal como encontramos en la región del Mantaro medio descritos por el Dr. D. Bonavia.

g)- **Recarga y mejora del acuífero costero** .- El abatimiento de los acuíferos de la costa determinan que aumente la concentración de las sales en ella. Esta contingencia y el riego por bombeo, sumados al efecto de ascención capilar origina la salinidad de los suelos de cultivo. Al recargarse los acuíferos por la mayor filtración obtenida por el P'unqu disminuirá la concentración de sales, y será posible además

lavar los suelos por la disponibilidad de una mayor dotación de agua.

A continuación mostraremos un ejemplo de como se eleva los manantiales producto del incremento del agua subterránea como respuesta a las acequias de infiltración :(45)

Aylambo 1974 : 0.2 lts/seg. 1977 : 0.4 lts/seg.

Parque de la

 Virgen . 1983 : 0.3 lts/seg. 1985 : 0.45 lts/seg

Guitarrero ... 1982 : 0.1 lts/seg. 1984 : 0.2 lts/seg.

h) Regulación de la descarga de los rios .- Toda medida que sirva para conservar el suelo es una medida para conservar el agua, aunque en algunos casos cuando el agua es la que se encuentra al mínimo, debemos atender primero la necesidad de conseguir mayor disponibilidad de éste recurso y con ésta técnica del F'unqu, podemos retrasar las descargas de los rios costeros para tener un mejor aprovechamiento.

A lo largo del período de lluvias, se podría asumir que la construcción del F'unqu permitiría regular demorando durante unos tres meses, masas de unos 4000 m³/ha. que en la vertiente del Pacífico representaría unos 10'278,000m³ de agua.

.....

(43). "Andenes y camellones en el Perú antiguo" CONCYTEC

(44). "Regeneración del recurso hídrico"

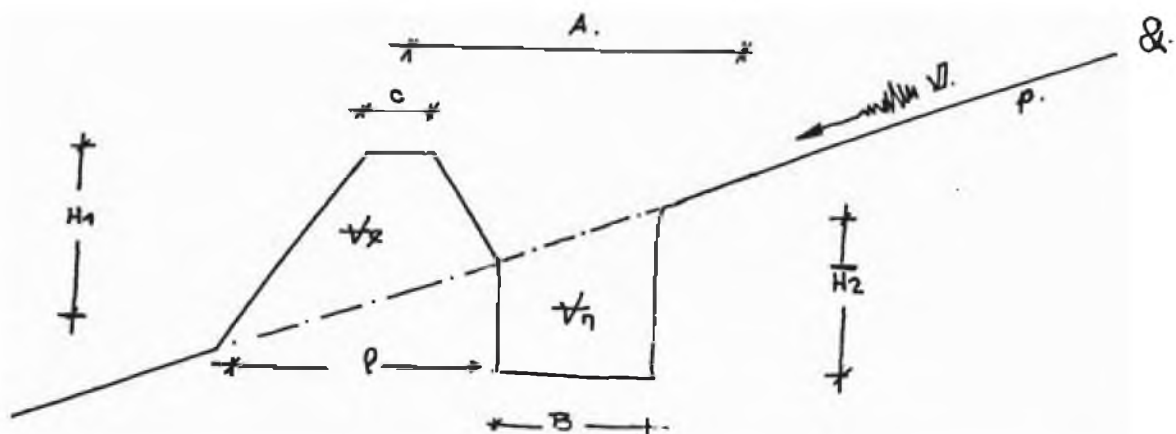
Santiago E. Antúnez de Mayolo 1985

(45). "Andenes y camellones en el Perú antiguo" CONCYTEC

1986

5d- Cálculo hidrotécnico y dimensionamiento.

Estimando la siguiente sección para el análisis :



En el cálculo hidrotécnico respetaremos estas exigencias principales :

- a- El escurrimiento superficial que llega al F'unqu no debe erosionar la pendiente, es decir, su velocidad debe ser menor que la que corresponda al principio de la erosión.
- b- El surco debe tener suficiente capacidad para retener la máxima precipitación momentánea.

El punto -b- ya lo tocamos en el capítulo V-c-b (control de llocllas), y en este vimos que el dimensionamiento de surcos cada 2 m. es el aceptable -con las dimensiones planteadas inicialmente-.

Luego pasaremos a verificar bajo que condiciones se cumpliría la primera exigencia.

B = ancho del surco.	0.40 a 0.45 m.
H ₂ = profundidad.	0.20 a 0.25 m.
l = largo del surco.	0.60 a 0.90 m.
p = rugosidad del terreno.	(factor según Bazin).
& = gradiente hidráulica.	(pendiente del terreno).

E[^] de Chezy : $V = C \sqrt{Rh \cdot \&}$

donde :

C = coef. de Chezy
 Rh = Radio Hidráulico
 & = pendiente insitu

Cálculo de Rh

Asumiendo un canal en la superficie del tipo rectangular, donde :



$$B \gg h$$

$$2h/B \rightarrow 0$$

$$Rh = A/pm. = h \cdot B / (B + 2h)$$

$$Rh = h / (1 + 2h/B)$$

$$Rh = h = a$$

siendo a : la altura de agua en la superficie.

De manera conservadora asumiremos que el valor de "a" sea el de máxima precipitación momentánea (sin descontar un % debido a infiltración y evaporación).

Cálculo de C : según Bazin :

$$C = 87 / (1+p/\sqrt{Rh})$$

$$C = 87 / (1+p/\sqrt{a})$$

a(metros).

sea: $a \rightarrow 0$

$$C = 87 \sqrt{a} / (\sqrt{a}+p) = 87 \sqrt{a}/p$$

donde : p es el coef. de rugosidad del terreno según Bazin.

Luego :

$$V = 87 \sqrt{a}/p * \sqrt{a} * \sqrt{R}$$

$$V = 87a \sqrt{R}/p$$

Siendo V la velocidad del agua de escorrentía en una pendiente "R" bajo condiciones del terreno del tipo "p", con una máxima precipitación momentánea "a".

Valores "p" propuestos por Bazin. (46)

Piedra,mampostería alisada	0.83
Canales de tierra(perfectas condiciones).....	1.54
Campo arado sin vegetación.....	2.00
Canales de tierra(condiciones normales).....	2.36
Campo con cultivo limpio.....	3.5 - 4
Campo con plantas sembradas en hileras estrechas....	5.00

Para nuestro caso,considerando un factor promedio referencial de 1.80 y tan solo para efectos de margen de cálculo. Además siendo "a" de 12mm. obtenemos :

$$V = 0.58 \sqrt{R} \text{ m/seg.}$$

Ahora bien,para cumplir el primer requisito del cálculo hidrotécnico,mencionaremos que ésta velocidad V debería ser menor que la velocidad que corresponde al principio de la erosión V_p . Entonces,según las recomendaciones sobre las bases de investigación del SOIL CONSERVATION SERVICE, y asumiendo que los suelos son fácilmente erosionables con pendientes muy variadas en todo su trayecto,asumiremos que la velocidad permisible sea de 2.5 fps. (47)

$$V_p = 2.5 \text{ fps.} = 0.762 \text{ m/seg.} > 0.58 \sqrt{R} \dots\dots R=1.726$$

Luego : $\alpha < 60^\circ$

Diremos que el talud tendrá un límite hasta de 60 grados, lo que nos demuestra que la gran mayoría de las laderas y quebradas de nuestra serranía se podría estabilizar.

V_n = Volúmen natural de la excavación.

V_e = Volúmen esponjado.

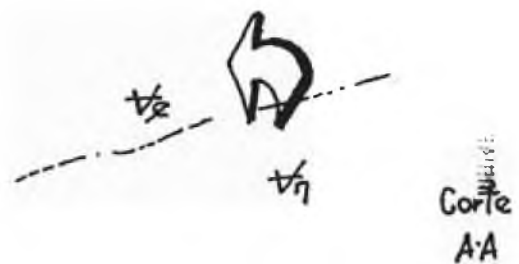
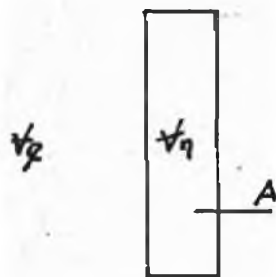
F_e = Factor de esponjamiento asumido. (25%)

$$V_e = F_e * V_n$$

Cálculo del V_e :

$$V_n = 0.425 * 0.225 * 1. \quad (\text{trabajando sólo con la}$$

$$V_e = 0.12 \text{ m}^3. \quad \text{sección}).$$



Asumiendo un ancho en la corona de 10cm.

$$H1 = 0.12 / (1+c) / 2$$

Siendo E = 0.40 a 0.45

$$H1 = 0.40 \text{ a } 0.45 \text{ m.}$$

$$A = H1 / \text{tg } \phi$$

Parámetro	m.	ángulo de la pendiente		
		15'	30'	45'
.....				
Ancho superior del F'unqu.	A	1.60	0.70	0.40
Ancho de la base de excav.	B	0.45	0.45	0.45
Ancho de la corona.	C	0.10	0.10	0.10
Altura del tepe.	H1	0.45	0.40	0.40

.....

(46), (47). "Hidráulica de los canales abiertos"
Ven Te Chow.

5e- Análisis de costo.

Como referencia tomaremos las observaciones acotadas por Santiago E. Antúnez de Mayolo, en lo que respecta al rendimiento de las respectivas actividades del trazado y construcción del P'unqu. Para ello nos valdremos de la siguiente modulación por hectárea, dentro de la cual se analizaron los rendimientos. (ver figura V-5)

asumiendo que

sea $l = .75m$

Para 180 m². tenemos : 6 ptos. en el trazado

6 ml. de excavación.

-secc. (.425 x .225)-

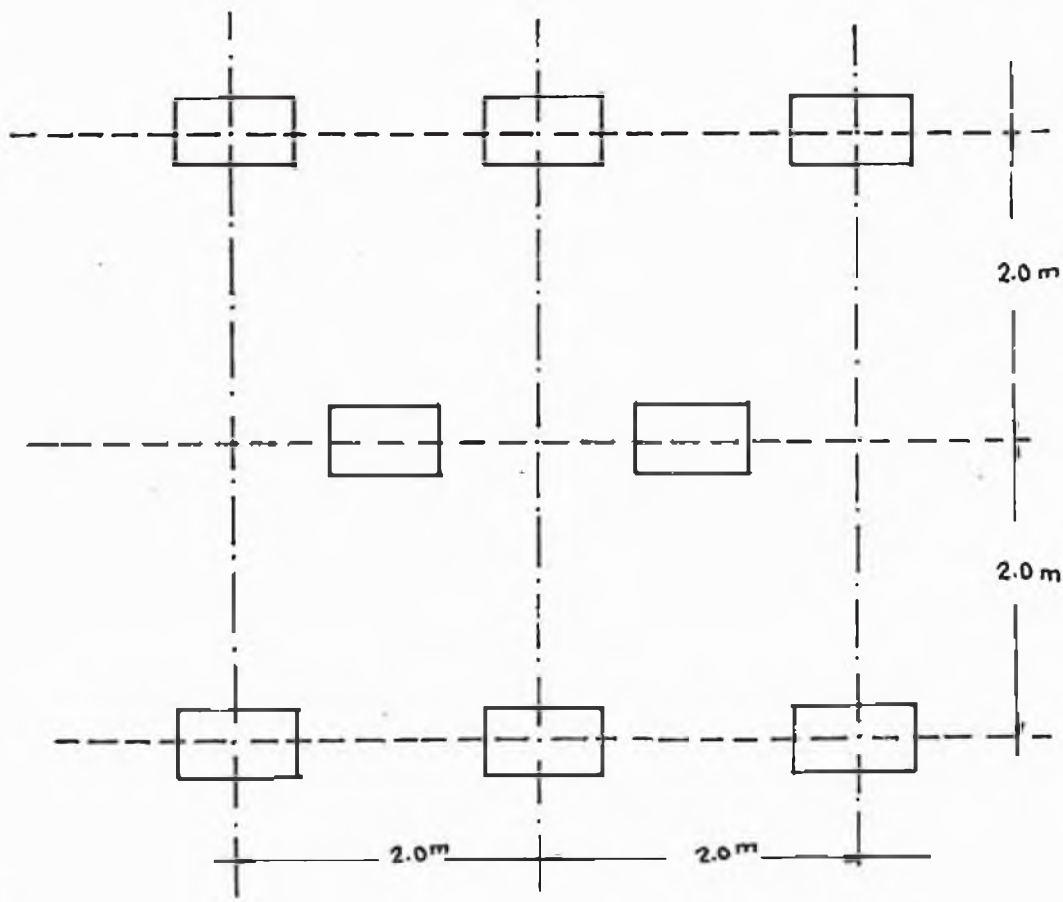
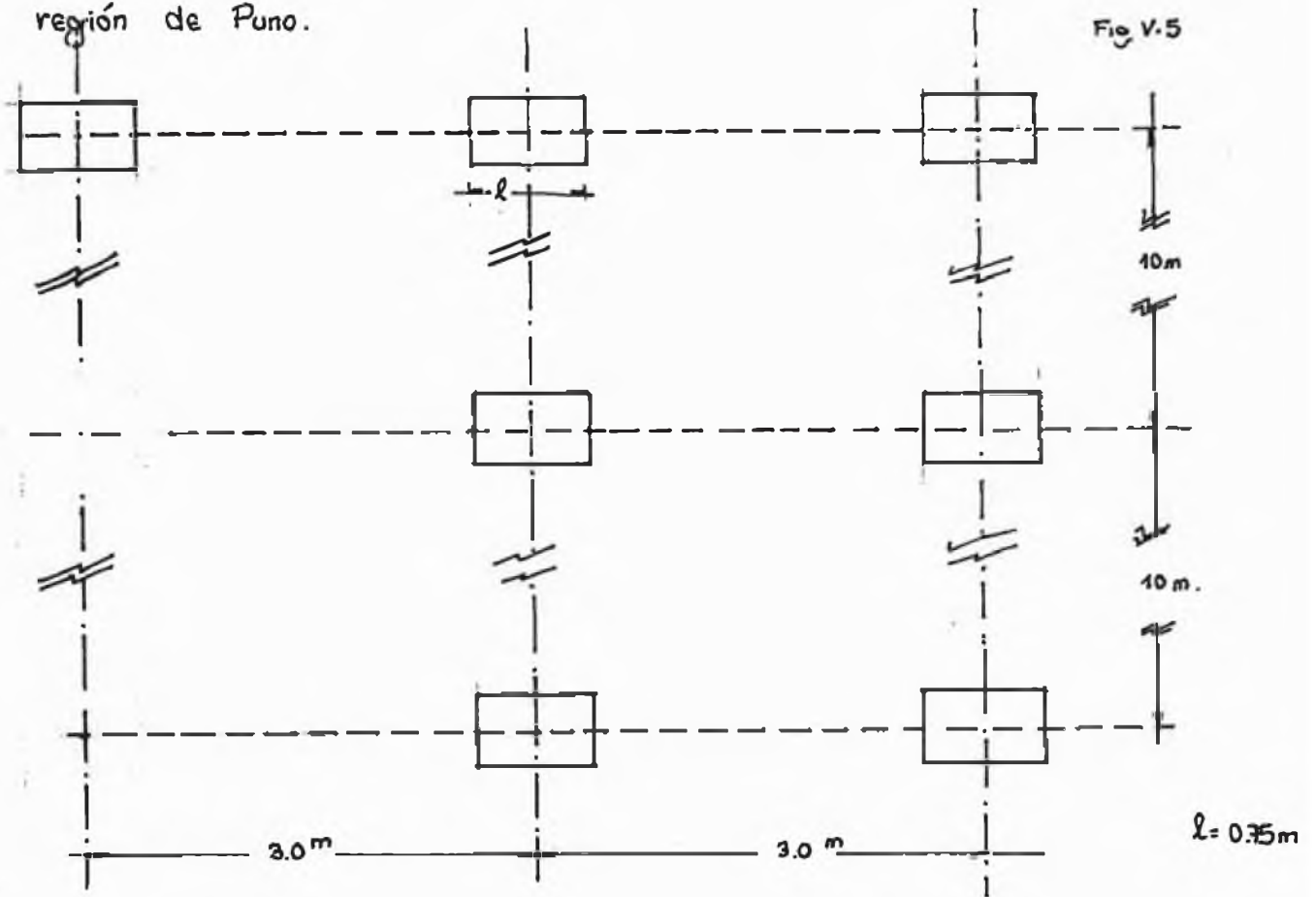
Para una hectárea tenemos : 333 ptos. y

250 ml. de excav.

Así tenemos los siguientes rendimientos : (48)

<u>Trazado:</u> 1 op + 1 pe	.....1/3 Ha./dia	.....	111 pto/dia
Excavación: 2 op + 1 pe	....1/3 Ha./dia	.....	83 ml/dia
Sembrado: 2 op + 1 pe	.....1/3 Ha./dia	.....	83 ml/dia

Distribución en planta del Púnqu
 por S. Antunez de Mayolo para la
 región de Puno.



Sistema de
 distribución
 planteado.

Fig V.6

Ahora, para la distribución planteada según nuestro caso, tendríamos lo siguiente : (ver figura V-6)

Para 24 m² tenemos : 6 ptos. en el trazado
6 ml. de excavación.

Para 1 Ha. : 2500 ptos. y 1875 ml. de excava.

Con los rendimientos standart mencionados, calcularemos el análisis de costo de mano de obra de la distribución planteada

		E	
<u>Trazado:</u>	2 op + 2 pe	.....	12 dias
		75%	15 dias.
<u>Excavación:</u>	4 op + 2 pe	...	12 dias
		75%	15 dias.
<u>Sembrado:</u>	4 op + 2 pe	.....	12 dias
		75%	15 dias.

Se está, asumiendo una (E) eficiencia de trabajo muy conservadora del 75%.

Luego el costo de mano de obra por hectárea sería :

Operario 150 jornales x \$4 = \$ 600
Peón 90 jornales x \$3 = \$ 270

Aproximadamente = \$ 870 por Hectárea.

- Asumiéndose que el alquiler de herramientas sea del 3.5% de la mano de obra entonces estaríamos considerando la Ha. de Funq'u la estimamos en \$900.

.....

(48). "Regeneración del recurso hídrico"
Santiago E. Antúnez de Mayolo 1985

VI

METODOLOGIA PLANTEADA EN EL TRATAMIENTO DE LAS LADERAS CONTRA LA EROSION EN EL VALLE DEL RIMAC.

6a- La erosión del suelo y su control.

La erosión quizás sea el proceso de degradación más grave que pueda sufrir el suelo, pues suelo que se pierde ya no se recupera y por lo general se pierde en los océanos, arrastrado por el lavado que realizan los huaycos hacia los ríos, para luego volver a esperar cientos de años en la formación de nuevo suelo.

El problema del control de la erosión es un problema antiguo que se remonta a la historia pre-inca, pues el proceso de degradación es muy notorio en la sierra peruana y en zonas de selva interferidas por el hombre. En esta época, supieron superar los problemas de cultivo en terrenos de fuerte pendiente con sistemas de terrazas y bancales de contra erosión en las partes más altas; posteriormente los Incas perfeccionaron esta tecnología, gracias a que fueron grandes organizadores, constituyendo así verdaderos monumentos a la ingeniería andina, puesto que el manejo de los suelos tiene

por objeto no sólo aprovecharlo óptimamente en la explotación agrícola, pecuaria o forestal, sino también evitar su degradación.

Producido el encuentro Americano-Europeo, toda ésta labor agrícola se ve interrumpida por el abandono a la fuerza de los campos para dedicarse a la explotación minera, que para los conquistadores les era más rentable. Vemos pues que se paraliza la labor agrícola del hombre andino, perdiéndose miles de años de experiencia en el tratamiento y conservación de los suelos; de ahí a la fecha, más de 400 años, que se ve alterada fácilmente por la falta de una cobertura, que le permita un engrampe más sustancial; a esto sumamos el uso indiscriminado que se le da al suelo, facilitando que se active una erosión tal que pueda llevar al país a una gran ruina, no sólo por la pérdida de terrenos agrícolas sino también por los daños a las obras de infraestructura que originan los huaycos, producto de la pérdida del equilibrio suelo-roca.

En lo que respecta al valle del Rímac, la inestabilidad que presenta es consecuencia de su geomorfología joven, por lo cual está sujeta a altas tasas de erosión natural, la que se viene incrementando año a año por los numerosos huaycos que se originan en la zona, principalmente por el mal uso de éstas tierras, tanto en las cabeceras como en las laderas de montaña. Es precisamente en zonas como ésta, donde la

recuperación de los andenes puede cumplir un papel vital en la conservación del suelo y en el aumento de la producción alimenticia.

Un diagnóstico en el valle del Rimac y de sus principales quebradas de donde se generan los huaycos, debe conducir a una primera decisión a tomarse. Los trabajos deben ser inicialmente correctivos, encaminando a reducir la erosión del suelo, evitando el acarreo de materiales en las cabeceras de las montañas, reduciendo así drásticamente la energía del torrente.

Ahora bien, en todo tratamiento correctivo contra la erosión del suelo debemos tener presente dos aspectos fundamentales en éste manejo y son : el agua y el suelo

EL AGUA .-

Se debe considerar el agua que corre y que se ^{se} pierde y además dañina para el suelo, el agua que se infiltra que es productiva y fecundante, y el agua que se evapora y pierde que puede ser dañina si es que contiene sales en disolución. La infiltración es muy importante pues lleva consigo una serie de partículas finas hacia las partes bajas por eluviación mecánica, dejando en la superficie un suelo de textura más gruesa que favorece la infiltración y reduce al

mínimo la evaporación.(49) El agua que llega al fondo(y que en el caso de las terrazas agrícolas,es la que pasa de terraza en terraza) es la que lleva elementos solubles, especialmente nitratos y éstos son básicos para la fertilidad. (50)

Es por ello que debemos de procurar :

- a)- Tratar de captar el agua que cae y facilitar su inmediata infiltración.
- b)- Mayor eficiencia en el almacenamiento del agua en la superficie del suelo,obteniéndose por una cobertura biológica planta-suelo.
- c)- Construir acequias de infiltración que intercepten la escorrentía.

Por otro lado,hemos dicho que las terrazas inferiores se regaron con aguas drenadas de las superiores. Esto implica que las aguas que irrigaron las terrazas superiores demoraron en alcanzar las inferiores un tiempo proporcional al volumen de tierra atravesado,prolongando así los efectos del riego.

.....

(49),(50). "Andenes y Camellones en el Perú andino" CONCYTEC

EL SUELO .-

Una manera de proteger al suelo de la erosión, es adaptar el cultivo a las condiciones para las cuales es apto. Así, por ejemplo : en zonas de lluvia intensa, con terrenos de fuerte pendiente, no es conveniente realizar cultivos intensos o cultivos en limpio ya que en ésta clase de cultivos se necesita un suelo bastante removido; por ello en éste tipo de suelos es más conveniente el crecimiento de pastos muy tupidos. En el caso que sea necesario tener cultivos en limpio, en terrenos con fuerte pendiente, se deberán adoptar el empleo de terrazas para reducir el escurrimiento superficial del agua y con ello el arrastre de las partículas de suelo.

Dentro del escurrimiento superficial existen tres fases principales : (51)

- a)- fase preliminar
- b)- fase del escurrimiento por canales pequeños.
- c)- fase del escurrimiento por cárcavas.

A éstas fases principales corresponden tres tipos básicos de erosión :

.....

(51). "Erosión en Cárcavas" Serie Oriente Acad. Cienc. Cuba

- Erosión Filiforme : Actúa en la fase preliminar, durante la cual las gotas de lluvia bombardean la superficie del terreno y cuando tiene lugar el escurrimiento del exceso de agua por los pequeños espacios, que quedan entre las partículas del suelo.

- Erosión en canales : Actúa durante la fase del flujo del escurrimiento superficial por los canales pequeños.

- Erosión en cárcavas : Actúa en la fase del escurrimiento, concentrado en los surcos erosivos, zanjias y cárcavas.

CONSERVACION DE SUELOS

Como primera etapa en la conservación de suelos, es sumamente importante difundir, las técnicas conservacionistas y motivar a los campesinos a que las usen con el fin de satisfacer las necesidades reales de la región.

El objetivo de la participación directa y activa de las comunidades, en la formación y en la ejecución de los proyectos integrales de desarrollo de las cuencas, es que el mayor número de campesinos comiencen a conservar sus suelos en la medida de sus posibilidades. De aquí que se trate de un problema de transferencia de tecnología; en éste proceso, para que los campesinos adopten las técnicas, es necesario demostrarles que dichas técnicas les resuelve el problema y que su empleo está al alcance de ellos.

Ahora bien, hemos mencionado anteriormente que una de las principales medidas para conservar el suelo consiste en combatir el escurrimiento superficial concentrado; así, mencionaremos 3 clases de técnicas conservacionistas :

- Medidas agrícolas.
- Medidas forestales.
- Medidas mecánicas.

Medidas agrícolas — Analizando el funcionamiento de las medidas antierosivas encontramos que éstas actúan principalmente en dos direcciones :

- a)- Formando un obstáculo mecánico al escurrimiento superficial.
- b)- Mejorando la capacidad de infiltración y de retención del suelo.

En laderas de terrenos más desgastados o más susceptibles a la erosión y presentando dificultades de riego, debemos tener presente las siguientes medidas básicas de la conservación del suelo :

- Siembra en contorno y en fajas.
- Distribución adecuada de cultivos.
- Plantas de cobertura.

Medidas forestales .- La importancia del bosque, como medida

contra la erosión, es bien conocida y es posible mencionar algunas observaciones representativas, que documenten la eficacia de una buena cobertura forestal en la defensa contra la erosión :

- a)- Los árboles y arbustos sujetan bien el suelo, a la vez que lo consolidan, por medio de su sistema de raíces poderosamente desarrolladas.
- b)- El bosque presenta una erosión eficaz ,contra la la erosión eólica.
- c)- Las gotas de lluvia no bombardean la superficie del suelo por la cobertura de sus hojas muy tupidas.
- d)- El escurrimiento superficial de las cuencas con bosques es menor, ya que en ellas se infiltra una gran parte del agua.

Medidas mecánicas Estas son muy variadas, desde las más sencillas murallas de tierra, hasta las estructuras más complicadas y costosas.

- a)- Su efecto es mayor e inmediato.
- b)- Su diseño y construcción requieren conocimientos especializados y mano de obra calificada, lo que eleva los costos.

Se puede decir que el sistema de contra erosión, a base de muros de contención, realizados por los antiguos peruanos, fueron destinados, en primer lugar, a quitar el ímpetu destructivo a las aguas que se colectan en la cuenca de recepción. Estos muros fueron construidos en forma tal que los mismos sedimentos arrastrados que rebasan los primeros muros de contención, van colmatando progresivamente las plataformas a nivel en las que va a ser posible después el cultivo. Indudablemente que después de las primeras avenidas hubo muy poca tierra capaz de ser trabajada, hasta que con el tiempo los sedimentos arrastrados constituyan base suficiente para iniciar en ellas el cultivo.

En los andenes de Santa Inés (valle del Rimac- Km 33), en las partes altas de las quebradas, en pleno cauce, se encuentran los restos de muros de contención recorriendo todo lo ancho de la quebrada, de flanco a flanco, y sobre el que incidieron las aguas en forma perpendicular, rebasándose en su camino hacia el valle, y en intervalos de hasta 50 m.; después del último comienzan los andenes de cultivo, a un nivel muy superior al de las tierras cultivadas actualmente.

Estos muros de contención, posiblemente, tuvieron el doble objeto de contener y distribuir el volumen de agua aportado por la cuenca, quitaban a las aguas su ímpetu destructivo, todavía no muy intenso por represarlas cercas de su origen, y representaron lo que en hidráulica se llama un obstáculo de

fondo, cuya cresta corría a nivel, de extremo a extremo de la quebrada, evitando que la erosión concentrara nuevamente las aguas, comunicándoles la fuerza viva destructora cuyos efectos podemos observar hoy en los huaycos. (52)

Dentro las prácticas conservacionistas tenemos dos grupos :

i) MEDIDAS DE PROTECCION CONTRA LA EROSION EN LADERAS .

En la metodología planteada utilizaremos :

- Surcos de infiltración (F'unqu) en las partes altas.
- Sistemas de andenería mediante terrazas a media ladera.

El constante arrastre superficial de las partículas enriquece al suelo en donde se deposita, es por ésta razón de buscar siempre las terrazas y a la formación natural de éstas; así podemos decir que el F'unqu no sólo sirve como un sistema de contraerosión, puesto que le hace perder dinamismo al agua de esorrentía, sino también como una medida de conservación del suelo a largo plazo, pues según Sanders, las cavidades por acumulación para formar las terrazas requerirían un período de 8 a 10 años.

.....

(52). "Tecnología Andina" ITINTEC Ravines.

ii) MEDIDAS DE PROTECCION CONTRA LA EROSION EN CARCAVAS.

la principal medida para el control de cárcavas consiste en tratar primero las laderas adyacentes con conservación de suelos y luego, sino se logrará evitar el escurrimiento por la cárcava se emplean los diques reguladores para su control. Pudiendo presentarse tres tipos de diques :

a- Barrera viva : sólo en donde la cárcava está en proceso de formación. Está construida de piedras y plantones de ágave y sauce.

b- Dique de piedra : para cárcavas pequeñas y medianas. Está construida con estribos y cimientos que son complementados con cemento.

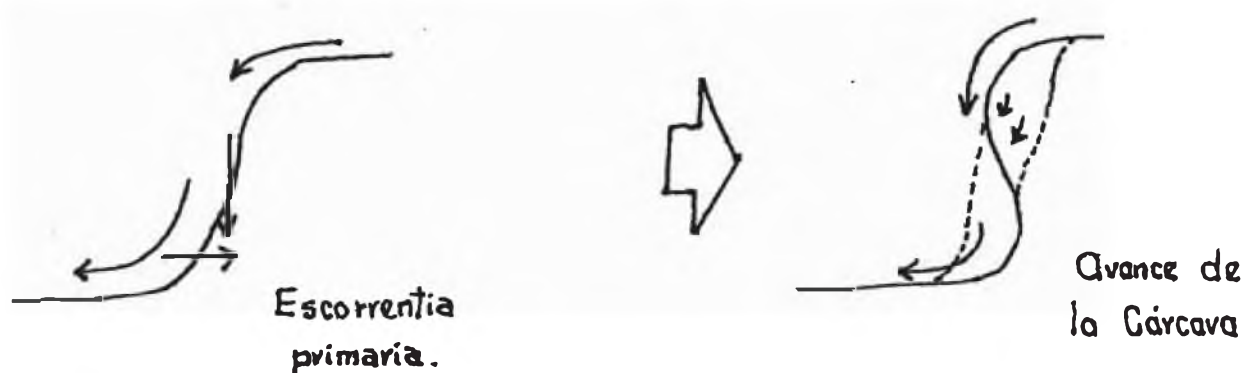
c- Diques con muros monolíticos de piedra y mortero de cemento : se realizan cuando hay que proteger áreas de alta productividad o donde existen valiosas construcciones. Su costo es elevado y requieren diseños especiales que eviten el volcado del dique.

Protección de las cabezas de cárcavas.

La cabeza de la cárcava suele ser el lugar donde la actividad de la erosión es más intensa. Esto es completamente lógico, porque la parte final del barranco presenta una cuenca relativamente grande, con tendencia a

formar un salto o escalón en el terreno, cuya altura varía desde unos cuantos decímetros a unos 3m. según sea el caso. Si consideramos dicho salto en la cabeza de la cárcava desde el punto de vista hidráulico, vemos que éste representa un vertedero de pared vertical, donde la energía cinética del escurrimiento superficial actúa con toda su fuerza, sin obstáculo alguno. El borde de la cabeza representa la cresta momentánea del vertedero y el fondo de la misma, la caída de agua.

Debido a la acción erosiva, el borde de la cabeza y al mismo tiempo su pared frontal, retroceden contra la pendiente.



De éste análisis del efecto del escurrimiento superficial sobre la cabeza de la cárcava, salen las ideas básicas para su prevención :

a- Limitar el gasto en la cabeza, lo que significa limitar el escurrimiento superficial en la cuenca.

b- Reforzar el borde de la cabeza.

- c- Proteger el fondo de la cárcava de los efectos destructivos de la fuerza de caída de agua.

En lo que respecta a los dos primeros puntos, podríamos considerar como válido el sistema del Punq'u como tratamiento de laderas inestables; mientras que para el tratamiento del fondo de la cárcava consideraremos la construcción de diques reguladores y represamientos.

En el fono de las cárcavas llanas, se estabiliza por medio de represas de ramas, simples o combinadas, las que se distribuyen transversalmente e insertadas profundamente en los lados de la cárcava. Su objetivo es disminuir la velocidad de agua en la cabeza, así como la fuerza de transporte y en la retención del material arrastrado, que con el tiempo se formarán terrazas actuando como soportes. (ver fig VI-1)

El fondo de tierra suelta de la cabecera de las cárcavas se puede estabilizar por medio de refuerzos transversales de piedra, excavando trincheras a través de la cabeza y rellenándose con piedras para evitar el avance posterior de la erosión.

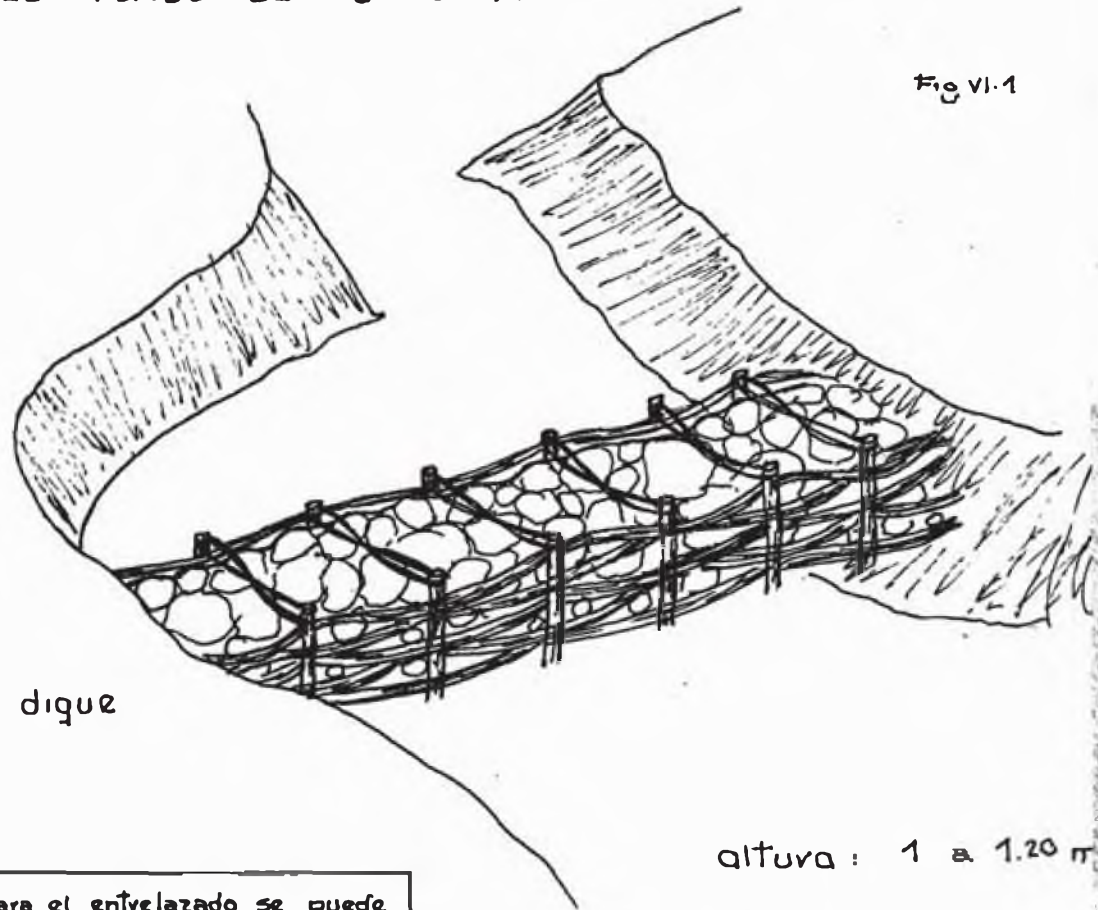
ESABILIZACION DEL FONDO DE CARGAVAS

Fig VI.1

Para ondos
no

combinación de
carrera viva con dique
de piedra.

para el entrelazado se puede
emplear ramas flexibles de
arboles.



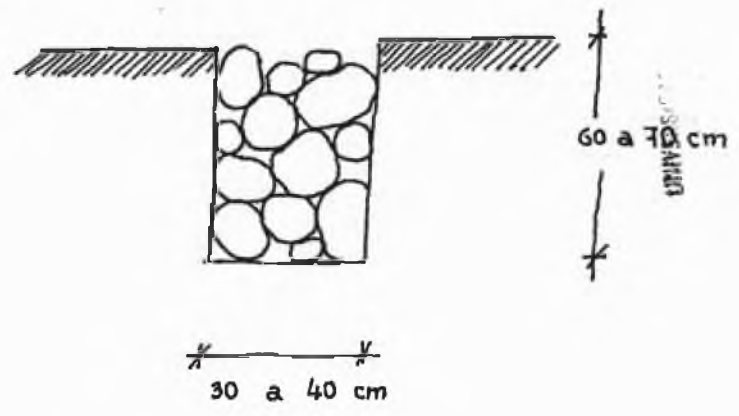
altura : 1 a 1.20 m

Ancho : 50 a 60 cm

profundidad del
clavado : 60 a 70 cm.

Para fondos de Tierra suelta.

trincheras Transversales
de piedra.



Del tratamiento, solución y tipo de obra ubicada en cada una de las partes, el riesgo siempre es alto; así, es casi imposible la defensa o plantear alguna alternativa en el cono de deyección pues es la zona de mayor actividad del aluvión, en donde la fuerza del torrente alcanza su mayor magnitud. En el presente trabajo se plantea un tratamiento en las partes altas de las cuencas -Cuenca de recepción- mediante el Funq'u, con la finalidad de regular y disminuir la velocidad del agua de escorrentía, aprovechando a su vez la recarga del acuífero por medio de la infiltración por las fracturas de la roca; más abajo, en los canales de escurrimiento colocamos diques de regulación para el control de las cárcavas (según el grado de avance de éstas). Todo éste tratamiento tiene su validez para las "microquebradas" dentro de una quebrada principal.

Sin embargo, cabe señalar que en la realidad nos presentamos ante dos problemas distintos : una quebrada totalmente depredada y otras en que su proceso de erosión puede ser rescatado.

Pero acaso, ¿no pueden ser rescatados las quebradas Pedregal o Quirio, entre otras.? Indudablemente que sí, pero el procedimiento de solución a plantear no puede ser igual que otra quebrada de menor grado de erosión.

Dentro de la alternativa propuesta tenemos que :

Para quebradas de menor grado de erosión, las medidas a desarrollar serían:

- Surcos a nivel en las partes altas.
- Agricultura en terrazas :Rehabilitación del sistema de andenería.
- Diques para el control de cárcavas.

Para quebradas totalmente depredadas : las medidas a corto plazo serían :

- Traslado de viviendas.
- Limpieza del cauce y desquinche de rocas, para formar amplias terrazas mediante el control con muros de contención.

Y entre las medidas a largo plazo :

- Agricultura en terrazas: Andenería.
- Surcos a nivel en las partes altas.

6b- Características de los andenes y bancales existentes en la zona.

En la zona de estudio se puede observar la relativa idoneidad de la región quechua (2800-3500 m), en la conservación y uso de los andenes. Según recientes evaluaciones realizadas por la ONERN, existen en el valle del Rímac un total de área andenada de 4151 Ha, hoy en día se utilizan cerca de 2718 Ha, las cuales representan un 65% del total. (53)

El uso agrícola principalmente es intensivo, a pesar de que los paisajes fisiográficos que ocupan presentan una capacidad de uso de pasturas y de protección, debido principalmente a la topografía accidentada y abrupta que presenta. Desde el punto de vista del grado de conservación de los andenes tenemos los siguientes tipos:

ANDENES CONSERVADOS:

- Talud en buenas condiciones.
- Plataforma relativa o casi nivelada.
- Se encuentra en uso.

ANDENES SEMI-RUINOSOS:

Talud parcialmente deteriorado (o bien todo el muro se ha perdido, pero aún se mantiene la forma de la estructura).

- Plataforma desnivelada.
- De uso muy limitado por zonas.

ANDENES RUINOSOS:

- Talud de piedra destruido.
- En algunas ocasiones sólo se observa ondulaciones en la ladera.
- Se encuentra en desuso.

Basándose en ésta clasificación, podemos confeccionar el siguiente cuadro del estado de conservación y sus características litológicas. (54) -ver cuadro VI-i-

Donde se puede apreciar que el 51% de andenes (2122.5 Ha.) se ubican en la serie volcánica, comprendida por una sucesión de rocas y derrames volcánicos, principalmente de tipo andesítico, sumamente meteorizable, expresándose su inestabilidad en procesos erosivos como huaycos.

.....

(53). "Los Recursos Naturales del Perú" ONERN 1985
 (54). "Andenes y Camellones en el Perú antiguo" CONCYTEC

Cuadro VI-i

ESTADO DE CONSERVACION DE LOS ANDENES Y SU LITOLOGIA EN EL VALLE DEL RIMAC

LITOLOGIA	ESTABILIDAD	CONSERVADO		SEMI-RUINOSO		RUINOSO		TOTAL Ha.
		Ha.	%	Ha.	%	Ha.	%	
SERIE								
VOLCANICO	Inestable	1074.0	50.6	607.5	28.6	441.0	20.8	2122.5
BATOLITO								
ANDINO	Estable	765.5	80.6	153.0	16.1	31.0	03.3	949.5
GRUPO CALIZA								
MACHAY	Estable	540.0	50.0	371.0	34.4	168.0	15.6	1079.0

Esta referencia fue obtenida de la publicación del CONCYTEC en su obra "Andenes y Casellones en el Perú antiguo".

El 22% de los andenes de la subcuenca del río Rímac se disponen sobre el Batolito Andino, formado a partir de rocas ígneas intrusivas :granito, granodiorita, tonalitas y dioritas que bajo la influencia de una región árida, limitan sus procesos erosivos a escurrimientos superficiales concentrados, originándose así las cárcavas.

De lo anterior, deducimos que la zona de mayor estabilidad para sistemas de andenería sería la del Batolito Andino.

Uniendo los resultados obtenidos del inventario realizado por Massón (1983) en la subcuenca del río Santa Eulalia, con los anteriores, se obtiene que la superficie andenada de la cuenca del río Rímac es de 10533 Ha. De ésta extensión sólo se utilizan 3931.8 Ha, y se encuentra con posibilidades de recuperación 2365 Ha. (55)

En líneas generales, haciendo un reconocimiento de la zona en lo que respecta al frontis del andén, éste puede ser de piedra o de tierra independiente de las particularidades de la pendiente, del ancho de la terraza o de la erodabilidad del suelo. El talud presenta diversas características según el lugar y la experiencia de cada campesino; 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 sería

lo recomendable para evitar posibles desbordes del suelo. En cuanto la inclinación, se tiende a mantener los muros rectos, no obstante que una ligera inclinación favorecería la retención del volúmen del suelo.

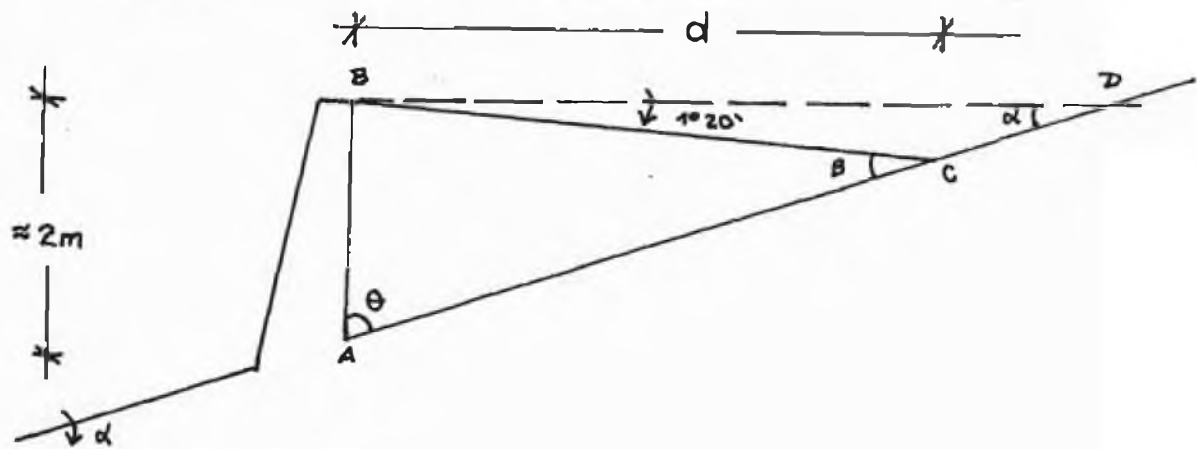
En el área de estudio no se cumple la relación inversa entre la pendiente de la ladera y el ancho de la plataforma correspondiente, que permite ejercer un mejor control de la erosión hídrica, mediante la disminución de la velocidad de escorrentía.

Así por ejemplo, en río Blanco (Caruya), se utilizan andenes que presentan una fuerte pendiente de 25% a diferencia de la inclinación de esa misma ladera que es de 55%. En San Mateo, se observan laderas con pendientes entre 50 a 60 % que mantienen plataformas de hasta 20 m, con el posible riesgo de pérdida de suelo; mientras que en el mismo sector en laderas de 15% de pendiente, el ancho de las plataformas varía entre 10 a 20 m, donde más bien podrían ser más anchas sin sufrir mayores pérdidas.

.....

(55). "Andenes y Camellones en el Perú Antiguo" CONCYTEC.

ANCHO DE TERRAPLENES SEGUN PENDIENTE DEL TERRENO



$$\alpha: \text{inv tg } (x/100)$$

1° 20': pendiente interior del terraplén recomendada (2 a 2.5%) -para un mayor aprovechamiento del agua de escorrentía-.

En el ABD : $\theta = (90 - \alpha)$

En el ABC : LEY DE SENOS
$$\frac{2}{\text{sen } \beta} = \frac{d}{\text{sen } (90 - \alpha)}$$

$$\beta = \alpha + 1^\circ 20'$$

reem. $d = 2 \cos \alpha / \text{sen } (\alpha + 1^\circ 20')$

Con ésta E° confeccionamos la siguiente tabla.

Características del talud	distancia del terraplén.
α	-% (aprox).-
15°	30%
30°	60%
45°	100%

6c- Estudio económico.

Para hacer un análisis de factibilidad económica del proyecto de tratamiento de laderas, bastará en comparar los gastos que significa reparar los daños producto de huaycos. Ocurrido los deslizamientos, los puntos a considerarse serían:

- Costo de rehabilitación de las víctimas, así como medidas de emergencia.
- Costo de reparación de las propiedades dañadas: caminos, canales, ferrocarriles, casas, etc.
- Pérdida de producción agrícola.
- Pérdidas originadas por la interrupción de las actividades comerciales.

En lo que respecta al valle del Rímac, se puede estimar que las consecuencias materiales son del orden de 100 millones de dólares en los últimos 35 años, (56) cifra que justificaría cualquier obra de prevención en la zona. Ahora bien, en el planeamiento de protección contra estos fenómenos, el objetivo es encontrar el más efectivo y práctico método y de menor costo posible que justifique una inversión acorde con nuestra realidad; para esto tendríamos que asumir un cierto grado de protección y estimaremos un riesgo calculado.

REHABILITACION DE ANDENES

Una de las partes de la metodología planteada en este tratamiento de laderas, es el sistema de andenería, dentro de la cual gravita la filosofía de acción, siendo uno de los primeros pasos a seguir la rehabilitación e incorporación de los 2365 Ha. andenadas con cierto grado de recuperabilidad. Para ello mostraremos a continuación las tareas dentro de la rehabilitación de los andenes :

- Trazar el primer andén y cavar la cimentación (20 a 30cm).
- Construir el muro desde su cimentación, con su respectivo relleno de piedras y cascajo detrás del muro.
- Nivelar el terraplén del andén, cuidando la capa fértil.
- Definir el ancho del terraplén y la altura del muro según pendiente.
- Limpieza del terreno (de malezas y piedras).
- Escoger piedras para elaborar el muro.

Estas dos últimas acciones pueden realizarse simultáneamente

Teóricamente, se ha calculado que el costo de rehabilitación de andenes puede representar una inversión aproximadamente de \$800 por Ha., con un corto plazo de ejecución de obras. (57) Comparativamente, esta cantidad es de 12 a 15 veces inferior al costo que demanda la habilitación de una Ha. de nuevas tierras de irrigación en la costa, la cual demanda además un largo periodo de ejecución de obras, así como un financiamiento externo. Este cálculo teórico de costos de reconstrucción de una hectárea de andenes, supone el trabajo durante 15 días de 10 campesinos y empleando sus propios conocimientos. Sin embargo, es importante mencionar que para la planificación del tiempo en la construcción de estos sistemas, se deben tener en consideración las costumbres campesinas, muy variantes en todo el medio rural andino. En el caso por ejemplo de San Pedro de Casta, los campesinos alternan los trabajos que demanda un proyecto, con faenas comunales, tareas propias, etc. Así mismo, no son concientes de lo que representa un horario de trabajo, dadas sus ocupaciones domésticas y hábitos de vida.

Para los fines que se persiguen en el tratamiento planteado, se recomienda no ser exigentes con el campesinado para que así desarrollen un trabajo continuo, por la razón principal de hacerles sentir este proyecto como propio, sin que sus trabajos le sean impuestos, puesto que la intención fundamental es motivarlos a que realicen este trabajo como

un complemento de sus tareas habituales, sin mayores incentivos que el beneficio que obtengan; se busca por lo tanto, crear en ellos conciencia de trabajo e interés por ampliar el área agrícola y por manejar sus cultivos y metodologías apelando a sus propias tecnologías y conocimientos, como parte de un proceso de desarrollo de su comunidad, en armonía con el medio ambiente.

En resumen, teniendo como referencia los estudios realizados tenemos (58):

Cálculo teórico del costo de rehabilitación de andenes..... \$ 750 - 1000 por Ha.

Cálculo presentado según la práctica en San Pedro de Casta..... \$ 1750 por Ha.

Costo aprox. de las terrazas de banco en áreas :

De suelos francos y franco arcillosos..... \$ 1300 - 1500 por Ha.

De suelos más compactos..... \$ 1800 - 2000 por Ha.

Costo de terrazas c/talud de piedra... \$ 3000 por Ha.

Costo comparativo de incorporación

de tierras en la sierra..... \$ 3500 por Ha.

Costo teórico del P'unqu (según

distribución planteada)..... \$ 900 por Ha.

Comparativamente, vemos que se justifica la inversión desde el punto de vista económico, y más aún cuando no tengamos que gastar los miles de dólares que se pierden cuando se presentan los huaycos de temporada.

.....

- (56). "Catástrofes Naturales como problema en el desarrollo de la ingeniería nacional". Vidal Taype. 1982
- (57). "Andenes y Camellones en el Perú antiguo" CONCYTEC
- (58). Referencias : "Andenes y Camellones en el Perú antiguo"
"Plan meris" ONERN - plan de mejoramiento del riego en la sierra.-

CONCLUSIONES

1- No existe a la fecha un plan que resuelva el problema de la actividad agrícola, para satisfacer la demanda de una población potencialmente creciente como es el Perú, debido no sólo al avance de la aridización y depredación de nuestro medio ambiente, sino también por la falta de una tecnología propia, perdida a través de los años, sumado al problema social que atraviesa nuestra serranía.

2- El incremento agrícola, requiere de una acción concertada entre los organismos gubernamentales y de las comunidades, a fin de desarrollar la investigación y extensión agraria, rehabilitación de tierras de cultivo degradadas, frenar la erosión de laderas y la desertificación, explotación sostenible de las tierras altas en las cuencas, entre otros.

3- La escasez del recurso hídrico para la ciudad de Lima, es verdaderamente alarmante y urgen medidas para su pronta solución a corto y mediano plazo; puesto que sumado al avance de la aridización hacia las partes altas, tenemos la ablación de los nevados.

Como medidas a corto plazo tenemos el diseño del P'unqu y la agricultura en terrazas (andenería); y como medidas a largo y mediano plazo tenemos la obra de transvase del Mantaro a la vertiente del Pacífico.

4- El Huayco es un fenómeno geodinámico externo, que se origina en la cuenca de recepción (a manera de lloclla), debido a las paredes muy deleznableles por la falta de un equilibrio suelo-roca, que otorga la cobertura vegetal no existente, y que al caer las precipitaciones esporádicas de alta intensidad, dadas las características pluviométricas de la zona, saturan al suelo haciendo que éste descienda rápidamente, a manera de escalones, adquiriendo una fuerza acumulativa imparable a medida que desciende por el canal de drenaje, atacando de frente los lados de éste en sus sinuosidades, y transformándose aguas abajo en una gran masa de lodo y piedras en la zona llamada cono de deyección o zona de depósito del material transportado.

5- Los huaycos son reconocidos como un problema nacional, sustentado por las 200.000 víctimas que ha cobrado en los últimos 60 años y por los 100 millones de dólares USA perdidos desde 1925. Es por ello, que el desarrollo de las medidas para su prevención debe estar incluidas en todo plan de gobierno por ser un problema potencial de carácter nacional

6- El huayco es el fenómeno natural de mayor ocurrencia en nuestro medio, correspondiéndole a la ciudad de Lima el 25% del total ocurrido en el Perú. (estimándose 5.000 huaycos desde 1925 a la fecha). Es por ello la importancia del estudio del valle del Rimac en el presente trabajo.

7- Los huaycos en el valle del Rimac, se presentan activamente entre las cotas de 1.000 m a 3.000 msnm; es decir que le corresponde un índice de precipitación promedio anual de 150 mm a 350mm. Acompañando a estos las características topográficas y geológicas propicias para su formación.

8- La única defensa factible contra éstos fenómenos de los huaycos, es evitar que se formen o que adquieran las llocllas una fuerza viva de arrastre. Es por ello que las acciones a tomar deben estar encaminadas principalmente a los tratamientos correctivos en las cuencas de recepción.

9- En el cuadro III-i mostrado, se aprecia la importancia que tiene la recarga del acuífero en la zonas altas para alumbrar aguas abajo y meses después, durante el periodo de sequía que atraviesa la zona, un aporte necesario de agua para mantener la vegetación de la zona. Así mismo, es importante observar la variación en el porcentaje de retención del agua precipitada, disminuyendo notablemente de Febrero a Marzo dada la incapacidad del terreno, para lograr una buena filtración del agua al subsuelo en los meses de alta precipitación.

10- En el cuadro III-ii, nos muestra que para un mayor aprovechamiento del agua superficial, debe de roturarse el suelo y crear condiciones de estanque para que así, aumentando la presión sea más rápida la infiltración de agua. Comparando la velocidad de infiltración entre dos suelos iguales, donde el primero son pastos naturales sin ningún tratamiento y el otro está roturado y en condiciones de melgas, la velocidad de infiltración se incrementa aproximadamente en 600%.

11- Los sistemas de contra-erosión en terrazas y la andenería, no son una novedad histórica en el desarrollo tecnológico del país, pero dada la interrupción en el empleo de ésta técnica por cientos de años, y ante el peligro de perder las tierras aptas y el suelo que tardo cientos de años en formarse por el lavado que ejecutan los huaycos, es una alternativa dentro de nuestra realidad que debe ser difundida en forma amplia, para que sean nuevamente usadas por los campesinos en las laderas.

12- El P'unqu es el sistema de contra-erosión planteado a manera de pequeñas cavidades que se practican en las partes altas de las laderas teniendo múltiples objetivos, como son:

- Regular el agua de escorrentía.
- Favorecer la recarga del acuífero.
- Incrementar el área agrícola.
- Recuperar el equilibrio suelo-roca .

13- El avance de la erosión de cárcavas es de abajo hacia arriba, es por ello la protección que debe de tener la cabeza de éste para impedir su avance. Así planteamos los siguientes criterios básicos para impedir su desplazamiento ;

MEDIDAS

Limitar el gasto en la cabeza: lo que significa limitar el gasto en la cuenca.

El F'unqu.

Reforzar el borde de la cabeza.

Medidas forestales o mecánicas según el caso

Proteger el fondo de la cárcava de los efectos destructivos de la fuerza de caída del agua.

Diques reguladores y represamientos.

14- Dentro de la alternativa presentada en el presente trabajo, tenemos que:

Para quebradas de menor grado de erosión, las medidas a desarrollar serían:

- Surcos a nivel en las partes altas (F'unqu).

Agricultura en terrazas :Rehabilitación de los andenes

- Diques para el control de cárcavas.

Para quebradas totalmente depredadas, las medidas a corto plazo serían:

- Traslado y reubicación de viviendas.
- Limpieza del cauce y desquinche de rocas.

Y las medidas a largo plazo serían:

- Surcos a nivel en las partes altas (P'unqu).
- Agricultura en terrazas.

15- Según las evaluaciones de la ONERN, sobre la conservación de los andenes en el valle del Rímac, las zonas de mayor estabilidad para la andenería sería sobre el Batolito andino y las más inestables sobre rocas volcánicas.

16- Desde el punto de vista económico, se justifica plenamente la inversión en la rehabilitación del sistema de andenería, donde sea posible, y la construcción del Pung'u, resultando un costo muy inferior comparativamente con lo que representa la habilitación de una Ha. de nuevas tierras de irrigación en la costa. A esto se suma la importancia en la estabilización de laderas para el control de huaycos, la recuperación de una tecnología propia y el incentivo a las comunidades campesinas en participar de manera directa en la solución de sus problemas agrícolas.

RECOMENDACIONES

¿Cómo podríamos ayudar al campesino a enfrentar el problema de la erosión de suelos, y al avance de la aridización cuando -según encuestas y estudios- el campesino no percibe conscientemente el deterioro de su terreno :. Sin embargo, el problema es aún más complejo : nosotros no nos damos cuenta de que el campesino si advierte lo que ocurre con su parcela. Pero él ve el conjunto : su chacra es un todo, suelo, agua, planta, sol y quizás mucho más. Probablemente se le hace difícil concebir y encarar un problema único : SUELOS. ¿Cómo resolver entonces un sólo problema si es parte del conjunto ?.

Entonces surge la reflexión : ¿Es nuestra percepción la correcta, o la del habitante andino :.

De otro lado, definitivamente el problema de la erosión de suelos es real. Existe la deforestación, la degradación de pasturas, el descenso de la productividad, la escasez del recurso hídrico, etc. Entonces ¿por dónde fue que se perdió el conocimiento, las tradiciones, el cuidado por el entorno y los recursos, que surge de una comprensión y armonía con el medio ?.

La recomendación, sería lograr que los mismos campesinos, en las áreas piloto designadas, ejecuten con sus propias fuerzas y utilizando sus propias herramientas, con el material del lugar, las prácticas de conservación de suelos. Siendo el principal propósito de éstas áreas de comprobación los siguientes puntos:

- Que conozcan, aprendan a ejecutar y comprueben en sus propias laderas las ventajas de las prácticas conservacionistas, para controlar la erosión y aumentar el rendimiento de los cultivos.
- Servir de núcleo para la expansión de la conservación del suelo.

Para designar las zonas piloto, se deberán de seguir las siguientes recomendaciones :

- Establecerlas en zonas representativas de las regiones propicias a éstos fenómenos (huaycos).
- Efectuar la clasificación y evaluación de las áreas de las cuencas de acuerdo a su estabilidad, mediante planos de fácil entendimiento. Esto permitirá establecer una zonificación de seguridad física con el fin de evitar la construcción de obras o centros urbanos en áreas peligrosas.

- Para la elaboración y designación de estas áreas piloto, junto con el plan de desarrollo y crecimiento del lugar, se formarían comisiones a nivel local con el apoyo profesional correspondiente e instituciones de investigación a nivel nacional para realizar las obras y organizar a la comunidad local, mediante una previsibilidad educativa desde los niveles inferiores.

BIBLIOGRAFIA

- 1- Academia de Ciencias de Cuba Serie Oriente 1972
"Erosión en Cárcavas".
- 2- Antúnez de Mayolo, Santiago E. 1985.
"Regeneración del Recurso Hídrico en el Perú".
- 3- CONCYTEC 1986.
"Andenes y Camellones en el Antiguo Perú".
- 4- Duccio Bonavia 1970.
"Investigación Arqueológica en el Mantaro Medio".
- 5- El Comercio Apuntes del diario
- 6- Linsley-Kohler-Paulhus 1968.
"Hidrología para Ingenieros".
- 7- Martínez Vargas, Alberto. 1982.
"Huaycos y Aluviones una Realidad Aún no Comprendida".
- 8- ONERN 1985. "Inventario de Evaluación de Recursos
Naturales en Marcapomacocha".

9-ONERN 1985.

"Los Recursos Naturales en el Perú".

10- Ravines - compilador. ITINTEC

"Tecnología Andina".

11- Regal, Alberto. 1970.

"Los Trabajos Hidráulicos del Inca en el Antiguo Perú".

12-Taype Ramos, Vidal. 1977. "Estudio Geotécnico y

Geodinámico y de Seguridad Física de los Centros Poblados
en el Valle del Rímac".

13-Taype Ramos, Vidal. 1982. "Catástrofes Naturales como

Problema en el Desarrollo de la Ingeniería Nacional".

14-UNI 1987. "Informe Técnico y preliminar de la

Zona Afectada por los Huaycos del 09-03-87 en chosica".

15-Ven te chow.

"Hidráulica de los Canales Abiertos".