

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA

ESCUELA DE POSGRADO

UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA
MINAS GEOLOGICA Y CIVIL



CONTROL DE EROSION HIDRICA EN ZONAS CRÍTICAS
DEL CERRO LA PICOTA DE LA CIUDAD DE AYACUCHO

Tesis Para Optar el Grado de:

MAESTRO EN GERENCIA DE PROYECTOS Y MEDIO
AMBIENTE

Presentado por:

JAIME LEONARDO BENDEZÚ PRADO

Asesor de la tesis:

DR. N. HUGO GUTIERREZ OROZCO

AYACUCHO - PERÚ

2017

CONTROL DE EROSION HIDRICA EN ZONAS CRÍTICAS DEL CERRO
LA PICOTA DE LA CIUDAD DE AYACUCHO

INGENIERO JAIME LEONARDO BENDEZÚ PRADO

Presentado a la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ingeniería Minas
Geologica y Civil en cumplimiento parcial de los requerimientos para optar
el título de:

MAESTRO EN CIENCIAS DE LA INGENIERIA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA

2017

Autor : JAIME LEONARDO BENDEZÚ PRADO

Recomendado : DR. N. HUGO GUTIERREZ OROZCO
Asesor de Tesis

© 2017; Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga (UNSCH), todos los derechos reservados. El autor de la investigación autoriza a la UNSCH - Unidad de Posgrado de la Facultad de Ingeniería Minas Geologica y Civil, la reproducción de la tesis en su totalidad o en partes.

A mi Padre, Hermanos, Esposa e Hija, mi gran reconocimiento y gratitud por sus apoyos incondicionales que me brindaron para concluir mis estudios de Post Grado.

Agradecimiento

A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Escuela de Pos grado, donde obtuve conocimientos para afrontar la vida profesional de la mejor manera.

Al Dr. Ing. N. Hugo Gutierrez Orosco por su asesoría, apoyo, comprensión, sabiduría, experiencia y orientación, para la culminación del presente trabajo de investigación.

A los Docentes de la Escuela de Pos Grado, Mención Gerencia de Proyectos Y Medio Ambiente, por sus conocimientos que me brindaron a lo largo de mis estudios de pos grado.

A todas aquellas personas, compañeros de estudio, amigos que me brindaron su apoyo, tiempo e información para el logro del presente trabajo de investigación.

Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga
Ayacucho, Octubre de 2017

JAIME LEONARDO BENDEZÚ PRADO

Resumen

Para el presente trabajo se toma como estudio de caso de control de erosión hídrica en las quebradas de Arroyo Seco, Prolongación San Martín y Yanaccacca del Cerro la Picota, por ser las quebradas críticas con pendiente pronunciada y un terreno de suelo erosionable en donde se originan erosión hídrica y transportes de sólidos hacia las partes bajas de esta zona.

El objetivo de la investigación es conocer en qué medida a través del empleo de diferentes sistemas de protección de laderas y quebradas influirá para el control de erosión hídrica en las zonas críticas del cerro la Picota de la Ciudad de Ayacucho. Para lo cual primero se inicia con la obtención de fuentes bibliográficas a nivel Local, Nacional e Internacional, se estima la cantidad de sólidos transportados producto de una erosión hídrica mediante métodos directos e indirecto y finalmente se plantea un tratamiento respectivo para reducir dicha erosión.

Como resultado del presente estudio es controlar la erosión hídrica en las zonas críticas del cerro la Picota y lograr reducir la erosión hídrica así como evitar la colmatación en el sistema de drenaje pluvial de la Ciudad de Ayacucho.

Concluyendo que existe erosión hídrica en las quebradas de Arroyo Seco, Prolongación San Martín, Alto Perú y Yanaccacca del cerro la Picota que pueden ser controlados.

Palabras clave : Erosion hidrica, transporte de sedimentos.

ÍNDICE GENERAL

Dedicatoria	iii
Agradecimiento	iv
Resumen	v
Índice General	vi
Índice de Cuadros	xii
Índice de Figuras	xiii
I INTRODUCTORIO	1
1.1 Descripción del contexto.	1
1.2 Definición y formulación del problema.	2
1.2.1 Definición nominal.	2
1.2.2 Definición operativa.	2
1.2.2.1 Problema Principal	2
1.2.2.2 Problema Secundario.	2
1.3 Delimitación del problema.	2
1.4 Justificación e Importancia.	3
1.5 Objetivos de la investigación.	3
1.5.1 Objetivos Generales.	3
1.5.2 Objetivos Específicos.	3
II MARCO TEÓRICO	5
2.1 Erosión.	5
2.1.1 Tipos de erosión.	5
2.1.1.1 Erosión marina.	5
2.1.1.2 Erosión glaciár.	6
2.1.1.3 Erosión eólica.	6
2.1.1.4 Erosión Kárstica.	6
2.1.1.5 Erosión biótica.	6
2.1.1.6 Erosión Hídrica y erosión fluvial.	7
2.1.1.6.1 Erosión Laminar.	7

2.1.1.6.2	Erosión en surcos.	7
2.1.1.7	Erosión en cárcavas.	7
2.1.1.8	Otros tipos de erosión.	8
2.1.2	Causas de la erosión.	8
2.1.2.1	La deforestación.	8
2.1.2.2	Las sequías.	8
2.1.2.3	Otras Actividades humanas.	8
2.1.2.4	El cambio climático.	9
2.1.3	Factores de la erosión hídrica.	9
2.1.3.1	Factores climáticos	9
2.1.3.2	Factor suelo	9
2.1.3.3	Factor Relieve	10
2.1.3.4	Factor Cobertura vegetal.	10
2.1.4	Efectos de la erosión.	10
2.1.4.1	Natural y progresiva.	10
2.1.4.2	Acelerada.	10
2.2	Medidas de control de erosión.	11
2.2.1	Sistemas longitudinales	11
2.2.1.1	Sistema terramesh	11
2.2.1.2	Sistema terramesh verde	12
2.2.1.3	Gaviones	13
2.2.1.4	Geomallas o geogrillas	14
2.2.1.5	Terrazas de banco (banquetas)	15
2.2.2	Sistemas transversales	16
2.2.2.1	Diques para retención de sedimentos	16
2.2.2.1.1	Dique de piedra sobre piedra (mampostería en seco)	17
2.2.2.1.2	Dique de piedra con cemento (mampostería hidráulica)	18
2.2.2.1.3	Dique de postes impregnados y sacos de tierra.	19
2.2.2.2	Canales y diques	20
2.2.2.3	Pacas o pircas	20
2.2.2.4	Sangrias	21
2.2.2.5	Zanjas de infiltración	22
2.2.3	Técnicas de bioingeniería	23
2.2.3.1	Condiciones donde se aplican técnicas de bioingeniería	23
2.2.3.2	Propiedades ingenieriles de la vegetación	25
2.2.4	Disipadores de energía de agua	26
2.2.4.1	Canales dentados	27
2.2.4.2	Canales con remates dentados	27

2.2.4.3	Canales con bloques	28
2.2.4.4	Canales con pilares deflectores	28
2.2.4.5	Estanques amortiguadores	29
2.2.4.6	Diseño de un colchón hidráulico	30
2.2.4.6.1	Dimensionamiento de un colchón hidráulico	31
2.2.5	Cunetas de coronación	34
2.2.6	Hidrotécnica y cauce.	35
2.2.6.1	Control vertical y pendiente de compensación τ_c	35
2.2.6.2	Control horizontal	36
III	MATERIALES Y MÉTODOS	38
3.1	Materiales.	38
3.1.0.1	Área de estudio	38
3.1.0.2	Instrumentos	38
3.2	Metodología.	39
3.3	Nivel y tipo de investigación.	39
3.3.1	Nivel de Investigación	39
3.3.2	Tipo de Investigación	40
3.4	Técnicas de recolección de datos	40
3.5	Análisis de datos	42
IV	ESTUDIO DE CASO	43
4.1	Descripción y diagnóstico del ámbito de estudio	43
4.1.1	Generalidades	43
4.1.2	Diagnóstico del Problema	44
4.1.3	Caracterización del Problema	45
4.1.4	Organizacional	46
4.1.5	Recursos Naturales	46
4.1.6	Inventario de Obras Conservacionista Existentes	46
4.2	Ubicación y demarcación de las unidades hidrográficas	47
4.2.1	Ubicación Geográfica	47
4.2.2	Demarcación Hidrográfica	48
4.2.3	Demarcación Política	48
4.3	Parámetros geomorfológicos de la zona en estudio	48
4.3.1	Ecología	48
4.3.2	Cobertura Vegetal	49
4.3.3	Geología	50
4.3.4	Geomorfología	51
4.3.5	Capacidad de Uso Mayor	51
4.3.6	Unidades Forestales	51
4.4	Unidad de vulnerabilidad	51

4.4.1	Tierras con Alto Riesgo	52
4.4.2	Tierras con Moderado Riesgo	52
4.4.3	Tierras con Ligero Riesgo	52
4.4.4	Tierras con Leve Riesgo	52
4.5	Caracterización hidrológica del área de estudio	53
4.5.1	Generalidades	53
4.5.2	Características Fisiográficas	53
4.5.3	Parámetros de Forma	53
4.5.4	Parámetros de Relieve	57
4.5.5	Parámetros de Drenaje	58
4.5.6	Caracterización geomorfológica de las quebradas o microcuencas cerro picota	60
4.6	Descripción general de microcuenca del cerro la picota	61
4.6.1	Unidades Hidrográficas La Picota Afluente principal del río Alameda en los Puntos de Interés	61
4.6.1.1	Hidrografía de la zona	61
4.7	Datos de estaciones pluviométricas	65
4.8	Métodos de estimación de erosión hídrica	72
4.8.1	Método de clavos y Rondanas	72
4.8.2	Método de Trampas y Sedimentos	85
4.8.3	Método de rendimiento histórico	86
4.8.4	Estimación de pérdida de suelo por método indirecto	86
4.9	Diseño de zanja de infiltración	89
4.9.1	Volumen de aportación zona de impluvio	90
4.9.2	Volumen de captación de las zanjas	90
4.9.3	Volumen de infiltración	90
4.9.4	Datos de velocidad de infiltración	91
4.9.4.1	Quebrada Arroyo seco	91
4.9.4.2	Quebrada San Martin	92
4.9.4.3	Quebrada Yanaccacca	92
4.9.5	Datos de intensidad de precipitación	92
4.9.5.1	Quebrada Arroyo seco	92
4.9.5.2	Quebrada San Martin	93
4.9.5.3	Quebrada Yanaccacca	93
4.9.6	Distancia horizontal entre zanjas de infiltración	93
4.10	Reforestación de laderas de cerro la picota	94
4.10.1	Vegetación	94
4.10.2	Retención del agua	95
4.10.3	Acumulación de agua	95
4.10.4	Diseño para revegetación en laderas del Cerro la Picota	95

4.10.4.1	Parámetros a tener en cuenta en el diseño	95
4.10.4.2	Diseño del tipo de especie vegetal	96
4.11	Cálculo del tiempo de concentración (Tc	98
4.11.1	Tiempo de concentración quebrada arroyo seco	98
4.11.1.1	Tc Arroyo Seco I	98
4.11.1.2	Tc Arroyo Seco II	99
4.11.1.3	Tc Arroyo Seco III	100
4.11.1.4	Tc Arroyo Seco IV	101
4.11.2	Tiempo de concentración quebrada pról. San Martín	101
4.11.2.1	Tc Quebrada San Martín I	101
4.11.2.2	Tc Quebrada San Martín II	102
4.11.2.3	Tc Quebrada San Martín III	103
4.11.2.4	Tc Quebrada San Martín IV	104
4.11.2.5	Tc Quebrada San Martín V	105
4.11.3	Tiempo de concentración quebrada Yanaccacca	105
4.11.3.1	Tc Quebrada Yanaccacca I	105
4.11.3.2	Tc Quebrada Yanaccacca II	106
4.11.3.3	Tc Quebrada Yanaccacca III	107
4.12	Diseño de diques	108
4.13	Diseño de poza disipadora de energía	108
V	RESULTADOS	109
5.1	Dimensiones de Diques:	109
5.2	Dimensiones de Poza disipadora:	110
5.3	Dimensiones de zanjas de infiltración:	110
5.4	Erosión Hídrica	111
5.4.1	Erosión Hídrica con el método directo:	111
5.4.2	Erosión Hídrica método indirecto para área sin control:	111
5.4.2.1	Erosión Hídrica en Quebrada Arroyo Seco	111
5.4.2.2	Erosión Hídrica en Quebrada Prolongación San Martín	123
5.4.2.3	Erosión Hídrica en Quebrada Yanaccacca	136
5.4.3	Erosión Hídrica máxima con método indirecto bajo control de erosión:	146
5.4.3.1	Erosión Hídrica máxima en la quebrada Arroyo Seco	146
5.4.3.2	Erosión Hídrica máxima en la quebrada Prolongación San Martín	146
5.4.3.3	Erosión Hídrica máxima en la quebrada Yanaccacca	147
5.5	Solución Propuesta de vegetación	147
	DISCUSIONES	149

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	151
Conclusiones.	151
Recomendaciones.	151
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	152
A ANEXOS	154

ÍNDICE DE CUADROS

2.1	Dimensiones estándar del Terramesh Verde	12
2.2	Separación máxima en pircas	21
2.3	Propiedades modificadas por la vegetación utilizadas en las técnicas de bioingeniería (Modificada de Styczen y Morgan, 1995).	25
2.4	Sumario de técnicas de bioingeniería para control de erosión en áreas críticas.	26
4.1	Inventario de obras de conservación	44
4.2	Coordenadas UTM de Unidades Hidrográfica	47
4.3	Parámetros fisiográficos cuenca del río alameda margen izquierda – cerro picota	60
4.4	Estaciones Pluviométricas del ámbito de estudio	66
4.5	Estación Huamanga Precipitación máxima en 24hr (mm)	66
4.6	Estación Allpachaca Precipitación máxima en 24hr (mm)	67
4.7	Estación Quinoa Precipitación máxima en 24hr (mm)	67
4.8	Estación Wayllapampa Precipitación máxima en 24hr (mm)	68
4.9	Estación San Miguel Precipitación máxima en 24hr (mm)	69
4.10	Estación San Pedro de Cachi Precipitación máxima en 24hr (mm)	69
4.11	Cuadro Resumen	70
4.12	Registro de altura libre en estacas de la quebrada Arroyo Seco.	74
4.13	Registro de altura libre en estacas de la quebrada Prolongación San Martín	78
4.14	Registro de altura libre en estacas de la quebrada Yanaccacca	83
4.15	Factor de P utilizado para diferentes prácticas y obras de conservación del suelo y agua	89
4.16	Factor P en terrenos forestales	89
4.17	Velocidad de Infiltración Q. Arroyo Seco	91
4.18	Velocidad de Infiltración Q. San Martín	92
4.19	Velocidad de Infiltración Q. Yanaccacca	92
4.20	Intensidad Q. Arroyo Seco	92
4.21	Intensidad Q. San Martín	93
4.22	Intensidad Q. Yanaccacca	93
4.23	Valor de la distancia “d”, en base a nuestros datos	93

ÍNDICE DE FIGURAS

2.1	Sistema terramesh	11
2.2	El Terramesh Verde	12
2.3	Construcción de gaviones	14
2.4	Geomallas o Geogrillas	15
2.5	Terraza de bancos (banquetas)	16
2.6	Estabilidad de pendientes en cáncavas o quebradas)	16
2.7	Control de cáncavas con diques y plantaciones.	17
2.8	Vista lateral de diques	17
2.9	Diques de piedra (mampostería en seco)	18
2.10	Diques de piedra con cemento (mampostería hidráulica)	19
2.11	Diques de postes impregnados y sacos de tierra	19
2.12	Diques de rollizos de madera	19
2.13	Revestimiento de canal en roca Diques	20
2.14	Pacas Barreras de piedra o Pircas	21
2.15	Separación máxima en pircas	21
2.16	Sangrias	22
2.17	Vista transversal de una zanja en la ladera	22
2.18	Zanjas de infiltración	23
2.19	Terraplén estabilizado con Geotextil con césped, arbustos y árboles	24
2.20	20 Terraplén estabilizado con arbustos, árboles y ornamentales	24
2.21	Terraplén en estabilización Con recubrimiento de tejidos, vegetación	24
2.22	Terraplén ya estabilizado	25
2.23	Umbrales a la salida del canal de entrega	28
2.24	Bloques a la entrada del colchón hidráulico	28
2.25	Pilares deflectores en el canal de entrega	29
2.26	Resalto hidráulico	29
2.27	Colchón hidráulico profundizando el nivel de piso	30
2.28	Estanque amortiguador con travesaño de fondo	31
2.29	Salto hidráulico, de acuerdo al número de Froude	32
2.30	Variables que intervienen en el diseño de un colchón hidráulico	33
2.31	Zanja de coronación	35
2.32	Corrección de la pendiente de un cauce	36

2.33	Dinámica horizontal de un cauce	36
2.34	Diques de consolidación	37
3.1	Levantamiento topográfico	40
3.2	Medida de altura libre de estacas	41
3.3	Observación directa en zona de estudio y toma de datos de precipitaciones del día	41
3.4	Tiempo de infiltración y tomas de muestras de suelos	42
4.1	Diques de muro seco	44
4.2	Canal sin revestir	44
4.3	Diques de mampostería de piedra	45
4.4	Zanja de coronación	45
4.5	Quebradas existentes en ladera del cerro la Picota-Ayacucho	47
4.6	Quebradas existentes en ladera del cerro la Picota-Ayacucho	48
4.7	Diagrama bioclimático	49
4.8	Partium junceum(retama)	50
4.9	Dodonea viscosa(chamana)	50
4.10	Agave americana(cabuya)	50
4.11	Opuntia ficus indica(tuna)	50
4.12	Quebrada y cauces en el área de influencia de Arroyo seco	62
4.13	Quebrada Arroyo seco	63
4.14	Quebradas y cauces en el área de prolog. San Martín	64
4.15	Quebrada de la Prolongación San Martín	64
4.16	Quebradas y cauces en el área de Yanaccacca	65
4.17	Quebradas y cauces en el área de influencia del proyecto	65
4.18	Colocación de las rondanas	72
4.19	Medición de lámina pérdida	72
4.20	Método de Clavos	72
4.21	Pérdida de suelo en rondanas modificado milímetros	72
4.22	Erosión y sedimentación	73
4.23	Midiendo altura libre en estacas	74
4.24	Nomograma para la obtención del factor K de la USLE	88
4.25	Prueba de infiltración en las laderas del cerro la Picota	94
4.26	Ladera del cerro la Picota requiere revegetación	97
4.27	Áreas que requieren revegetación en quebradas Arroyo Seco, Prol. San Martín y Yanaccacca	98
5.1	Dimensiones de Diques	109
5.2	Dimensiones de Poza disipadora	110
5.3	Dimensiones de zanjas de infiltración	110

5.4	Erosión Hídrica	111
5.5	Cabuya	147
5.6	Molle	148
5.7	Chamana	148

INTRODUCTORIO

1.1 Descripción del contexto.

Cada periodo de lluvias, la ciudad de Ayacucho soporta huaycos que tienen origen en laderas del Cerro La Picota y estas transportan materiales sólidos provenientes de la erosión hídrica en dicha zona sobre todo en las quebradas existentes que son transportados hacia la ciudad creándose el problema que por efectos de los vientos originan polvo y así la contaminación del medio ambiente.

Se han realizado actividades de control de erosión en el cerro la picota como son: forestación, construcción de diques en quebradas del cerro la Picota pero continua el efecto de erosión y transporte de material sólido provenientes de las laderas de quebradas existentes que han colmatado los diques existentes. Se ha observado en la mayoría de las ciudades de nuestra región como Ayacucho, con una topografía accidentada de condiciones climáticas y geomorfológicas complejas hacen propicio la ocurrencia de eventos geodinámicas como los huaycos, deslizamientos e inundaciones, arrastrando consigo partículas pequeñas de roca y suelo, que son transportados hacia la Ciudad.

Se ha observado que nuestras autoridades han gestionado diversos proyectos con respecto a este tema, la investigación sobre la condición de área intangible protegida del “Cerro la Picota”, al declarar las laderas del Cerro la Picota como área de protección con fines de forestación, prohibiéndose su uso para otros fines, actualmente el área intangible viene siendo lotizado, las áreas forestadas invadidas se han talado árboles, lo que ocasiona en tiempos de lluvia que las viviendas cercanas colapsen además el arrastre del material del cerro desembocan en las calles de la ciudad ocasionando enfermedades respiratorias. Se tienen proyectos de control de erosión en las laderas del cerro la Picota, que por falta de

un estudio adecuado de control de erosión en dicha zona, dichos proyectos no solucionan el problema de erosión, así mismo se construyó un sistema de drenaje en la Ciudad de Ayacucho y sin el tratamiento de cerro la Picota dichas estructuras puede colapsar.

La planificación científica para la conservación del agua y del suelo requiere del conocimiento de las relaciones entre aquellos factores que causan las pérdidas del suelo y aquellos que ayudan a reducirlas. Estas pérdidas, además de la acción directa de la precipitación y su consecuente escorrentía, pueden ser agravadas, por lo general, por la acción antrópica, a través de las obras civiles. Los límites de pérdida de suelo y producción de sedimentos son algunas veces establecidos principalmente para el control de la calidad de las aguas, ya que una excesiva cantidad de sedimentos puede afectar sensiblemente el funcionamiento de obras hidráulicas. Además, la degradación del medio ambiente, en términos de erosión, puede ser calificada y al mismo tiempo cuantificado, conociéndose temporalmente la evolución de las cantidades y las características de los sólidos finos (arcilla, limos y arenas finas) transportados por la red de drenaje fluvial hacia la salida de la cuenca.

1.2 Definición y formulación del problema.

1.2.1 Definición nominal.

En los periodo de lluvias, la ciudad de Ayacucho soporta huaycos que tienen origen en las laderas del Cerro La Picota y estas transportan materiales sólidos provenientes de la erosión de dichas zonas por efectos hídricos y son acumulados hacia las calles próximas que por efectos de los vientos originan polvo y así la contaminación del medio ambiente originando enfermedades en la población Ayacuchana por efectos de dicho polvo.

1.2.2 Definición operativa.

1.2.2.1 Problema Principal

1. ¿Como el empleo de diferentes sistemas de protección de laderas y quebradas influirá en el control de erosión hídrica de las zonas críticas del cerro la Picota de la Ciudad de Ayacucho?

1.2.2.2 Problema Secundario.

1. ¿Cómo los diques transversales con sus respectivas pozas disipadoras influirá en el control de erosión hídrica?
2. ¿Cómo la reducción de la escorrentía superficial e incremento de infiltración influirá en el control de erosión hídrica?
3. ¿En qué medida la cobertura vegetal contribuye en la disminución de erosión hídrica?

1.3 Delimitación del problema.

El área de influencia del estudio, son las quebradas Arroyo Seco, prolongación San Martín y Yanaccacca, se encuentra localizada en la zona Oeste de la Ciudad de Ayacucho,

ladera del cerro la Picota, con una altitud del punto más bajo de 2,827 m.s.n.m. hasta una altitud del punto más alto de 3,195 m.s.n.m. y abarca en un extensión de aproximadamente 30.49 hectáreas de área, limita por el norte con el asentamiento de Pisco Tambo, por el este con la vía los Libertadores, por el oeste con la Cima del Cerro la Picota, por el Sur con cima de quebrada Arroyo Seco, en el Distrito de Ayacucho de la Provincia de Huamanga de la Región de Ayacucho.

La población beneficiaria directamente será de aproximadamente 2,760 habitantes, además indirectamente estará ligado a este problema la población Ayacuchana por la prevención de desastre por inundación y reduciéndose las enfermedades por origen de las partículas sólidas.

1.4 Justificación e Importancia.

- Cada periodo de lluvias, la ciudad de Ayacucho soporta huaycos que tienen origen en las laderas del Cerro La Picota y estas trasportan materiales sólidos provenientes de la erosión de laderas por efectos pluviales y son acumulados en calles próximas que por efectos de los vientos originan polvo y así la contaminación del medio ambiente.
- Se han realizado actividades de control de erosión en el cerro la picota como son: forestación, construcción de diques en quebradas del cerro la Picota pero continua el efecto de erosión hídrica y transporte de material sólido provenientes de las laderas de las quebradas existentes que han colmatado los diques existentes.
- Siendo la finalidad determinar las condiciones de control de Erosión y poder evacuar el escurrimiento superficial por medio de drenes evitando el ingreso al casco urbano y Asentamientos Humanos y reducir la erosión de los taludes en quebradas existentes en el cerro la Picota que son las zonas críticas no protegidas y así evitar la degradación del suelo y la contaminación del medio ambiente y contribuir con la reducción de enfermedades en la población Ayacuchana por efectos de polvo, para lo cual es necesario buscar una solución a este problema desde el punto de vista económico y de calidad .

1.5 Objetivos de la investigación.

1.5.1 Objetivos Generales.

1. Conocer en qué medida a través del empleo de diferentes sistemas de protección de laderas y quebradas influirá para el control de erosión hídrica en las zonas críticas del cerro la Picota de la Ciudad de Ayacucho.

1.5.2 Objetivos Específicos.

1. Evaluar de que manera los diques transversales con sus respectivas pozas disipadoras influirá en el control de erosión hídrica.
2. Evaluar como la reducción de la escorrentía superficial e incremento de la infiltración influye en el control de erosión.

3. Evaluar en que medida la cobertura vegetal influirá en la disminución de erosión hídrica.

2.1 Erosión.

La erosión (pérdida) del suelo la provocan principalmente factores como las corrientes de agua y de aire, en particular en terrenos secos y sin vegetación, además el hielo y otros factores. La erosión del suelo reduce su fertilidad porque provoca la pérdida de minerales y materia orgánica. La erosión del suelo es un problema nacional e internacional al que se le ha dado poca importancia en los medios de comunicación masiva.

El agua es un erosivo muy energético. Cuando el suelo ha quedado desprotegido de la vegetación y sometido a las lluvias, los torrentes arrastran las partículas del suelo hacia arroyos y ríos. El suelo, desprovisto de la capa superficial, pierde la materia orgánica (humus) y entra en un proceso de deterioro que puede originar hasta un desierto.

El viento es otro de los agentes de la erosión. El suelo desprovisto de la cortina protectora que forman los árboles, es víctima de la acción del viento que pule, talla y arrastra las partículas de suelo y de roca.

Los paisajes generados en zonas áridas y desérticas son muestras evidentes de la acción de este factor. (. Morgan, R.P.C., Madrid, 1997)

2.1.1 Tipos de erosión.

2.1.1.1 Erosión marina.

Se puede apreciar como el romper de las olas erosionaron con el paso del tiempo este acantilado. La erosión de la costa se produce principalmente por las olas, corrientes y mareas.

Estas modelan las costas del mar y les dan forma. De cierta forma ocurre que la corriente dominante de la zona se lleva los sedimentos de la playa, y entre éstos se lleva arena, grava, piedras e incluso rocas. Estas al sedimentarse forman Barras y Bancos de arena. Las olas suelen dar forma a acantilados, arcos y rocas aisladas de la costa. (. Morgan, R.P.C., Madrid, 1997)

2.1.1.2 Erosión glaciar.

Se da en las montañas principalmente. Su erosión depende de en donde se encuentre, si se encuentra en un valle cuando el glaciar pase dejara un suelo liso y un valle con forma de U perfecta. Es muy visible en las laderas de montañas y lugares donde hubo glaciaciones, expresadas en valles y llanuras perfectas. Un ejemplo muy claro de erosión de hielo es la Antártida, en este continente la gruesa capa de hielo provoca que se hunda el continente por el centro (expresándose en rompimiento de montañas) y que se formen valles y llanuras en la costa del continente esto por que se resbala por los veranos. Si levantáramos la capa de hielo de la Antártida se vería la erosión y el hundimiento existente en el continente. (. Morgan, R.P.C., Madrid, 1997)

2.1.1.3 Erosión eólica.

Se presenta cuando el viento transporta partículas diminutas que chocan contra alguna roca y se dividen en más partículas que van chocando con otras cosas. Se suelen encontrar en los desiertos en formas de dunas y montañas rectangulares o también en zonas relativamente secas. Lo que conlleva un tiempo más largo, debido al tiempo que tarda en erosionar (. Morgan, R.P.C., Madrid, 1997)

2.1.1.4 Erosión Kárstica.

Se da cuando el agua se interna dentro de la tierra y disuelve las rocas y granos de tierra cercanos. Se suele presentar en ríos subterráneos y ojos de agua, cuando la tierra ya es muy débil para sostener lo de la superficie, se hunde y forma un boquete o agujero más o menos grande. Esta erosión se presenta en lugares de agua abundante y forma cuevas y grutas, en las ciudades se suele presentar cuando hay una fuga de agua subterránea. También se suele presentar como una reacción química en agua ligeramente ácida sobre las rocas internas, esta producen también el hundimiento de la tierra. (Morgan, R.P.C., Madrid, 1997)

2.1.1.5 Erosión biótica.

En esta se involucran todos los procesos químicos que se llevan a cabo en las rocas. Intervienen factores como calor, frío, agua, compuestos biológicos y reacciones químicas del agua con las rocas. Este tipo de erosión depende del clima, en los climas polares y secos las rocas se destruyen por los cambios de temperatura; y en los lugares tropicales y templados

pues la humedad, el agua y los desechos orgánicos reaccionan con las rocas y las destruye. A veces forma un proceso llamado meteorización. (. Morgan, R.P.C., Madrid, 1997)

2.1.1.6 Erosión Hídrica y erosión fluvial.

Erosión provocada por agua, en la cual la tierra se ha debilitado y se deslavo. También se puede observar la corriente que sigue el agua cuando llueve. Se puede demostrar que la gravedad influyo en la erosión de esta colina. Se le denomina al desplazamiento debido al agua, provocando el humedecimiento de la tierra y que esta se deslave, ya sea por pendiente a cuesta o pendiente en vertical. En los ríos, lagos y mares la erosión es más visible, las corrientes se llevan rocas y arena provocando que el cauce del río se vaya hundiendo y formando paredes verticales, provocando la formación de un cañón o barranco. En los mares las olas provocan que la arena se vaya reduciendo y llevándosela en las corrientes marinas, en el caso de los acantilados, éstos se van hundiendo poco a poco formando un fondo hueco. En los lagos sucede algo igual pero en menor medida. .- (Kirby, M.J., Mexico, 1984)

2.1.1.6.1 Erosión Laminar. Es una erosión superficial. Después de una lluvia es posible que se pierda una capa fina y uniforme de toda la superficie del suelo como si fuera una lámina. Es la forma más peligrosa de erosión hídrica ya que esta pérdida, al principio casi imperceptible sólo será visible cuando pasado un tiempo haya aumentado su intensidad. Este proceso da origen a la erosión en surcos y posteriormente en cárcavas.(Suarez, D.J.Colombia, 2001)

2.1.1.6.2 Erosión en surcos. Es fácilmente perceptible debido a la formación de surcos irregulares favoreciendo la remoción de la parte superficial del suelo. Este tipo de erosión puede ser controlada. Caso contrario el proceso avanza y llega a la etapa de cárcava. (Suarez, D.J.Colombia, 2001)

2.1.1.7 Erosión en cárcavas.

Consiste en pérdidas de grandes masas de suelo formando surcos de gran profundidad y largura trayendo como consecuencia:

- Pérdida de suelo.
- Cambio en el régimen térmico.
- Pérdida en la calidad del relieve.
- Pérdidas en la capacidad de reserva de agua.
- El proceso se ve favorecido en sitios frágiles por presión de pastoreo y malas prácticas de manejo. (Suarez, D.J.Colombia, 2001)

2.1.1.8 Otros tipos de erosión.

Además de los siguientes tipos de erosión son:

- Erosión económica: pérdida de suelos fértiles por cubierta de construcciones (expansión urbana).
- Erosión continental: desintegración, en todas las formas, del suelo a través de los efectos de los agentes atmosféricos: hielo, goteamiento, viento, variaciones de temperatura, reacciones químicas, cursos de agua.
- Erosión cósmica: se da en los meteoritos que se acercan y llegan a tener un pequeño contacto con la atmósfera externa, sin llegar a entrar en la capa de ozono.
- Erosión volcánica: se produce en las laderas exteriores de los volcanes que se encuentran más alejados del ecuador.

2.1.2 Causas de la erosión.

La erosión puede tener varios orígenes y normalmente cuando nos encontramos frente a un proceso erosivo es por la combinación de varias de estas causas no por una sola de ellas. Aunque estos procesos pueden ser naturales, casi siempre encontramos la mano del hombre en su desencadenamiento.

2.1.2.1 La deforestación.

Un suelo desprovisto de vegetación no está cohesionado. Las raíces de las plantas sujetan el suelo que se encuentra a su alrededor. Cuando un suelo pierde la mayor parte de sus plantas por un incendio, por una tala abusiva, por el sobre pastoreo, por una obra pública poco cuidadosa etc. corre el riesgo de que las tasas de erosión aumenten. (. Morgan, R.P.C., Madrid, 1997)

2.1.2.2 Las sequías.

El descenso de las precipitaciones provoca que los suelos se queden sueltos por la muerte de parte de las plantas que los sustentan y la disminución de la humedad. Muchas de nuestras sequías son más el resultado de una sobre explotación de nuestros recursos hídricos que el resultado de falta de precipitaciones. Por lo tanto el derroche de agua es una causa directa del aumento de la erosión.

2.1.2.3 Otras Actividades humanas.

Algunas de estas actividades como las obras públicas poco respetuosas con el medio, pero otras acciones como las actividades mineras poco cuidadosas o las modificaciones en los cauces de los ríos (deforestación, desvíos, cortes de meandros, ocupación de parte del lecho por edificios, etc.) o en su caudal (presas, vertidos, etc.) pueden causar que la erosión aumente al quedar los suelos de los cauces fluviales y sus cercanías desprovistos de parte de la vegetación y humedad que los cohesionan.

2.1.2.4 El cambio climático.

El posible aumento de las temperaturas que estamos padeciendo y el posible cambio climático aumentarían las tasas de erosión, por un lado parece ser que nos encontraremos con un clima con periodos de sequía más largos, pero por otro las precipitaciones parece ser que no tienden a disminuir sino a concentrarse en periodos cada vez más cortos de tiempo. Si esta tendencia sigue la erosión puede aumentar por las lluvias torrenciales sobre suelos sueltos a causa de las sequías (<https://sites.google.com/site/ampliabiogeo/ciclo-rocas/la-erosion-agentes-causantes>).

2.1.3 Factores de la erosión hídrica.

2.1.3.1 Factores climáticos

Está dado principalmente por las precipitaciones y su energía cinética donde a mayor intensidad de precipitación se origina mayor escorrentía superficial, originándose mayor erosión hídrica en el suelo y viceversa a menor intensidad de precipitación se origina menor escorrentía, por lo que se origina menor erosión hídrica en el suelo.

El estudio de las precipitaciones es importante dentro de cualquier estudio referido al manejo de la erosión hídrica, ya sea a nivel de una cuenca, como así también a nivel regional. Dentro de la caracterización de las lluvias interesa conocer:

- Cantidad y distribución: Es el registro más fácil de obtener en estaciones del ferrocarril, servicio meteorológico, aeropuertos, estaciones experimentales, etc. La precipitación media y su distribución indica los períodos críticos en cuanto a la ocurrencia de tormentas erosivas.
- Intensidad: La intensidad de una precipitación define la energía cinética que desencadena los procesos de desprendimiento y escurrimiento, y luego se retoma su consideración al analizar los modelos de erosión. (Cisneros, J.M., Argentina, 2012)

2.1.3.2 Factor suelo

Influye el tipo de suelo, la erosionabilidad o erodabilidad del suelo es una medida de la susceptibilidad al desprendimiento y transporte por los agentes de la erosión. La erodabilidad es un efecto integrado de los procesos que regulan la absorción de la lluvia y la resistencia de las partículas del suelo al desprendimiento y posterior transporte. Estos procesos están influidos por las propiedades del suelo tales como tamaño de partículas, estabilidad de agregados, materia orgánica, cantidad y tipo de arcillas o por características edáficas que afectan la estructura del suelo y la transmisión de agua. Algunos parámetros que cuantifican la erodabilidad. (Cisneros, J.M., Argentina, 2012)

2.1.3.3 Factor Relieve

Influye la forma y la pendiente del relieve en los procesos de erosión hídrica es el grado o inclinación de la pendiente, la que se puede expresar en porcentaje o en grados sexagesimales, la longitud de la pendiente es otro factor que define la cantidad de erosión de una ladera y la velocidad terminal de la escorrentía. La exposición solar de la pendiente tiene importancia en zonas de montaña, ya que influye sobre la insolación, temperatura y humedad del suelo y por lo tanto, sobre la posibilidad de instalación de más es la escorrentía superficial y mayor es la erosión hídrica, a mayor pendiente. (Cisneros, J.M., Argentina, 2012)

2.1.3.4 Factor Cobertura vegetal.

Influye el tipo de vegetación que está cubierto, mayor cobertura vegetal habrá menor escorrentía superficial y viceversa. los efectos de la vegetación en la erosión hídrica, sin tener en cuenta que la erosión también afecta a la vegetación. Así, se ha establecido que la vegetación influye sobre la erosión aumentando la estabilidad de los agregados del suelo y la propia coherencia del suelo, protegiéndolo del impacto de las gotas de agua, incrementando la capacidad de infiltración y frenando la escorrentía. Esta relación entre cobertura vegetal y pérdida de suelo, sin embargo, nos dice que la vegetación es importante pero no porqué lo es. ¿Se trata simplemente de un efecto “paraguas” el que explica esa protección por la vegetación? ¿Es la propia complejidad de las plantas, su arquitectura, su efecto sobre las propiedades del suelo, el mantillo o las raíces, los que podrían explicar estas relaciones? Y, a otra escala ¿Es el valor de la cobertura vegetal el que explica (Valladares, F. Madrid 2004)

2.1.4 Efectos de la erosión.

2.1.4.1 Natural y progresiva.

Es la que se desarrolla alrededor de varios años y se desarrollan en torno de algo natural. Se le puede denominar erosión geológica. En esta erosión el proceso suele ser lento y se prolonga por millones de años, suelen intervenir la lluvia, nieve, frío, calor y viento. En los climas áridos es el calor que agrieta el suelo (pues este se expande) y el viento lleva granos de arena formando dunas y montes de baja altura. En este tipo de erosión los factores moldean perfectamente el paisaje, creando algo considerado hasta ahora bello e impresionante.

2.1.4.2 Acelerada.

Es la que se desarrolla rápidamente y sus efectos se sienten en poco tiempo. Es cuando intervienen de forma exagerada todos los factores involucrados, principalmente se debe a la mano del hombre y sus actividades.

Deslave en una montaña, el agua ha debilitado el suelo y este se deslavo.

Se le puede definir cuando un Talud descende de las alturas de una montaña débil o humedecida de agua (comúnmente llamado deslave). La tierra del deslave anteriormente estaba débil se deslavó provocando que se llevara partes de la montaña, como piedras, árboles etc. En este caso los árboles ayudan a detener la tierra. En las montañas con nieve las denominadas avalanchas y glaciares, que se mueven lentamente hacia abajo, llevándose consigo las piedras del suelo escondido debajo de las capas de hielo. A veces estas caídas son provocadas por actividad sísmica o volcánica.

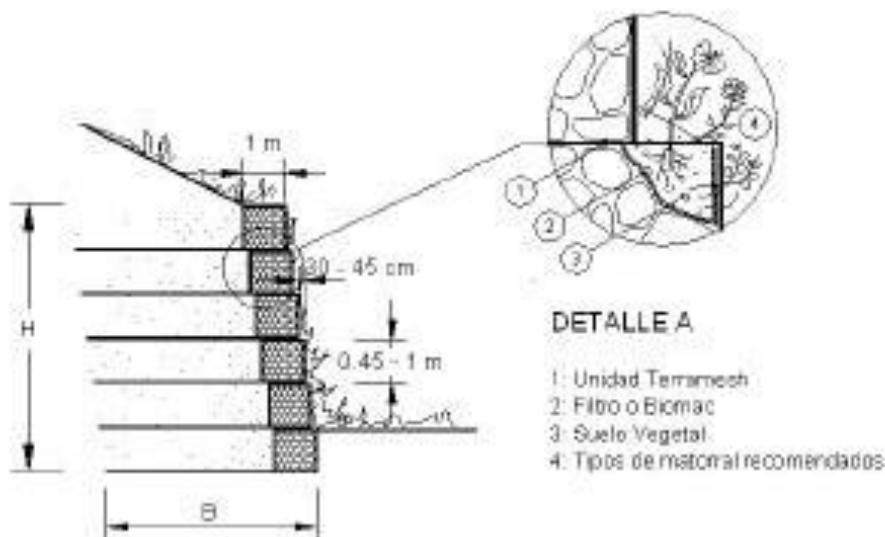
2.2 Medidas de control de erosión.

2.2.1 Sistemas longitudinales

2.2.1.1 Sistema terramesh

El Sistema Terramesh es un sistema modular amigable con el medio ambiente utilizado para aplicaciones de refuerzo de suelo tales como estabilización de muros de tierra y Taludes.

Figura N° 2.1:
Sistema terramesh



Las unidades son colocadas en capas horizontales durante el llenado y compactación del terraplén. El espaciamiento vertical entre el refuerzo está determinado por el diseño para proveer al terraplén de la resistencia al corte necesaria.

Una unidad del Sistema Terramesh está formada de una malla continua de alambre de doble torsión que forma el refuerzo, y al frente una sección similar a los gaviones. Todas las secciones son unidas durante el proceso de fabricación de las mismas.

Las secciones frontales son llenadas de piedra la cual provee de resistencia y drenaje a la estructura. Para permitir el crecimiento de vegetación una capa de la misma puede ser usada como se muestra en la Figura mostrada, Detalle A.

El Sistema Terramesh es fabricado de alambre dúctil fuertemente galvanizado y con cubierta de PVC en forma de malla de doble torsión. Las estructuras del Sistema Terramesh

tienen las siguientes características únicas:

- Efectos Hidráulicos. El uso de la piedra como relleno permite general un sistema de libre drenaje que reduce potencialmente el efecto de presiones hidráulicas. El Sistema Terramesh trabaja perfectamente a lo largo de la orilla de arroyos además de proveer de máxima protección contra la erosión en canales.
- Estructuralmente continúa. La malla de refuerzo es continua a todo lo largo de la zona a proteger, esto elimina el riesgo de fallas en la conexiones entre el refuerzo y la cara de contacto. Además de lo anterior la forma hexagonal de la malla de doble torsión provee de una completa interconexión con el suelo.
- Costo. El Sistema Terramesh puede ser construido con suelo de relleno y roca del lugar, si es adecuada, y su proceso de fabricación disminuye el tiempo de ejecución.

2.2.1.2 Sistema terramesh verde

El Terramesh Verde es un sistema modular ambientalmente amigable que se usa para el refuerzo del suelo como en la estabilización de laderas y terraplenes y la compactación de un terraplen estructural. El espaciamiento vertical entre los refuerzos es determinado por el diseño para poder garantizar la resistencia al esfuerzo cortante.

Figura N° 2.2:
El Terramesh Verde



Las dimensiones estandar del Terramesh Verde se muestran en la siguiente tabla.

Cuadro N° 2.1 :
Dimensiones estándar del Terramesh Verde

Largo m (ft)	Ancho m (ft)	Alto m (ft)	Ángulo(°)	Tolerancia (%)
3	2	0.6	70	± 5
4	2	0.6	70	± 5
5	2	0.6	70	± 5

El Terramesh Verde está fabricado con malla de acero doble torsión, un geosintético o una cubierta biodegradable para el control de la erosión, un panel de malla soldada con autógeno y dos soportes de acero. La unidad principal es fabricada con alambre

flexible, fuertemente galvanizada y recubierta con una capa de PVC. La cara visible esta reforzada con varillas recubiertas con PVC insertadas en la doble torsión durante el proceso de fabricación.

En el interior de la parte visible se encuentra adherido un geosintético o una manta biodegradable. La manta retiene los finos y permite a la vegetación crecer rápidamente. Esta manta puede consistir en un geosintético tridimensional permanente o una biomanta 100 % de fibra de coco. La geomanta tridimensional es generalmente recomendada para laderas que están en contacto con flujos de agua con una velocidad moderada (< 3 m/s), como reveras de ríos o casos donde la Vegetación tardará mucho en crecer. La fibra de coco es recomendada para todos los demás casos (terraplenes de carreteras, etc.).

El panel de malla soldada colocada detrás de la manta añade fuerza, proporciona soporte al elemento y mantiene la manta en su lugar durante la construcción. La parte de arriba del Terramesh Verde se usa para anclar se usa para anclar el siguiente elemento al sistema.

Las ventajas del Terramesh Verde son:

- Ambientalmente amigable. Terramesh Verde permite un rápido crecimiento de la vegetación. El suelo contenido de 60 a 90 cm partiendo de la parte visible, es un suelo vegetal. Esto permite a la vegetación (pasto, arbustos, etc.) crecer rápidamente. Sin embargo, para taludes con más de 70° la vegetación apropiada debe ser escogida en relación al clima y otros factores. Un proceso de hidrosiembra puede ser requerido para proveer de nutrientes y humedad al suelo.
- El uso de otras técnicas de bioingeniería también pueden ser usadas Seguridad estructural. La malla de refuerzo se encuentra distribuida a lo largo de toda la estructura. Esto elimina el riesgo de errores en el armado de las secciones, además el patrón de la malla doble torsión proporciona interacción total con el suelo y adiciona protección contra deshilachamiento. Lo que evita que un daño accidental se expanda.
- Bajo costo. Las estructuras de Terramesh Verde pueden ser construidas con material de relleno disponible en el sitio, anulando o disminuyendo el acarreo de materiales. El sistema modular hace que el costo por el tiempo de construcción sea aceptable.

2.2.1.3 Gaviones

Recipiente, por lo general paralelepípedo, de malla de alambres dulces, galvanizados lleno de cantos de roca. La malla con que están contruidos estos elementos es capaz de satisfacer todas las exigencias requeridas. Además soportan esfuerzos altos al ser utilizados para anclaje y resisten las fuerzas de los materiales del lugar.

Figura N° 2.3:
Construcción de gaviones

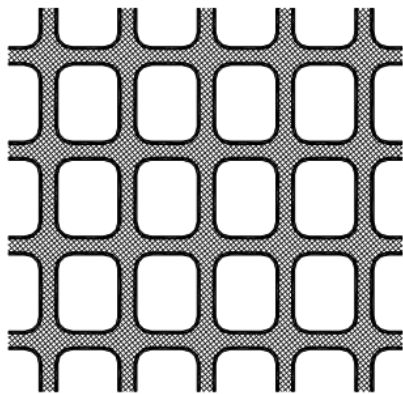
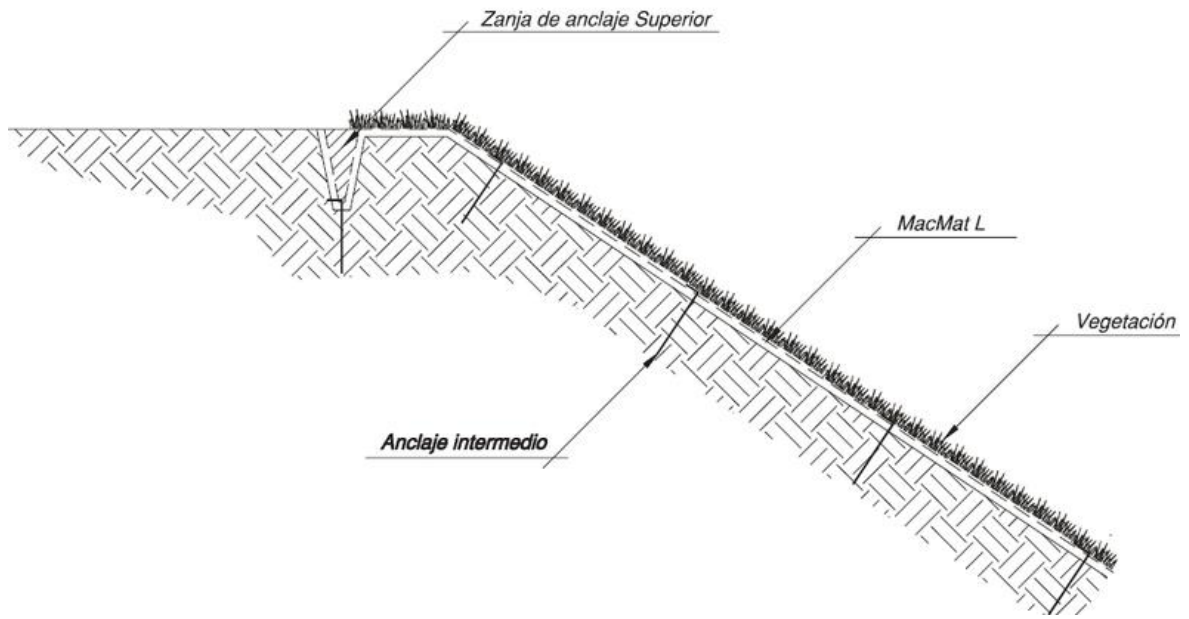


Son muy utilizados en la consolidación de los movimientos de los taludes, ya que por la propiedad que poseen de poder deformarse sin perder su eficacia y por su alto grado de capacidad de drenaje se adaptan de una manera particular a muchos casos en que deba operarse en terrenos inseguros y con presencia de agua. (Chanquin, G. E. Guatemala, 2004)

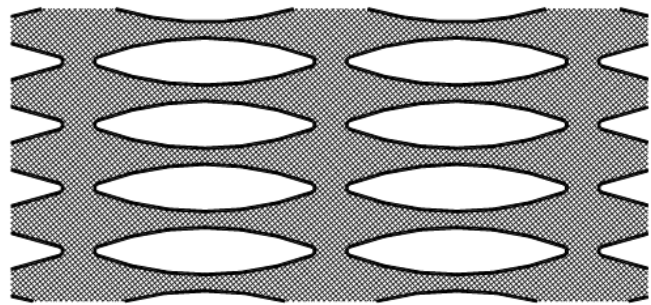
2.2.1.4 Geomallas o geogrillas

Las geomallas son mallas plásticas con orificios de gran tamaño (Figura 2.4), los cuales se utilizan comúnmente como refuerzo de suelo pero también se les usa como separadores entre capas de materiales gruesos, como canastas para gaviones o para mejorar las características de otros geosintéticos. Las geomallas se fabrican de polietileno de alta densidad, poliéster o polipropileno. Su utilización como refuerzo de taludes de tierra reforzada es muy popular en los EE.UU. y Europa., estas refuerzan e incrementan la capacidad de carga del suelo. (Suarez D.J.Colombia,2001)

Figura N° 2.4:
Geomallas o Geogrillas



Biaxial



Uniaxial

2.2.1.5 Terrazas de banco (banquetas)

Es una serie de plataformas o escalones continuos construidos a nivel o ligeramente inclinados hacia adentro, en terrenos de fuerte pendiente, y que se encuentran separadas por paredes (taludes) inclinadas, normalmente protegidas por vegetación.

Figura N° 2.5:
Terraza de bancos (banquetas)



Figura N° 2.5 Terraza de bancos (banquetas)

2.2.2 Sistemas transversales

2.2.2.1 Diques para retención de sedimentos

Los diques son barreras que cruzan un curso de agua o un conducto, para controlar el nivel y velocidad del agua.

Objetivos de la construcción de diques:

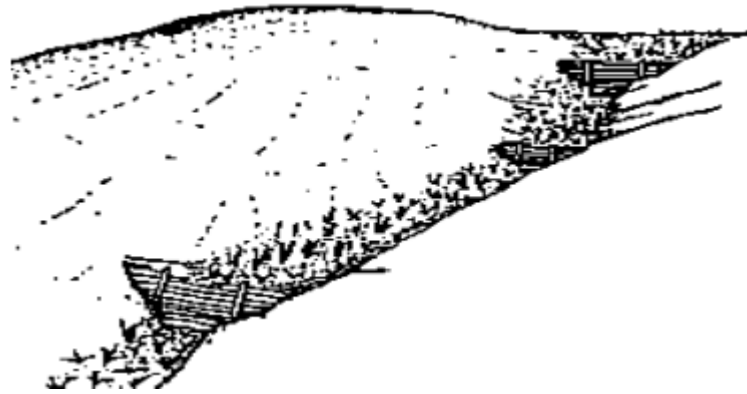
1. Resistir el desgaste del fondo de las cárcavas o quebradas por efecto del arrastre ejercido por el agua.
2. Estabilizar las pendientes del lecho en las cárcavas o quebradas.

Figura N° 2.6:
Estabilidad de pendientes en cárcavas o quebradas)



3. Preparar las condiciones para la plantación y la siembra en cárcavas o quebradas.

Figura N° 2.7:
Control de cárcavas con diques y plantaciones.

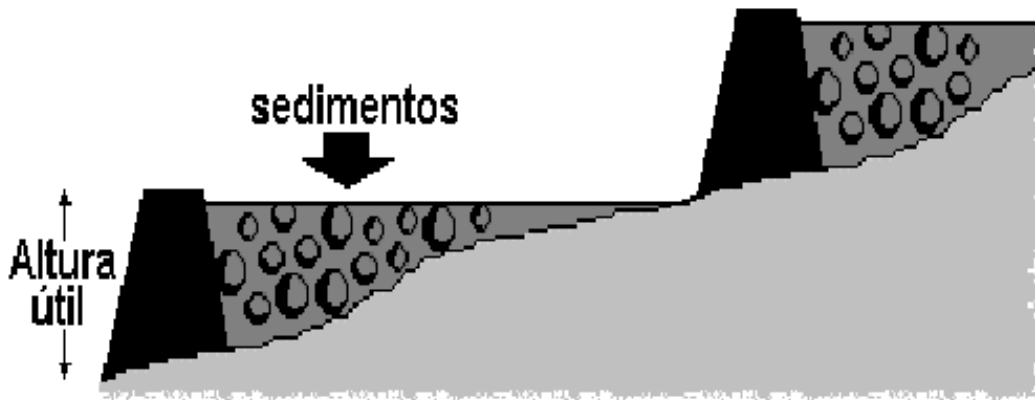


Construcción de diques

Paso 1 Selección de la o las zonas de la quebrada donde se construirán los diques.

Dependiendo de la longitud de la cárcava a controlar debe decidirse si se construirán uno o más diques. Si la cárcava es relativamente corta (menos de 20 metros), bastará con la construcción de un solo dique.

Figura N° 2.8:
Vista lateral de diques

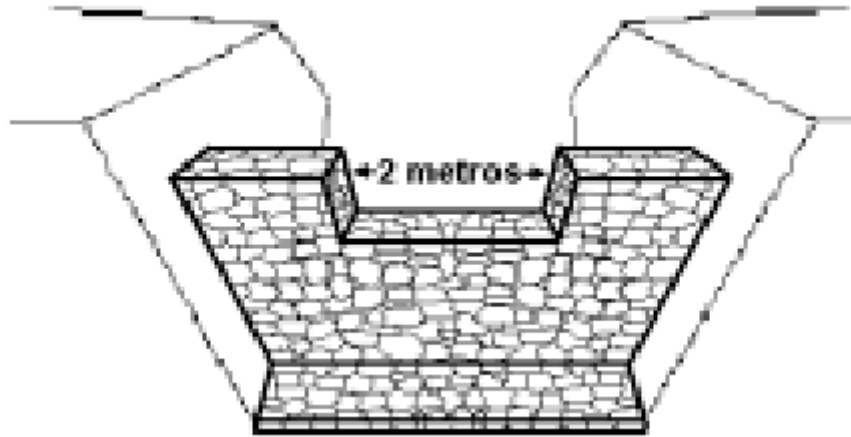


Por el contrario, si la cárcava se extiende por más de 20 metros, y la pendiente del lecho es elevada, vale la pena considerar la construcción de uno o más muretes o diques. Ya que al establecer el sistema de diques, se desea controlar la pendiente o inclinación del fondo de la cárcava, se recomienda establecerlos de manera que la altura útil del dique más bajo, coincida con el inicio del dique situado aguas arriba. (Pizarro, T.R, Talca , 2003).

2.2.2.1.1 Dique de piedra sobre piedra (mampostería en seco) Es uno de los tipos de diques de menor costo. Sólo requiere que se corte la piedra en algún lugar cercano al sector donde se construyen los diques. Lo ideal es cantar las piedras para facilitar

su colocación y dar mayor estabilidad a la obra. Siempre es necesaria la excavación de los empotrados. El dissipador se construye en todo lo largo del dique, con los mismos materiales. (Pizarro, T.R, Talca , 2003).

Figura N° 2.9:
Diques de piedra (mampostería en seco)



2.2.2.1.2 Dique de piedra con cemento (mampostería hidráulica) Es muy similar al tipo anterior, salvo por que las piedras se unen unas a otras con una mezcla de cemento y arena. Su costo es mayor en comparación con el anterior. Siempre se requiere de la excavación de los empotrados. El dissipador se construye del mismo material que el resto del dique. (Pizarro, T.R, Talca , 2003).

Figura N° 2.10:
Diques de piedra con cementeo (mampostería hidráulica)



2.2.2.1.3 Dique de postes impregnados y sacos de tierra. En este tipo de diques se usan polines de pino impregnados de 4 pulgadas. Los postes van enterrados y sujetos con clavos y alambre. Se construyen dos muros de polines firmemente unidos, y se rellena con sacos llenos de tierra. (Pizarro, T.R, Talca , 2003).

Figura N° 2.11:
Diques de postes impregnados y sacos de tierra

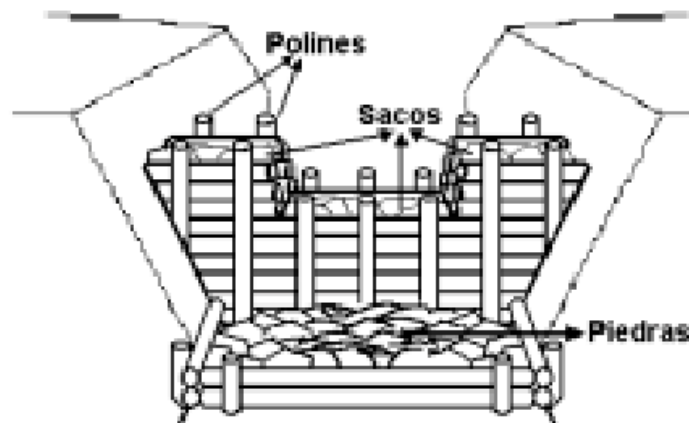


Figura N° 2.12:
Diques de rollizos de madera



2.2.2.2 Canales y diques

- El control y canalización de las aguas de escorrentía en la mayoría de las operaciones es un problema resuelto, en parte, mediante diques y canales. Las funciones de estas obras son: Evitar el paso de las aguas a áreas fuertemente erosionables y conducirlas de forma adecuada Reducir la longitud de las taludes para contemplar la resistencia a la erosión aportada por la vegetación. Impedir las acumulaciones de agua en superficies irregulares y/o cóncavas. Proteger las tierras bajas frente a la disposición de sedimentos.

Figura N° 2.13:

Revestimiento de canal en roca Diques



- Se trata de estructuras construidas con los propios estériles de la zona con el objetivo básico de la canalización de las aguas hasta balsas de decantación. Existen tres tipos principales de diques:
 - Diques de desviación
 - Diques de interceptación
 - Diques perimetrales

2.2.2.3 Pacas o pircas

Barreras de piedra o Pircas, Normalmente son usados en los toes o pie de taludes para reducir la velocidad del agua producto de la caída. Tienen la particularidad de retener gran cantidad de sedimentos.

Figura N° 2.14:
Pacas Barreras de piedra o Pircas



Figura N° 2.15:
Separación máxima en pircas



Cuadro N° 2.2 :
Separación máxima en pircas

Pendiente de Canal	2%	3%	4%	5%	6%
Separación Máxima (m)	30	20	15	12	10

2.2.2.4 Sangrias

- Son pequeños canales, que derivan las aguas provenientes de accesos y cunetas con la finalidad de reducir el flujo de sedimentos.

- En todo lo largo de la vía o acceso se recomienda abrir sangrías cada 60 a 150 metros, dependiendo del tipo de terreno y la pendiente.

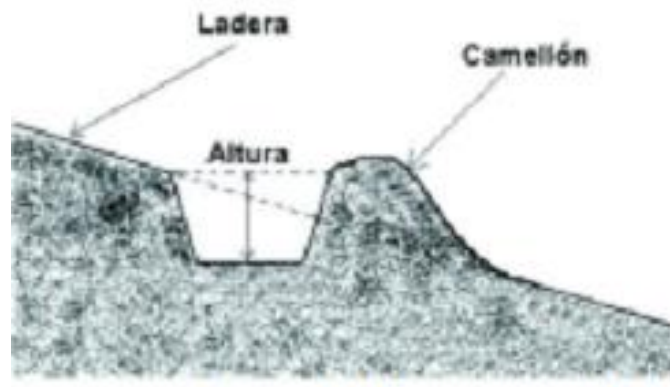
Figura N° 2.16:
Sangrias



2.2.2.5 Zanjas de infiltración

Las zanjas de infiltración son canales sin desnivel contruidos en laderas, los cuales tienen por objetivo captar el agua que escurre, evitando procesos erosivos de manto, permitiendo la infiltración del agua en el suelo.

Figura N° 2.17:
Vista transversal de una zanja en la ladera



Las zanjas de infiltración permiten los siguientes:

- Aumento de la capacidad de infiltración de agua en el suelo.
- Disminución de la esorrentía del agua.
- Disminución de los procesos erosivos.

Por otro lado, es importante enfatizar que la mantención de la zanja es imprescindible para aumentar su vida útil; esta mantención se refiere a la limpieza del material arrastrado por el agua. Efectos positivos de las zanjas de infiltración La aplicación de las técnicas de conservación de aguas y suelos, en las plantaciones de *Pinus radiata* (D.Don), aumenta la

eficiencia en la captura y retención de humedad, lo que conlleva a obtener crecimientos más rápidos y sostenidos en lugares en los cuales, no se esperarían estos resultados positivos (Pizarro, T.R, Talca , 2003).

Figura N° 2.18:
Zanjas de infiltración



2.2.3 Técnicas de bioingeniería

Se entiende por bioingeniería al uso de la vegetación para la estabilización de laderas, riberas de cursos de agua y el control de erosión hídrica y eólica en áreas críticas. Bioingeniería e ingeniería biotécnica son los términos hallados en la bibliografía. Conceptualmente se utiliza el término bioingeniería para referirse a aquellas técnicas que usan cualquier forma de vegetación, ya sea una simple planta o una colección de ellas como material de ingeniería (es decir aquel material que tiene características y comportamientos cuantificables). Ingeniería biotécnica se refiere a aquellas técnicas en las cuales la vegetación se combina con estructuras inertes, tales como muros de piedra o gaviones, de modo de combinar los beneficios estructurales de los componentes vegetativos y no vegetativos (Morgan y Rickson, 1995). En esta obra se utilizará el término bioingeniería para hacer referencia a ambos conceptos indistintamente.

2.2.3.1 Condiciones donde se aplican técnicas de bioingeniería

Las técnicas de bioingeniería se aplican para el control de la erosión hídrica y eólica en situaciones donde otras técnicas no garantizan eficiencia y efectividad. Las técnicas se aplican a situaciones como las siguientes:

- Estabilización y control de erosión en laderas en pendiente para construcción de caminos, terraplenes, embalses y desmontes recientes.

Figura N° 2.19:

Terraplén estabilizado con Geotextil con césped, arbustos y árboles



Figura N° 2.20:

20 Terraplén estabilizado con arbustos, árboles y ornamentales



Figura N° 2.21:

Terraplén en estabilización Con recubrimiento de tejidos, vegetación



Figura N° 2.22:
Terraplén ya estabilizado



Las técnicas de bioingeniería en estas situaciones permiten soluciones efectivas y sustentables, tanto desde el punto de vista económico como ambiental, ya que son tecnologías dinámicas y de acción creciente por el propio desarrollo del vegetal con el transcurrir del tiempo, están integradas al paisaje por la misma vegetación, permiten una mejora visual del sitio y aseguran su perdurabilidad y estabilidad. No obstante para su aplicación es necesario entender la dinámica de los procesos a estabilizar y las propiedades de la vegetación, en relación a los procesos de estabilización desestabilización de suelos y laderas sobre las que se actúa.

2.2.3.2 Propiedades ingenieriles de la vegetación

La vegetación ejerce su influencia estabilizadora de los materiales del suelo a través de la acción de la porción viva y muerta superficial (tallos, hojas, residuos) como subterránea (raíces, materia orgánica humificada, etc.). Los efectos de la vegetación son múltiples y pueden resumirse en el conjunto de propiedades que se indican en la Tabla 2.3.

Cuadro N° 2.3 :

Propiedades modificadas por la vegetación utilizadas en las técnicas de bioingeniería (Modificada de Styczen y Morgan, 1995).

Propiedades del suelo		
Hidrológicas	Hidráulicas	Mecánicas
Evapotranspiración Intercepción Infiltración Esgurrimiento Flujo subsuperficial	Rugosidad superficial Velocidad del agua	Resistencia a la tensión Resistencia al corte Cohesión-adhesión Agregación Raíces en cuña Anclaje y arqueado del suelo Sobrepeso

Según Anaya (1977), define a las prácticas vegetativas, como aquellas que consideran el desarrollo de plantas o cultivos con la finalidad de mejorar la capacidad productiva de los terrenos y ayudará a disminuir la erosión del suelo. La forma en que la vegetación impide

el efecto erosivo es la siguiente: el follaje de las planta amortigua la fuerza del impacto de las gotas de lluvia que caen sobre a la superficie del suelo y sus raíces sirven para evitar que este sea arrastrado después del impacto, por el escurrimiento superficial.

Cuadro N° 2.4 :

Sumario de técnicas de bioingeniería para control de erosión en áreas críticas.

Técnica de bioingeniería	Función/Ubicación	Tipo de vegetación utilizada
Fajas buffer	Control de descarga de sedimentos y contaminantes. Márgenes de ríos y arroyos, bordes de canales de desagüe empastados, cabeceras de lotes.	Herbácea, arbustiva.
Fajas forestales de riberas	Control de erosión en márgenes de ríos y arroyos. Control de sedimentos y contaminantes. Protección de biodiversidad.	Combinada: herbácea, arbustiva, arbórea.
Canales de desagüe	Conducción de escurrimiento, control de cárcavas.	Herbácea
Forestación de cárcavas	Control de erosión del piso de cárcava.	Arbórea, arbustiva.
Rastrillos de retención	Control de erosión de cabecera y piso de cárcava, captura de sedimentos y contaminantes.	Arbustiva, herbácea.
Estacas vivas	Control de erosión en laderas, márgenes de ríos y arroyos.	Arbórea.
Atado de ramas vivas	Control de erosión en laderas, márgenes de ríos y arroyos.	Arbórea, arbustiva.
Colchón de ramas	Control de erosión en laderas, márgenes de ríos y arroyos.	Arbustiva.
Capa de ramas y estacas vivas	Control de erosión en laderas, márgenes de ríos y arroyos.	Arbustiva.
Gavión de roca vegetado	Control de erosión en laderas, márgenes de ríos y arroyos.	Gavión, arbustiva
Pared de piedra vegetada	Control de erosión en laderas, márgenes de ríos y arroyos.	Gavión, arbustiva
Capa de rocas y estacas vivas	Control de erosión en laderas, márgenes de ríos y arroyos.	Roca, arbórea, arbustiva.
Espigones	Estabilización de márgenes de ríos y arroyos.	Arbórea, arbustiva, gavión, rocas.
Revestimientos de orilla	Estabilización de márgenes de ríos y arroyos.	Mantas, geotubos, herbácea, arbustiva.

2.2.4 Disipadores de energía de agua

Uno de los aspectos que generalmente merece especial atención en el diseño de obras hidráulicas es la disipación de la energía cinética que adquiere un flujo en su descenso. Esta situación se presenta en vertederos de excedencias, estructuras de caída, desfogues de fondo, bocatomas, salidas de alcantarillas, etc.

La disipación de la energía cinética puede lograrse aplicando diferentes medidas, a saber:

Generación de resalto hidráulico, impacto o incremento de la rugosidad.

La estructura disipadora de energía es una parte importante de la obra de excedencia que tiene por objeto disipar la energía cinética que el agua adquiere en su caída desde el vaso hasta un sitio adecuado en el fondo del cauce, donde no genere problemas de erosión o socavación. Estas estructuras se diseñarán para que el agua, que sale del canal de descarga, se aleje lo máximo posible, dentro de lo económico, de la cortina o de alguna estructura complementaria. El tipo de disipador de energía que se diseñe depende de la clase de material que se tenga en el sitio en que se puede descargar la avenida. Cuando se tenga roca sana, se puede descargar el agua directamente del vertedor, en régimen rápido, sin necesidad de pasar a régimen tranquilo, siempre que no vaya a causar problema a la pequeña presa o bordo de almacenamiento. Si el material es erosionable, se diseña un tanque amortiguador de sección transversal rectangular, hecho de mampostería o concreto armado.

Se debe estar consciente, que una falla en el diseño, instalación u operación de los disipadores puede llevar a problemas como socavación, erosión o retención de material, que pueden terminar produciendo la falla del vertedero y posteriormente la falla de la presa.

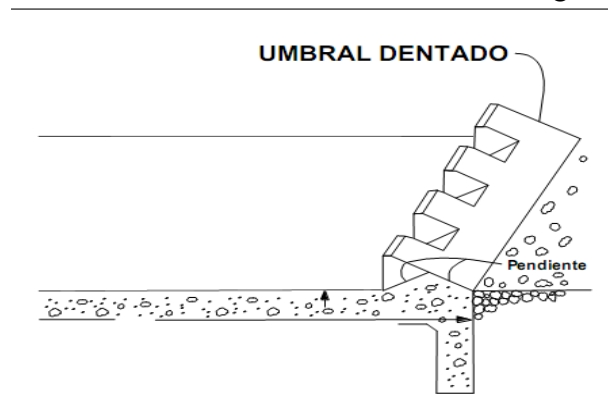
2.2.4.1 Canales dentados

Los canales dentados están provistos de accesorios especiales, incluidos bloques, umbrales y pilares deflectores. Este tipo de lozas dentadas, para canales o descarga de vertedores, se usa en canales donde el agua debe bajarse de una elevación a otra, para impedir aceleraciones inconvenientes del flujo a medida que el agua avanza por el vertedero. El canal puede diseñarse para descargas hasta de 5.5 m³/s por metro de ancho y la caída puede ser tan grande como sea estructuralmente factible. Con la losa, el agua llegará al pie del vertedero con una velocidad relativamente baja y no requerirá un colchón hidráulico amortiguador.

2.2.4.2 Canales con remates dentados

Los umbrales dentados a menudo se colocan al final del canal de entrega (Figura 2.20). Su función es reducir además la longitud del resalto y controlar la socavación. Para canales largos, diseñados para altas velocidades de entrada, el remate o umbral - por lo general - es dentado, para llevar a cabo la función adicional de volar la parte residual del chorro de alta velocidad que puede alcanzar el extremo del canal de salida.

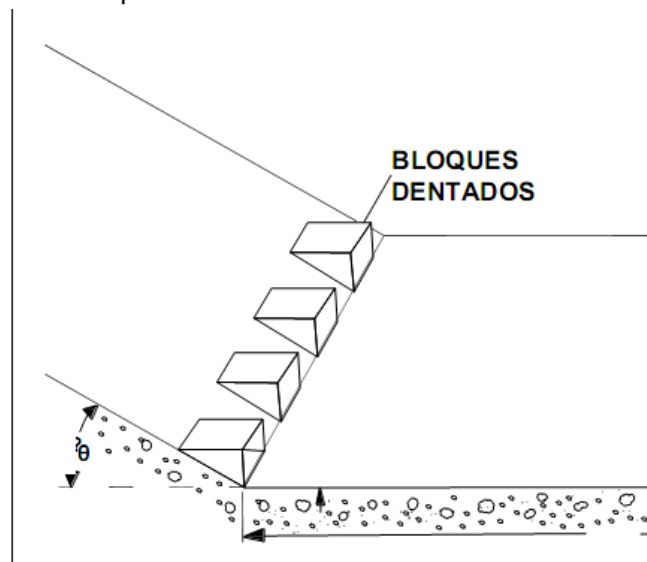
Figura N° 2.23:
Umrales a la salida del canal de entrega



2.2.4.3 Canales con bloques

Los bloques en la rápida se utilizan para conformar una estructura dentada a la entrada del canal de entrega. Su función es dividir el chorro de entrada y elevar una parte de él desde el piso, produciendo una longitud de salto más corta que la que sería posible sin ellos. Estos bloques también tienden a estabilizar el resalto y por consiguiente a mejorar su comportamiento (Figura 2.24).

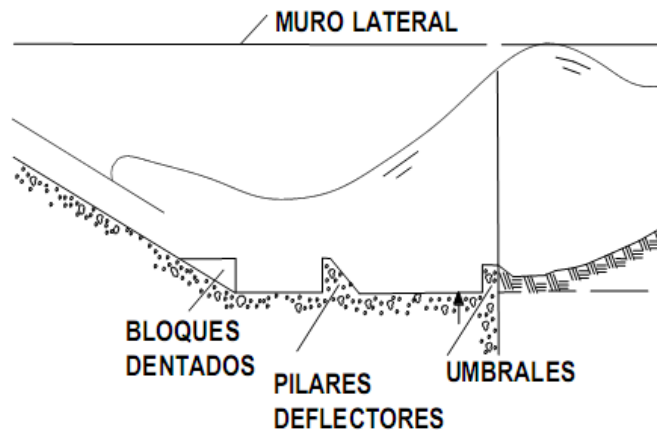
Figura N° 2.24:
Bloques a la entrada del colchón hidráulico



2.2.4.4 Canales con pilares deflectores

Son bloques localizados en posiciones intermedias sobre el piso del canal de entrega (Figura 2.25). Su función es disipar la energía principalmente mediante una acción de impacto. Los pilares deflectores son muy útiles en pequeñas estructuras con velocidades de entrada bajas.

Figura N° 2.25:
Pilares deflectores en el canal de entrega



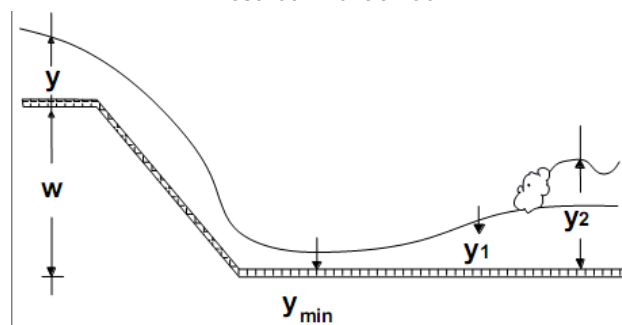
2.2.4.5 Estanques amortiguadores

Los estanques amortiguadores tienen su aplicación en vertederos de excedencias, rápidas y estructuras de caída libre. En ellos la energía se disipa por medio de choque ya que el agua cae libre y verticalmente en un estanque en el lecho del río. Debido al gran poder erosivo del agua, se tiene que revestir el cauce y sus paredes con rocas o concreto. De todas maneras los materiales sufren mucho desgaste por el constante choque por lo que se debe hacer un mantenimiento periódico.

Un estanque amortiguador se hace necesario cuando no es posible lograr la disipación de energía deseada de manera natural, es decir, cuando el tirante conjugado necesario es mayor al tirante existente aguas abajo. En esos casos se considera la alternativa de forzar a la disipación a través de un estanque artificial, obligando el desarrollo del resalto hidráulico en un tramo lo más corto posible. Para este propósito, serán necesarias obras complementarias que permitan proteger el perímetro mojado de la zona de mayores velocidades.

Al pie de la caída se presenta el tirante mínimo y_{\min} y por lo tanto la energía específica máxima (Figura 2.26). Si $y_{\min} = y_1$, para la formación del resalto hidráulico será necesario contar con un tirante conjugado y_2 , que deberá desarrollarse por efecto de las condiciones de escurrimiento existentes aguas abajo ($y_2 \cong y_{ab}$).

Figura N° 2.26:
Resalto hidráulico



Para $y_{\min} < y_1$. Si $y_{ab} < y_2$, el resalto hidráulico no se formará en la sección 1, sino que por efecto de su energía cinética, la zona de régimen supercrítico se desplazará aguas abajo, hasta encontrar un tirante que sea próximo al tirante conjugado. Sin embargo, es posible que la zona de régimen supercrítico tenga una longitud mayor a la máxima establecida por los criterios adoptados para el proyecto. Para incrementar el tirante de aguas abajo existen varias posibilidades: 1) profundizar el piso o construir un travesaño de fondo, 2) incrementar la rugosidad de la loza de fondo, 3) reducir el ancho de la sección, 4) reducir la pendiente de la loza de fondo. En las Figuras 2.26 y 2.27 se presentan la primera y la segunda posibilidad.

2.2.4.6 Diseño de un colchón hidráulico

La profundización del piso, en la zona del canal de entrega, determina el incremento de la altura de caída en la estructura y en consecuencia un menor tirante y_{\min} (y_1) y un mayor tirante conjugado y_2 . Con la profundización del lecho, en el colchón hidráulico, no solo se presenta una compensación geométrica del déficit de altura, en el tirante aguas abajo, sino que la confinación del resalto hidráulico genera una mayor intensidad de choques entre las partículas de agua, contra las paredes laterales y principalmente contra la pared frontal del colchón.

Figura N° 2.27:
Colchón hidráulico profundizando el nivel de piso

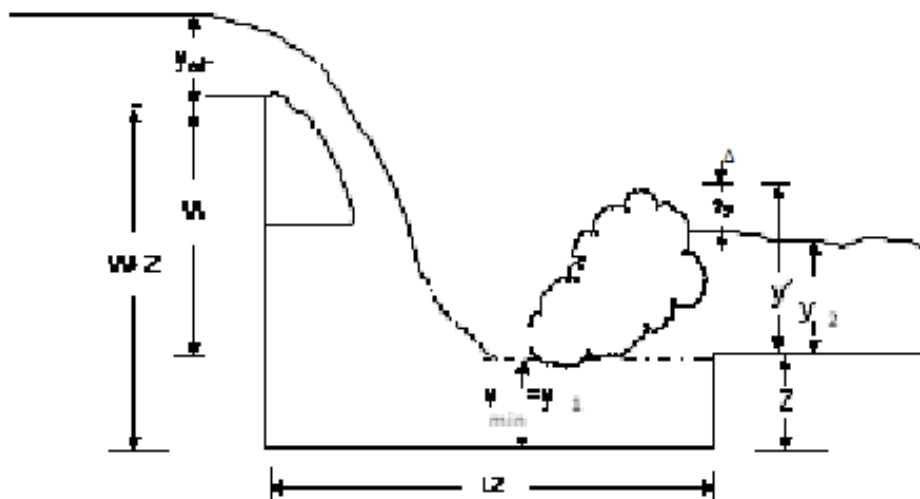
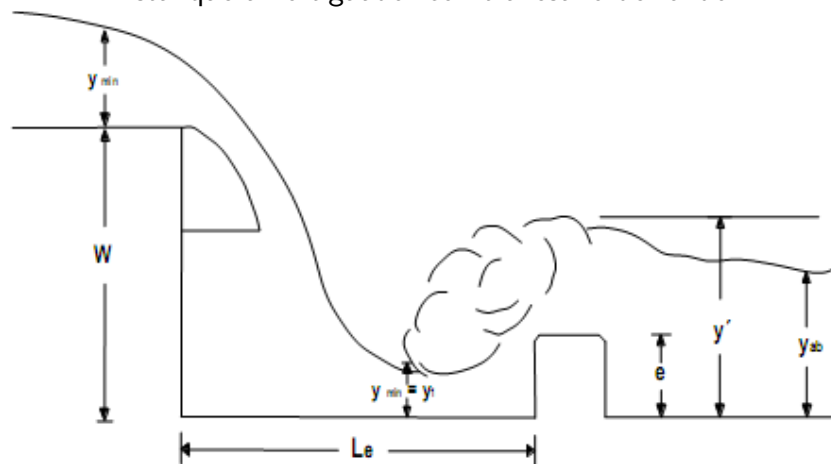


Figura N° 2.28:

Estanque amortiguador con travesaño de fondo



2.2.4.6.1 Dimensionamiento de un colchón hidráulico Para obtener las dimensiones del tanque amortiguador (tipo colchón hidráulico) se aplica el procedimiento siguiente.

Gasto Unitario (q). Con los valores de avenida de diseño (Q) y la longitud de cresta (L), se obtiene el gasto unitario por metro de longitud de cresta con la relación siguiente:

$$q = \frac{Q}{L} \quad (6)$$

Tirante conjugado menor. Se propone un valor para el tirante conjugado menor (y_1), mismo que se verifica dentro de los cálculos.

Altura Total de Caída (Z). Se propone la elevación del piso del canal de descarga y la profundidad se define con la altura del cimacio desde su cresta hasta el piso del tanque amortiguador, y se calcula:

$$Z = H_a - a - y_1 \quad (7)$$

En la que:

Z = Altura total de la caída, m.

a = Altura del cimacio desde su cresta hasta el piso del tanque amortiguador, m.

y_1 = Tirante conjugado menor propuesto, m.

Velocidad al pie del cimacio. Se calcula la velocidad (V_1) del agua de la sección del tirante conjugado menor (y_1), como se muestra:

$$V_1 = \sqrt{2gZ} \quad (8)$$

El tirante conjugado menor (y_1) se obtiene con la siguiente ecuación:

$$y_1 = \frac{q}{V_1} \quad (9)$$

Verificación. El valor obtenido para y_1 debe ser aproximadamente igual al propuesto en el punto 2; de no ser así, se propone otro tirante y_1 y se vuelve a calcular hasta obtener la igualdad indicada.

Ajuste al número de Froude. Este tirante se revisa mediante el cálculo del número de Froude de acuerdo con la ecuación (10) debiendo obtenerse un valor entre 4.5 y 9.0; de no ser así, se propone otra profundidad del tanque amortiguador o sea que se incrementa el valor de (a) y se repite el proceso hasta obtener el número de Froude especificado (Figura 2.29).

$$F_{r1} = \frac{V_1}{\sqrt{gy_1}} \quad (10)$$

Tirante conjugado mayor (y_2). Con el valor de y_1 aceptado se calcula el valor del tirante conjugado mayor (y_2) con la ecuación:

$$y_2 = \frac{2y_1V_1^2}{g} + \frac{y_1^2}{4} + \frac{y_1}{2} \quad (11)$$

Donde: y_2 = Tirante conjugado mayor, m.

Figura N° 2.29:
Salto hidráulico, de acuerdo al número de Froude



- La longitud del tanque amortiguador. La longitud (LT) del tanque amortiguador se obtiene aplicando la relación:

$$LT = 5(y_2 - y_1) \quad (12)$$

Profundidad del tanque amortiguador con régimen uniforme en el canal de descarga. La profundidad (p) del tanque amortiguador se obtiene con la expresión siguiente:

$$p = 1.15y_2 \quad (13)$$

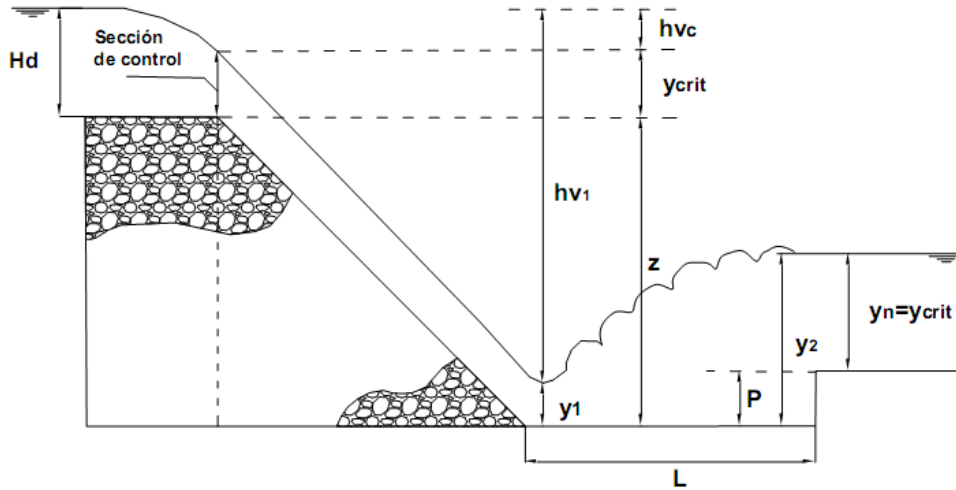
En la que:

p = Profundidad del tanque, m.

y_0 = tirante normal de escurrimiento en el canal de descarga, m (tirante del río) si no se cuenta con y_0 se usa el y crítico del río, para el cual se calcula de la siguiente forma:

$$y_{crit} = \sqrt{\frac{Q^2}{L^2g}} \quad (14)$$

Figura N° 2.30:
Variables que intervienen en el diseño de un colchón hidráulico



Salto de esquí

Se utiliza para grandes descargas, principalmente en los vertederos. Ésta se hace directamente sobre el río. Se utilizan unos trampolines para hacer saltar el flujo hacia un punto aguas abajo reduciendo así la erosión en el cauce y el pie de la presa. La trayectoria del chorro depende de la descarga, de su energía en el extremo y del ángulo con el que sale del trampolín. Su funcionamiento se ve con la formación de dos remolinos uno en la superficie sobre el trampolín y el otro sumergido aguas abajo; la disipación de la energía se hace por medio de éstos.

La trayectoria del chorro de descarga puede calcularse con la ecuación:

$$y = x \tan \alpha - \frac{x^2}{3.6(d + hv) \cos^2 \alpha} \quad (15)$$

Donde:

x, y = Coordenadas de un sistema cartesiano con origen en el labio de la cubeta.

α = ángulo que forma el labio de la cubeta con la horizontal.

Se recomienda que el ángulo de salida a no sea mayor de 30° . Además, con objeto de evitar presiones en la plantilla, los radios de la cubeta deben ser grandes; se sugieren las siguientes condiciones:

$$R \geq 5d \quad (16)$$

$$R \geq 0.043dv^2 \quad (17)$$

Donde:

R = Radio de la cubeta deflectora, m.

d= Tirante a la salida, m.

v= Velocidad de salida, m/s.

La profundidad límite del pozo de socavación se puede calcular con las ecuaciones de Veronese, 1983:

$$ds = 1.9H_t^{0.025}q^{0.54} \quad (18)$$

Donde:

ds = Profundidad máxima de socavación abajo del nivel de aguas del remanso, m.

Ht = Caída desde el máximo nivel del chorro hasta el nivel de remanso, m.

q = Gasto unitario, m³/s.

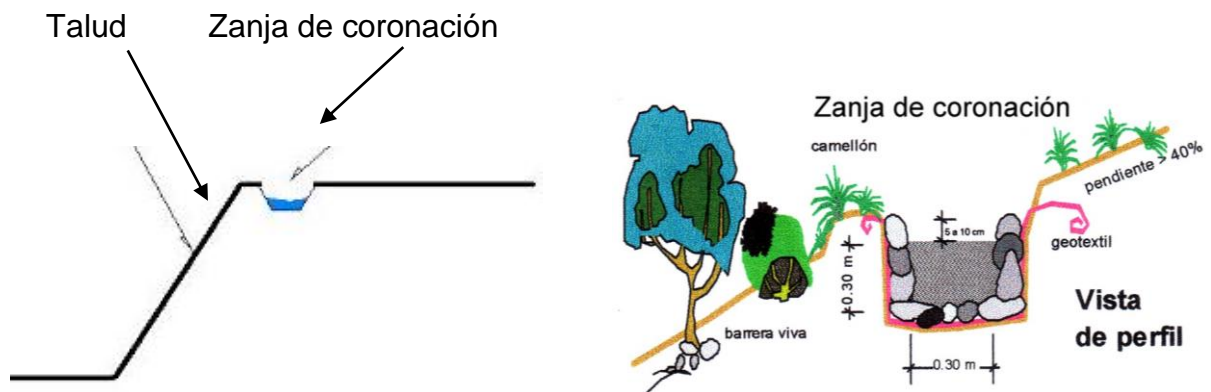
2.2.5 Cunetas de coronación

Las cunetas o zanjas de coronación son canales que se construyen para desviar el agua que se escurre sobre la superficie y consecuentemente para evitar la erosión del terreno, especialmente en zonas de mucha pendiente o donde se ha efectuado el corte del terreno para la instalación de alguna estructura (unidad de captación, reservorio, etc.).

- Normalmente son de forma rectangular, pero también pueden ser trapezoidales, si se requiere un mayor tamaño.
- Deben estar ubicadas en la parte superior del corte del terreno o alrededor de la estructura, en forma circular o recta (transversal a la escorrentía), según sea necesario.
- Es importante sembrar especies nativas a ambos lados de la cuneta (Fig. 2.28) para evitar que el agua erosione bajo la cuneta y ésta se azolve con sedimentos.
- Si la pendiente es mayor que 2% (desnivel de 2 cm por cada metro de canal), es necesario que el canal tenga recubrimiento de concreto simple o enrocado. Para pendientes mayores, las zanjas deben ser escalonadas con emboquillado de piedra bajo la caída.

http://cidbimena.desastres.hn/docum/ops/libros/ImpactoDesastresAguaRural/ImpactoDesastresAguaRural_cap4

Figura N° 2.31:
Zanja de coronación



2.2.6 Hidrotécnia y cauce.

La corrección torrencial está orientada a controlar procesos en el lecho y las márgenes. El dinamismo torrencial aparece ligado a la tensión tractiva τ , que arranca y transporta acarreos, dada por:

$$\tau = \gamma_w RI$$

Donde γ_w es el peso específico de la corriente, R el radio hidráulico e I la pendiente o gradiente hidráulico (línea de energía). A esa tensión τ se oponen los materiales con su peso, inercia, fricción, etc., generando una resistencia dada por la tensión crítica τ_c :

Fórmula de Meyer-Peter y Muller

Dichos investigadores experimentaron en laboratorio con materiales de diferentes densidades relativas, $1.25 < S_s < 4.20$, tanto de granulometría uniforme como no uniforme, en los que el tamaño de las partículas osciló entre 5.05 mm y 28.6 mm. Con base en sus resultados, obtuvieron una ecuación que puede expresarse adimensionalmente en la forma típica del parámetro de Shields, es decir:

$$\frac{\tau_c}{(\gamma_s - \gamma) D_m} = 0.047 \quad (19)$$

Según Meyer-Peter y Müller, la τ_c 19 rige en cualquier tipo de régimen, o sea para cualquier valor de número de Reynold. Si se desea expresar τ_c en N/m^2 , considerando que γ_s y γ en N/m^3 y que D_m en mm, la ec 19 toma la forma:

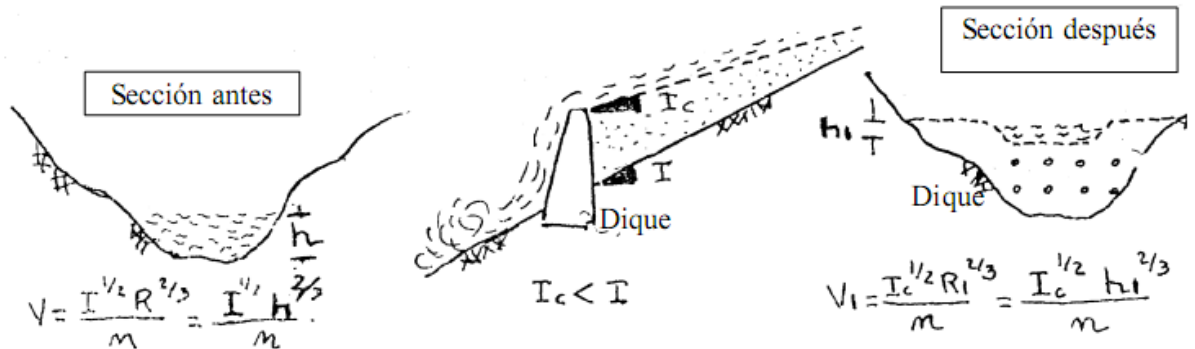
$$\tau_c = 4.7 \times 10^{-5} (\gamma_s - \gamma) D_m \quad (20)$$

2.2.6.1 Control vertical y pendiente de compensación τ_c

Cuando $\tau > \tau_c$, los lechos descienden y los macizos adyacentes se desestabilizan. Así, las obras transversales ofrecen soluciones simples y eficaces. Estas obras forman diques de

consolidación, a modo de presas. Sea R el radio hidráulico y n el coeficiente de rugosidad (1/C)

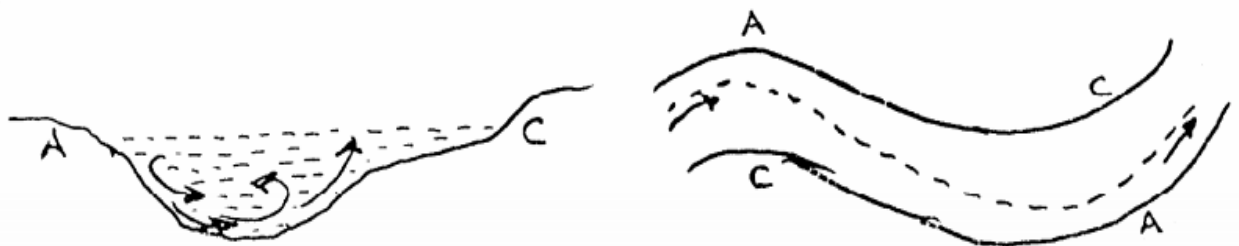
Figura N° 2.32:
Corrección de la pendiente de un cauce



2.2.6.2 Control horizontal

La rectificación del eje hidráulico procede cuando caudales circundantes con tensiones tractivas que superan las tensiones resistentes del contorno. El fenómeno de erosión y sedimentación es normal en cuerpos de agua con un régimen fluvial o semifluvial, y se presenta en tramos donde la fuerza centrífuga que tiene el agua, en las curvas sobreexcava la superficie libre externa de las curvas del cauce.

Figura N° 2.33:
Dinámica horizontal de un cauce



El proceso no logra equilibrar las tensiones totalmente, en razón a que el fenómeno de erosión y sedimentación hace inestables los meandros y obliga a la ejecución de obras longitudinales para el control horizontal de la tensión tractiva sobre las márgenes. Sólo en casos limitados proceden las obras transversales para fijar el lecho.

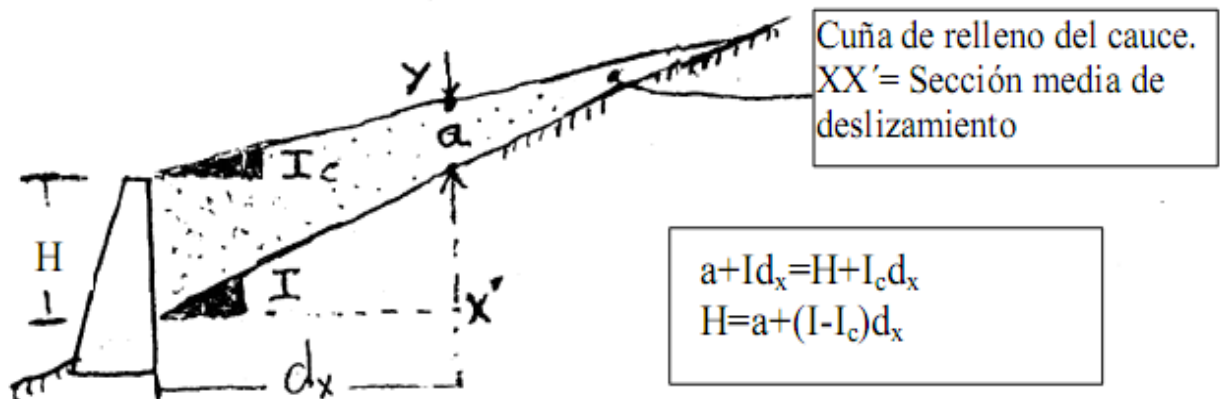
La protección de márgenes puede conseguirse con barreras continuas resistentes a la erosión, como muros rígidos (hormigón, mampostería hidráulica), muros flexibles (mampostería gavionada), revestimiento con materiales de mayor diámetro que los del lecho o mediante plantaciones y recubrimientos vegetales.

Los espigones transversales, también, por que generan espacios de sedimentación donde antes la corriente erosionaba, aunque debe considerarse el incremento de la velocidad de la corriente global por reducción de la sección útil del cauce, e incremento del radio hidráulico R. El centro del cauce queda amenazado de erosión.

Diques de retención. Se emplazan aguas arriba de la zona de daños, aprovechando gargantas estrechas de la vaguada, o en ensanchamientos, para construir trampas de sedimentos.

Diques de consolidación. Para consolidar las laderas marginales se construyen diques emplazados de tal manera que en la sección transversal media del deslizamiento, la altura de la cuña de relleno, a , sea suficiente para contener la ladera.

Figura N° 2.34:
Diques de consolidación



Dique de retención: Su altura compromete las terrazas cultivadas. Dique de contención: Su altura colabora a estabilizar una ladera, gracias a la cuña sedimentada.

CAPÍTULO

III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Materiales.

3.1.0.1 Área de estudio

Quebradas Arroyo Seco, Prolongación San Martín y Yanaccacca

3.1.0.2 Instrumentos

Ordenador Se ha dispuesto de un ordenador portátil de las siguientes características:

Procesador: Intel (R) Corel (TM) i7-3610QM CPU @2.30 GHZ

Memoria Instalada (RAM): 6.00 GB

Tipo de sistema: Sistema operativo de 64 bits

Programas Informáticos

Sistema operativos: Windows 7 ultimate

Mocrosoft Oficce: Word, Excel, Power Point y Autocad 2014

Impresora: Canon G3000 series printer

Camara digital: 8.00 pixels

Pluviómetro: Vantage PRO2, con sensors integrados de lluvia, temperature y humedad, con transmisión inalámbrica de la estación a la consola hasta 300m.

Consola: Vantage PRO2.

GPS Sistema de Posicionamiento Global: GPS map 76CSx

Nivel automático: Sokkia B40

Vernier

Cinta métrica

Flexómetro

Balanza digital

Probeta

Infiltrómetro de cilindro concéntrico

Baldes: 5lt.

Pala Pico y combas.

Martillo

Estaca metálicas y de madera

3.2 Metodología.

De manera general, los métodos utilizados son:

Método Analítico: Porque se realiza un proceso de conocimientos que se inicia con la identificación de las estructuras de control de erosión existente en las quebradas del cerro la picota y se caracterizan una realidad. De esta forma se establece la relación causa – efecto entre los elementos que componen el objeto de investigación y permite plantear una solución al control de erosión hídrica.

Método Inductivo: Puesto que se basó en la formulación de conclusiones partiendo de los hechos que se suscitaron y observaron en el lugar de estudio con el propósito de la recopilación de datos.

Método Deductivo: Porque se logró inferir lo observado en el lugar de estudio a partir de un registro o historial de precipitaciones pluviales.

3.3 Nivel y tipo de investigación.

3.3.1 Nivel de Investigación

De acuerdo a la naturaleza del presente trabajo, reúne por su nivel las características de un estudio exploratorias, descriptivas, explicativas y experimentales.

Exploratoria: Porque en el presente trabajo se hizo inicialmente un reconocimiento del terreno y estar en contacto directo con la realidad de la zona de estudio, se recogió información y muestras respectivas para el diagnóstico.

Descriptiva: Porque nos dice y refiere sobre las características, propiedades, rasgos esenciales de la zona de estudio, hechos y fenómenos de la realidad, en un momento y tiempo histórico concreto y determinado.

Explicativa: Porque en el presente trabajo se conoce y da a conocer las causas o factores de la erosión y se da la alternativa de control de erosión hídrica.

Experimental: En este nivel se aplica para estimar la erosión de suelo en el área de estudio con el método directo que son las estacas que permitió observar directamente las degradaciones y agradaciones de suelo.

3.3.2 Tipo de Investigación

Por el tipo de investigación, el presente trabajo reúne las condiciones metodológicas de una investigación aplicada, prospectiva y correlacional.

Aplicativa: En razón que se utilizaron conocimientos de la ingeniería, a fin de aplicarlas en el proceso de estimación de erosión hídrica y diseño de estructuras de control de erosión hídrica.

Prospectiva: Se tiene proyectado la erosión hídrica futura con el control de erosión hídrica planteado.

Correlacional: Se evaluó más de dos variables para estimar la erosión hídrica con la ecuación universal, como son factor precipitación, factor suelo, factor pendiente y longitud, factor cobertura vegetal y factor práctica de conservación.

3.4 Técnicas de recolección de datos

Las principales técnicas de recolección de datos que se utilizan en la investigación son:

- Mediciones directas como es de niveles del terreno con nivel automático, longitudes de cauce con cinta métrica, altura de degradación o agradación con vernier al pie de cada estaca instalada, tiempo de infiltración del agua mediante cilindros infiltrómetros y datos de precipitaciones el año 2015 mediante un pluviómetro.
- Copiar datos de registro de precipitaciones de SENAMHI.
- Observaciones directas a diques existentes, áreas con vegetaciones existentes.
- Toma de muestra de suelos de diferentes puntos del área de estudio con pala y pico, el cuarteo respectivo e introducir a bolsas de plástico.

Figura N° 3.1:
Levantamiento topográfico



Figura N° 3.2:
Medida de altura libre de estacas



Figura N° 3.3:
Observación directa en zona de estudio y toma de datos de precipitaciones del día



Figura N° 3.4:
Tiempo de infiltración y tomas de muestras de suelos



3.5 Análisis de datos

Una vez recolectada los datos de campo y registro de precipitación de SENAMHI se procede a analizar los datos del levantamiento topográfico y con dibuja las curvas de nivel con el autocad, las pendientes promedias, se delimita las zonas críticas y se determinan sus áreas, perímetro y longitud de curso mayor.

Los datos obtenidos registros de precipitaciones de SENAMHI son analizados en la que se eligen los valores de las precipitaciones máxima anual y con el modelo de Bell y Yance Tueros se determina las intensidades máximas de 24 horas y con este valor el índice de erosividad de la lluvia anual.

Los datos obtenidos de muestra de suelos se introduce en botellas que contiene agua salada que en 24 horas se forman estratos de arena, arcilla, limo y material orgánico analizando los espesores y con ayuda de ábaco se obtiene el índice de erosividad del suelo, así mismo parte de la muestra de suelo se somete a un tamizado determinando las curvas granulométricas y con esta determinar el diámetro medio, así mismo con la masa de suelo y volumen respectivo se tiene la densidad de suelo permitiendo calcular el esfuerzo de corte crítico y las dimensiones de los diques.

Los datos de tiempos de infiltración en los cilindros y descenso de nivel de agua en los tiempos respectivos fueron ajustados con el método de mínimos cuadrados que permitió el cálculo de la velocidad de infiltración en las zonas de estudio y así el diseño de las zanjas de infiltración.

Las quebradas de Arroyo Seco, Prolongación San Martín y Yanaccacca se sub dividieron en sectores menores para su mayor precisión de cálculo de caudales, pendientes promedios, longitud de curso mayor y tiempo de concentración.

CAPÍTULO IV

ESTUDIO DE CASO

4.1 Descripción y diagnóstico del ámbito de estudio

4.1.1 Generalidades

El presente trabajo de tesis constituye un planteamiento para el control de erosión hídrica de las quebradas del Cerro la Picota, Distrito de Ayacucho, Provincia de Huamanga-Ayacucho.

Uno de los problemas ambientales de mayor relevancia en nuestro país es la erosión, afectando alrededor de un 50% de la superficie nacional, en este contexto adquiere relevancia el ordenamiento de los recursos naturales que tienen relación con los subsidios para actividades de recuperación y conservación de suelos en la unidad hidrográfica, este instrumento permitirá en cierto grado mitigar las precarias condiciones de los suelos del país.

Para que se cumpla satisfactoriamente este objetivo es necesario de adecuado conocimiento de los factores que determinen la erosión (pendiente, precipitaciones, características edáficas, cobertura vegetal) y como éstos afectan o determinan los procesos erosivos, siendo transcendental una correcta identificación de éstos en el terreno donde se realizará el plan de conservación de suelo y las obras de protección. Es importante además, conocer opciones técnicas que se disponen y bonifican, tipos de obras y su funcionalidad en forma particular (ejemplo: controlar la escorrentía superficial, estabilizar terreno erodables). Para una adecuada implementación en terreno de estas obras se necesita contar con herramientas de diseño que permitan con bases técnicas desarrollar un plan de conservación de suelo y obras hidráulicas de protección, debiéndose poner especial cuidado en el diseño de aquellas

obras de conservación cuyo objetivo sea el de controlar la escorrentía superficial, ya que es éste elemento el principal causante de la erosión, siendo altamente variable inclusive dentro de una misma unidad hidrográfica, debido a que sus características (velocidad, arrastre de material, y por ende su poder erosivo) dependerán de varios factores.

4.1.2 Diagnóstico del Problema

- Se efectuó el Inventario de Obras de Conservación, Protección en las quebradas de Arroyo seco, Prolongación San Martín y Yanaccacca la cual se resumen en el cuadro N° 4.1

Cuadro N° 4.1 :
Inventario de obras de conservación

UNIDAD HIDROGRÁFICA	DIQUES de muro seco (UND)	DIQUES de mampostería de Piedra (UND)	CANAL SIN REVESTIR (M)	MUROS DE CONTENCIÓN (UND)	ZANJAS DE CORONACIÓN (M)
Arroyo seco	24	02	90	2	180
Prolongación San Martín.	62	04	250	1	235
Yanaccacca	20	1			

Figura N° 4.1:
Diques de muro seco



Figura N° 4.2:
Canal sin revestir



Figura N° 4.3:
Diques de mampostería de piedra



Figura N° 4.4:
Zanja de coronación



Existen en mayoría diques transversales contruidos de manera artesanal con muro seco de piedra inadecuadamente distribuidos y en regular condiciones, los canales sin revestir se encuentran colmatados con material sólido producto de la erosión de las partes altas, las zanjias de coronación se encuentran inadecuadamente contruidos y en malas condiciones.

4.1.3 Caracterización del Problema

En la Ley 64-00, Ley General de Medio Ambiente y Recursos Naturales se puede observar que tanto en los títulos III y IV de los recursos naturales y de las aguas, los grandes ausentes

son los términos Erosión y Sedimentación.

Es por ello que se utiliza los criterios técnicos que permiten reconocer las categorías o grados de erosión, expuestos en el artículo 21° de las disposiciones de las normas técnicas reglamentarias del D.L. 701-Chile, en la que se identifican el o los grados de erosión presentes en la zona de estudio, zonificándolos por áreas homogéneas y representándolas en la fotografía aérea. Determinando las causas y efectos que provocan los problemas detectados (escorrentía superficial, flujos hídricos del cauce o de la cárcava, etc.), de esta manera se dispone de criterios indispensables, en la determinación óptima de las obras de conservación a utilizar, y su correspondiente distribución espacial, de acuerdo a objetivos prioritarios de protección, en relación del recurso a conservar y la magnitud de la protección ejercida por cada obra.

4.1.4 Organizacional

La sede de la Administración Local de Agua Ayacucho es la ciudad de Huamanga; administrativamente se encuentra dividida en (2) unidades hidrográficas Socos y Huamanga.

4.1.5 Recursos Naturales

La unidad hidrográfica de la quebrada La Picota está ubicada en la margen izquierda del río Alameda que en la actualidad debido al expansionamiento al crecimiento demográfico poblacional en estos últimos años de la ciudad de Huamanga ha permitido formar nuevos asentamientos humanos en el ámbito del Cerro La Picota en donde los años de los 90 y 2000 las áreas de cultivo han sido reducidas como las áreas de expansión interna que eran cubiertos por tunales, pastos y arbustos como la tuna, molle, eucalipto, pino radiata, cabuya, etc.

4.1.6 Inventario de Obras Conservacionista Existentes

No se cuenta con un inventario de Infraestructura de obras conservacionista actualizado que permita conocer su estado real; la Administración Local de Agua Ayacucho ha elaborado esquemas hidráulicos y rutas de drenaje en algunas Centros Poblados, estableciéndose que para las quebradas de la parte alta del Cerro La Picota desembocaba un total de 05 quebradas principales hacia el río Alameda, en las quebradas Arroyo Seco, Prolongación San Martín, Alto Perú, Yanaccacca, Pisco Tambo y Accopampa al río Alameda y quebrada Puracuti. Como las quebradas Arroyo Seco, prolongación San Martín, Alto Perú y Pisco Tambo actualmente desembocan a la cuneta principal de la vía Los Libertadores.

4.2 Ubicación y demarcación de las unidades hidrográficas

4.2.1 Ubicación Geográfica

La Cuenca del Cerro La Picota incluye a la región de Ayacucho, forma parte del sistema hidrográfico de la vertiente del Atlántico, se encuentra ubicada entre las coordenadas UTM Datum WGS 84:

Cuadro N° 4.2 :
Coordenadas UTM de Unidades Hidrográfica

UNIDAD HIDROGRÁFICA	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD (msnm)	OBSERVACION
Arroyo seco	582316 E	8545852 N	2996.00	Puca - Puca
Paraíso I	582039 S	8545350 N	3059.00	San Martín
Paraíso II	582691 E	8545168 N	2824.00	San Martín
Alto Perú	582843 E	8545347 N	2813.00	San Martín
Yanaccacca	583036 E	8545181 N	2992.50	Dren Quinua
Piscotambo I	582970 E	8545785 N	2787.00	Dren Quinua
Piscotambo II	583085 E	8545427 N	2968.00	Dren Quinua
Piscotambo III	583107 E	8545455 N	2948.50	Dren Quinua
Accopampa	583605 E	8546376 N	2921.00	Dren Pérez de Cuellar

Figura N° 4.5:
Quebradas existentes en ladera del cerro la Picota-Ayacucho

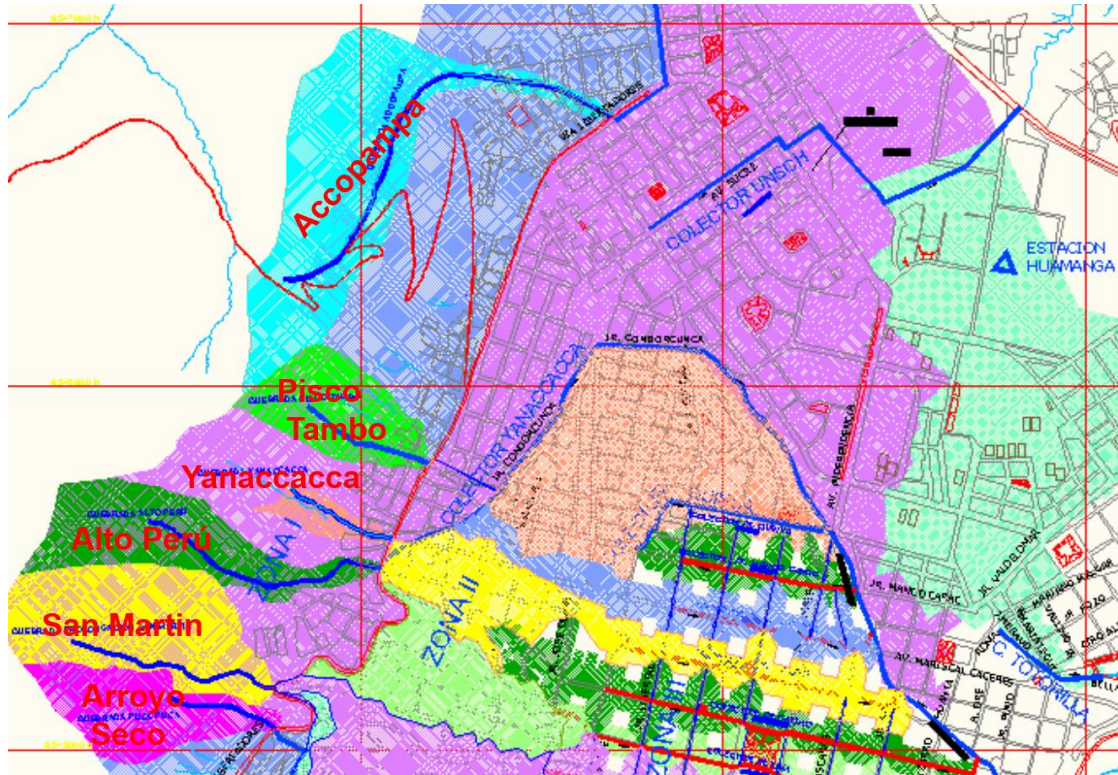
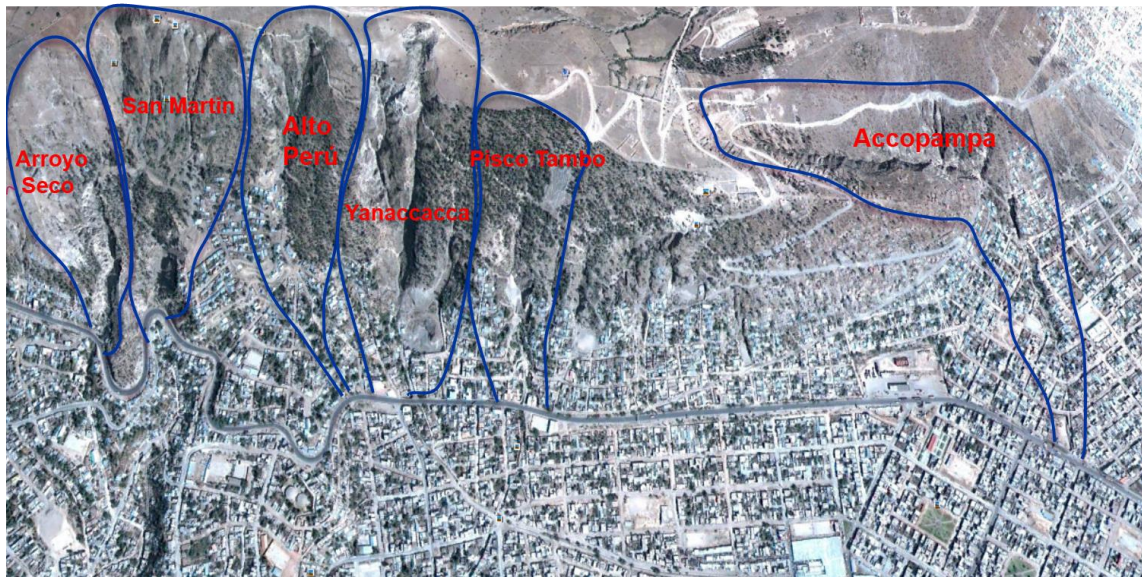


Figura N° 4.6:
Quebradas existentes en ladera del cerro la Picota-Ayacucho



4.2.2 Demarcación Hidrográfica

La cuenca Cerro La Picota forma parte de la vertiente del Océano Atlántico y limita con las siguientes unidades hidrográficas:

Por el Norte: Cuenca Alameda.

Por el Este: Cuenca Alameda.

Por el Sur: Microcuenca Mollepata

Por el Oeste: Divortium Acuarium Socos

4.2.3 Demarcación Política

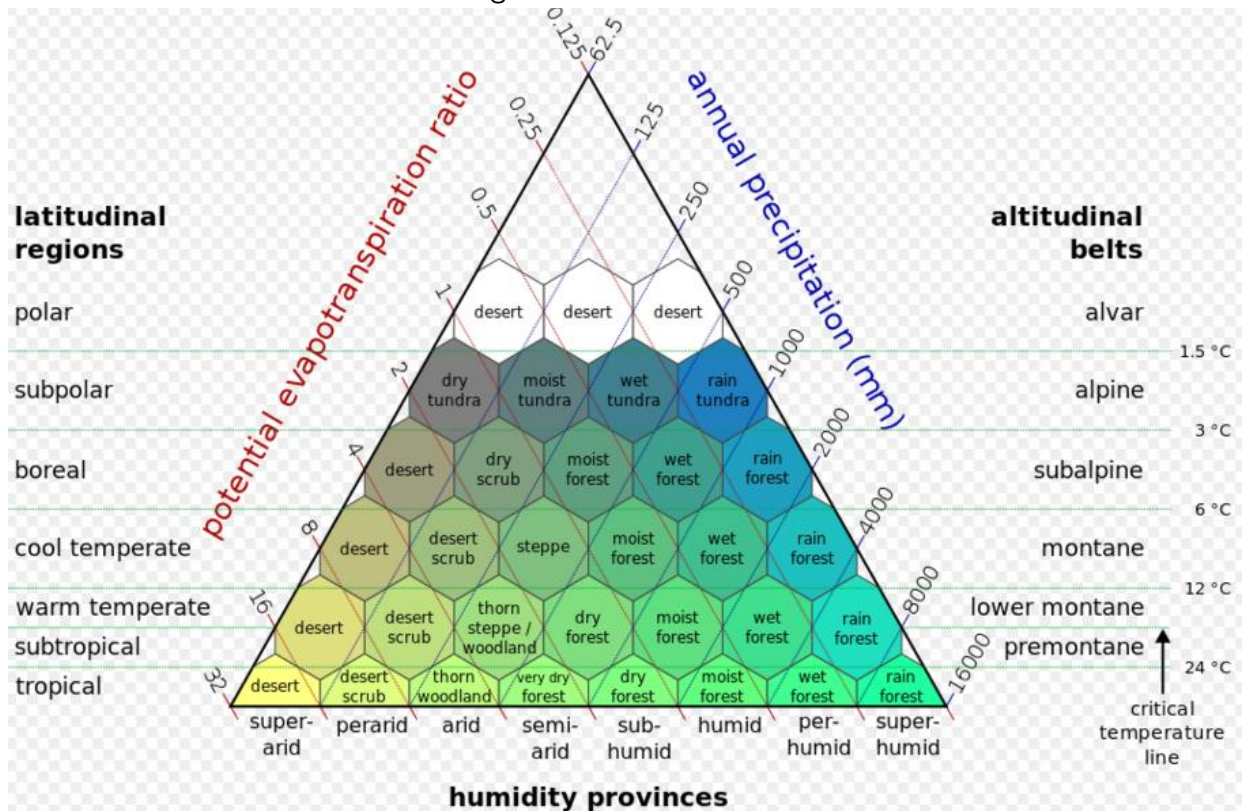
Políticamente, la cuenca se encuentra ubicada en la región Ayacucho; comprende los distritos de Ayacucho ubicado en la provincia de Huamanga, en la región Ayacucho; Centros Poblados de Yuracc Yuracc, Belén, Barrios Altos, La Libertad, El Calvario, Piscotambo, Asentamiento Humano Los Pinos y Asociación Basilio Auqui.

4.3 Parámetros geomorfológicos de la zona en estudio

4.3.1 Ecología

De acuerdo al Sistema de Clasificación de Zonas de Vida propuesta por el Dr. Leslie R. Holdridge se ha identificado las formaciones ecológicas de la zona de estudio, así como con el DESARROLLO DE CAPACIDADES EN ZONIFICACIÓN ECOLÓGICA ECONÓMICA Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL EN LA REGIÓN AYACUCHO de la gerencia regional de recursos naturales y gestión del medio ambiente del Gobierno Regional.

Figura N° 4.7:
Diagrama bioclimático



se ha identificado las formaciones ecológicas de la zona de estudio, con temperaturas media anual de 6°C a 12 °C y precipitación anual de 250mm a 500mm y el promedio de evaporación potencial varía entre 1 a 2 veces el valor de precipitación que corresponde a zona de vida **estepa – montaña subtropical** y con temperaturas media anual de 12°C a 17°C y precipitación anual de 250mm a 500mm y y el promedio de evaporación potencial varía entre 2 a 4 veces el valor de precipitación que corresponde a zona de vida **estepa espinosa montaña bajo subtropical**.

4.3.2 Cobertura Vegetal

La cobertura vegetal en la cuenca La Picota es variada, se han identificado 10 tipos de cobertura vegetal, siendo las más representativas:

- Agave americana (cabuya)
- Eucaliptus globulus
- Dodonaea viscosa (chamana)
- Spartium junceún (retama)
- Acacia sp (aromo)
- Opuntia ficus indica (tuna)
- Schinus molle.
- Berberis lutea (Ayrampu)
- Caesalpinia spinosa (tara)

- *Calletia spinosissima* (roque).

Figura N° 4.8:
Partium
junceum (retama)

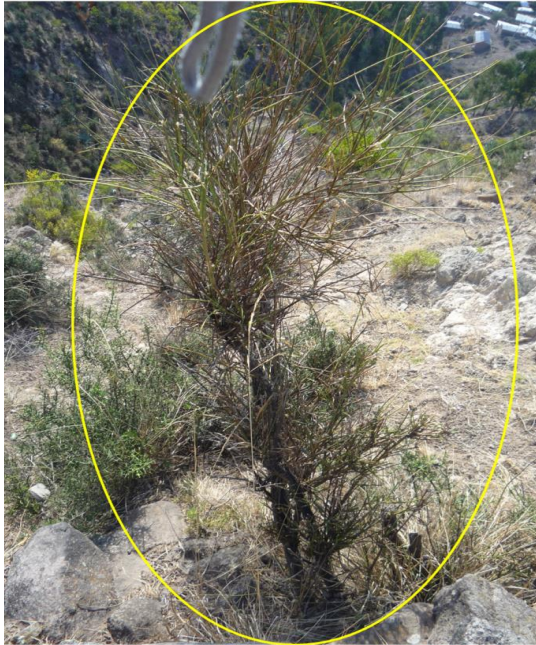


Figura N° 4.9:
Dodonea vis-
cosa (chamana)



Figura N° 4.10:
Agave americana
(cabuya)



Figura N° 4.11:
Opuntia ficus
indica (tuna)



4.3.3 Geología

La geología en la cuenca del Cerro La Picota es variada, se han identificado 04 unidades geológicas, siendo las más representativas: depósitos sedimentarios de la formación Ayacucho y los depósitos aluviales recientes del Cuaternario y se encuentran en menor proporción depósitos volcánicos de la formación Molinoyoc que suprayacen a depósitos sedimentarios de la formación Ayacucho.

4.3.4 Geomorfología

En la cuenca Cerro La Picota se pueden distinguir 04 formaciones geomorfológicas, siendo los más representativas: vertiente montañosa empinada a escarpada con 25.19%, vertiente montañosa y colina moderadamente con 25.12%, vertiente montañosa y colina empinada a escarpada con 24.68% del área total de la cuenca.

4.3.5 Capacidad de Uso Mayor

En la cuenca La Picota se pueden distinguir 12 formaciones de Capacidad de Uso Mayor, siendo los más representativas: Pastoreo de Páramo, Calidad Agrológica Baja, Protección, Limitación por suelo y erosión con 31,42%, Protección (Bosque nuboso) con 13,93%, Protección – Pastoreo, Calidad Agrológica Baja – Cultivos en Limpio, Calidad Agrológica Baja, Limitación por suelo y erosión con 1.9% del área total de la cuenca.

4.3.6 Unidades Forestales

En la cuenca La Picota se pueden distinguir 05 tipos de Unidades Forestales, siendo las más representativas: Pajonal Alto andina con 51.29% y Matorral Húmedo Templado con 25.58% del área total de la cuenca.

4.4 Unidad de vulnerabilidad

En la cuenca Cerro La Picota se han identificado 4 unidades de vulnerabilidad, siendo las la que porcentualmente tienen mayor incidencia: Tierras con alto riesgo con 66.33%, Tierras con moderado riesgo con 31.35%, del área total de la cuenca.

La vulnerabilidad es el grado de pérdida o daño que se puede sufrir ante la ocurrencia de un fenómeno natural. La naturaleza de la vulnerabilidad y su evaluación varían según las estructuras sociales, el nivel de organización de la comunidad afectada, estructuras físicas, bienes, actividades económicas, etc., según las amenazas o peligros existentes. La cuenca Cerro La Picota, por su condición geográfica está expuesta a riesgos con ocurrencia de desprendimientos de grandes volúmenes de tierra y rocas, el problema está vinculado con las condiciones topográficas y fisiográficas, de los suelos y de las variables Hidrometeorológicas. Los desprendimientos, caída o reptación de grandes volúmenes de tierra y rocas representan el paso del tiempo, cuando las condiciones geológicas originales experimentan alteración progresiva, formación de escarpas del relieve por efecto de las condiciones Hidrometeorológicas, climatológicas y de la actividad humana. Este fenómeno natural se inicia cuando se propicia la degradación de las condiciones iniciales de resistencia y de deformabilidad de los materiales térreos y rocas, generando un desastre que afecta a la población (personas y bienes) si no se toman en cuenta las medidas preventivas pertinentes.

Existen experiencias catastróficas que han afectado, inclusive sepultado, a poblaciones enteras; la magnitud de los deslizamientos es tal que quedan fuera del control humano. Sin embargo, una detección oportuna puede representar la diferencia entre la puesta a salvo de los habitantes o una hecatombe de grandes dimensiones, con la correspondiente pérdida de

vidas.

4.4.1 Tierras con Alto Riesgo

Se encuentran dispersas en todas las Unidades Hidrográficas, en una superficie de 25 ha, que representa el 66.33% del área total de la cuenca.

Tierras que presentan deterioro y degradación de suelos, relieve fuertemente disectado, inestables, con procesos morfodinámicos activos (erosión en surcos, cárcavas, deslizamientos), vegetación de tipo variable. La actividad antrópica incrementa la inestabilidad, haciéndolas altamente vulnerables. Deben utilizarse con fines de protección de cuencas y planificar medidas de protección de cuencas o quebradas, infraestructura y mitigación de desastres.

4.4.2 Tierras con Moderado Riesgo

Se encuentran dispersas en todas las Unidades Hidrográficas, en una superficie de 8 ha, que representa el 31.35% del área total de la cuenca.

Son tierras con relieve disectado. La estabilidad geológica es variable, presenta procesos morfodinámicos activos (erosión en surcos, cárcavas, deslizamientos), clima variado, vegetación natural. Su uso está supeditado a la ejecución de prácticas de conservación de suelos. Comprende tierras que tienen moderadas probabilidades de riesgo económico por causas naturales.

4.4.3 Tierras con Ligero Riesgo

Se encuentran dispersas en las partes altas de todas las Unidades Hidrográficas, a excepción de la Unidad Hidrográfica Alameda – Margen Izquierda, con una superficie de 5 ha, que representa el 1,39% del área total de la cuenca.

Son tierras que por sus características ecológicas, físicas (litológicas, pendiente), y de uso, presentan ciertas limitaciones de uso de su capacidad productiva. Pendiente moderadamente inclinada. La estabilidad de estas tierras es alterada por la actividad antrópica.

Tienen bajas probabilidades de riesgo económico por causas naturales. Se debe efectuar actividades para atenuar el ligero riesgo de vulnerabilidad.

4.4.4 Tierras con Leve Riesgo

Se encuentran en ambos márgenes de la cuenca Cerro La Picota, en la Unidad Hidrográfica Medio Cerro La Picota; con una superficie 0.6 ha, que representa el 0.93% del área total de la unidad hidrográfica.

Son tierras que por sus características físicas (litología, pendiente), ecológicas y de uso, permiten realizar actividades de desarrollo, sin ocasionar el deterioro de su capacidad productiva. Las actividades tienen leves probabilidades de riesgo económico por causas naturales. Se debe efectuar actividades para mantener la estabilidad del ecosistema.

4.5 Caracterización hidrológica del área de estudio

4.5.1 Generalidades

La Hidrología en el Drenaje Superficial del área de recepción de la unidad hidrográfica de influencia de Cerro La Picota por definición proporcionara el “caudal máximo para un determinado período de retorno”, el mismo que deberá ser evacuado satisfactoriamente, por el “sistema de drenaje proyectado en el control de inundaciones en entorno de los asentamientos humanos rurales y urbanos – Estructuras Hidráulicas de Control de Escurrimiento Superficial y Obras de Drenaje Transversal alcantarillas”.

Con referencia la hidrología en las obras de proyección y en Drenaje de Carreteras, según Apacla (2004). “permite calcular los caudales y niveles máximos para el diseño de las estructuras de protección propuestas para el drenaje de la vía; para ello se recurre a las estadísticas existentes, ya sea registros de caudales o de lluvias.

El Ministerio de Obras Públicas de España, MOPU, refiere que la hidrología permite “estimar los caudales de diseño para las obras de drenaje transversal de la vía (alcantarillas y obras de drenaje) y longitudinales (Restauración de los ríos, obras de protección: Gaviones, muros secos, Muros de Contención, Reforestación, etc.), y de las obras de drenaje superficial y subsuperficial de la faja marginal del río.

En este contexto conceptual, en el presente, se desarrolla a la par del marco teórico metodológico, la estimación de los caudales máximos de diseño de la infraestructura de protección proyectada, a partir del análisis de la precipitación máxima en 24 horas (PpMax. 24 HR), las características geomorfológicas de la subcuenca involucrada, complementaría, con la información del trabajo de campo realizado.

La precipitación máxima en 24 horas (PpMax. 24 HR), base disponible en la zona de estudio, correspondientes a las estaciones meteorológicas del lugar y vecinas, identificadas como series, respectivamente.

4.5.2 Características Fisiográficas

Se caracterizaron los parámetros geomorfológicos de la microcuenca del Cerro La Picota margen izquierda del río Alameda, y quebradas principales como: área, perímetro, longitud mayor del cauce principal, coeficiente de compacidad, factor de forma, grado de ramificación y densidad de drenaje, altitud media y pendiente media, para lo cual se utilizó la información de las cartas del Instituto Geográfico Nacional a escala 1/100 000 (Río Alameda).

4.5.3 Parámetros de Forma

A continuación se hace una descripción de las características fisiográficas y la estimación de las mismas.

a) Área (A)

La superficie de la unidad hidrográfica del La Picota margen izquierda del río Alameda y quebradas o Unidades Hidrográficas margen izquierda delimitadas por el divisor topográfico,

corresponden a la superficie de la misma, proyectada en un plano horizontal; su tamaño influye en forma directa sobre las características de los escurrimientos fluviales y sobre la amplitud de las fluctuaciones. Las unidades de medida son en km².

El área de la microcuenca del río Alameda comprende desde su nacimiento en el río Chillico, hasta su desembocadura en el río Alameda, dentro de ellas están incluidas las ocho Unidades Hidrográficas seleccionadas.

Unidad Hidrográfica Arroyo Seco o Puca Puca

Área de cuenca = 0.0827980 Km²

Perímetro de la unidad hidrográfica = 1.5069 Km

Longitud mayor del cauce = 0.55896 Km

Coefficiente de Compacidad = 1.466

Factor de forma = 0.265

Cota más Alta (HM) = 3122.5 msnm

Cota en el Punto Interés o menor = 2930 msnm.

Pendiente media = 34.44%

Altitud media = 3026.25 msnm.

Unidad Hidrográfica Prolongación San Martín

Área de recepción = 0.13731 Km².

Perímetro de la unidad hidrográfica = 1.795070 Km

Longitud mayor del cauce = 0.59449 Km

Coefficiente de Compacidad = 1.35

Factor de forma = 0.38

Cota más Alta (HM) = 3162 msnm

Cota en el Punto Interés o menor (Hm) = 2925 msnm.

Pendiente media = 39.87%

Altitud media = 3043.50 msnm.

Unidad Hidrográfica Yanaccacca

Área de recepción = 0.082765 Km²

Perímetro de la unidad hidrográfica = 1.79731 km

Longitud mayor del cauce = 0.57836 km

Coefficiente de Compacidad = 1.357

Factor de forma = 0.41

Cota más Alta (HM) = 3095 msnm

Cota en el Punto Interés o menor = 2870 msnm.

Pendiente media = 38.91%

Altitud media = 2982.5 msnm.

b) Perímetro (P)

El perímetro de la unidad hidrográfica del Cerro La Picota - río Alameda (P) y las quebradas de la margen izquierda, está definido por la longitud de la línea de división de

aguas, que se conoce como el “parte aguas o Divortium Acuarium”, la unidad de medida es en km.

c) Longitud de Cauca Principal (L)

Recibe éste nombre, el mayor cauce longitudinal que tiene una cuenca determinada, es decir, el recorrido que realiza el río desde la cabecera de la cuenca, siguiendo todos los cambios de dirección o sinuosidades hasta un punto fijo, que puede ser una estación de aforo o desembocadura o punto de interés.

d) Ancho Promedio

Es la relación entre el área de la unidad hidrográfica y la longitud mayor del curso del río.

La expresión es la siguiente: $A_p = A/L$

Donde:

A_p = Ancho promedio de la cuenca o Unidad Hidrográfica (Km)

A = área de la cuenca o Unidades Hidrográficas (Km²)

L = Longitud mayor del río (Km)

e) Pendiente Media del Curso Principal (S)

Es la relación entre la diferencia de altitudes del cauce principal y la proyección horizontal del mismo. Su influencia en el comportamiento hidrológico se refleja en la velocidad de las aguas en el cauce, lo que a su vez determina la rapidez de respuesta de la cuenca ante eventos pluviales intensos y la capacidad erosiva de las aguas como consecuencia de su energía cinética. Se ha determinado la pendiente del cauce principal del río o unidad hidrográfica y para cada una de las unidades Hidrográficas seleccionadas que la conforman.

f) Coeficiente de Compacidad (Kc)

El Coeficiente de Compacidad (K_c , adimensional), o Índice de Gravelious, constituye la relación entre el perímetro de la unidad hidrográfica y el perímetro de una circunferencia cuya área – igual a la de un círculo - es equivalente al área de la cuenca en estudio, se determina mediante la siguiente expresión:

$$K_c = 0.28 * P/A^{1/2}$$

Donde:

K_c = Coeficiente de compacidad

P = Perímetro de la cuenca (km)

A = Área de la cuenca (km²)

Este coeficiente define la forma de la cuenca, respecto a la similitud con formas redondas, dentro de rangos que se muestran a continuación (FAO, 1985):

Clase K_{c1} : Rango entre 1 y 1.25 corresponde a forma redonda a oval redonda.

Clase K_{c2} : Rango entre 1.25 y 1.5 corresponde a forma oval redonda a oval oblonga.

Clase K_{c3} : Rango entre 1.5 y 1.75 corresponde a forma oval oblonga a rectangular oblonga.

Una cuenca se aproximará a una forma circular cuando el valor K_c se acerque a la unidad. Cuando se aleja de la unidad, presente una forma más irregular en relación al

círculo.

Si este coeficiente fuera a la unidad, significa que habrá mayores oportunidades de crecientes debido a que los Tiempos de Concentración, T_c (duración necesaria para que una gota de agua que cae en el punto más alejado de aquella, llegue a salida o desembocadura), de los diferentes puntos de la microcuenca serían iguales.

g) Factor de Forma (Ff)

El factor de Forma (Ff, adimensional), es otro índice numérico con el que se puede expresar la forma y la mayor o menor tendencia a crecientes de una cuenca, en tanto la forma de la unidad hidrográfica afecta los hidrogramas de escorrentía y las tasas de flujo máximo.

El factor de Forma tiene la siguiente expresión:

$$Ff = A_m/L = A/L^2$$

Donde:

Ff = Factor de forma

A_m = Ancho medio de la microcuenca (km)

L = Longitud del curso más largo (km)

A = Área de la unidad hidrográfica (Km²)

Una microcuenca o unidad hidrográfica rural con factor de Forma bajo, está sujeta a menos crecientes que otra del mismo tamaño pero con Factor de Forma mayor.

Una unidad hidrográfica tiende a ser alargada si el factor de forma tiende a cero, mientras que su forma es redonda, en la medida que el factor forma tiende a uno. Este factor, como los otros que se utilizan en este estudio, es un referente para establecer la dinámica esperada de la escorrentía superficial en una cuenca rural, teniendo en cuenta que aquellas unidades hidrográficas con formas alargadas, tienden a presentar un flujo de agua más veloz, a comparación de las microcuencas redondeadas, logrando una evacuación de la cuenca más rápida, mayor desarrollo de energía cinética en el arrastre de sedimentos hacia el nivel de base, principalmente.

De manera, una unidad hidrográfica con factor de Forma bajo, está sujeta a menos crecientes que otra del mismo tamaño pero con un factor de Forma mayor. Se ha determinado el Factor de Forma (Ff) para la microcuenca del río Picota y para cada una de las Unidades Hidrográficas seleccionadas.

h) Sistema de Drenaje

El sistema de drenaje de una unidad hidrográfica está conformado por curso principal y sus tributarios; observándose por lo general, que cuanto más largo sea el curso de agua principal, más llena de bifurcaciones será la red de drenaje.

Con la finalidad de determinar las características de dicha red, se definen los siguientes índices:

h.1) Grado de Ramificación

Para definir el grado de ramificación de un curso de agua principal, (según Horton), se ha considerado el número de bifurcaciones que presentan sus tributarios, asignándole un

orden a cada uno de ellos en forma creciente desde el curso principal hasta el encuentro con la divisoria de la microcuenca.

h.2) Densidad de Drenaje Indica la relación entre la longitud total de los cursos de agua: efímeros, intermitentes o perennes de una microcuenca (Li) y el área total de la misma (A).

Valores altos de densidad refleja una microcuenca muy bien drenada que debería responder relativamente rápido al influjo de la precipitación, es decir que las precipitaciones influirán inmediatamente sobre la descargas de los ríos (Tiempos de Concentración cortos).

Una microcuenca con baja densidad de drenaje refleja un área pobremente drenada con respuesta hidrológica muy lenta. Una baja densidad de drenaje es favorecida en regiones donde el material del subsuelo es altamente resistente bajo una cubierta de vegetación muy densa y de relieve plano. La densidad de drenaje tiende a uno en ciertas regiones desérticas de topografía plana y terrenos arcillosos arenosos, y a un valor alto en regiones húmedas, montañosas y de terrenos impermeables.

Esta última situación es la más favorable, pues si una unidad hidrográfica posee una red de drenaje bien desarrollada, la extensión media de los terrenos a través de los cuales se produce el escurrimiento superficial es corto y el tiempo en alcanzar los cursos de agua también será corto; por consiguiente la intensidad de las precipitaciones influirá inmediatamente sobre el volumen de las descargas de los ríos o quebradas.

La expresión es como sigue:

$$Dd = Li/A$$

Donde:

Dd = Densidad de Drenaje (Km/km²)

Li = Longitud total de los cursos de agua perennes e intermitentes (km)

A = Área de la microcuenca (Km²).

MONSALVE (Referencia Bibliográfica), refiere que Dd usualmente toma los siguientes valores:

Entre 0,5 km/km², para hoyas con drenaje pobre.

Hasta 3,5 km/km², para hoyas excepcionalmente bien drenadas.

4.5.4 Parámetros de Relieve

El relieve

Relieve de cauce principal del cauce principal se representa mediante el perfil longitudinal y puede ser cuantificado mediante parámetros que relacionan la altitud con la longitud del cauce principal.

Relieve de la cuenca

El relieve de la cuenca se representa mediante la curva hipsométrica y puede ser cuantificado con parámetros que relacionan la altitud con la superficie de la unidad hidrográfica. Los principales son el rectángulo equivalente, la altitud media de la unidad hidrográfica y la pendiente media de la unidad hidrográfica.

a) Altitud Media de la Cuenca (H)

La altitud Media (H) de una unidad hidrográfica es importante por la influencia que ejerce sobre la precipitación, sobre las pérdidas de agua por evaporación, transpiración y consecuentemente sobre el caudal medio. Se calcula midiendo el área entre los contornos de las diferentes altitudes características consecutivas de la unidad hidrográfica.

b) Rectángulo Equivalente

Este parámetro de relieve consiste en una transformación geométrica que determina la longitud mayor y menor que tienen los lados de un rectángulo cuya área y perímetro son los correspondientes al área y perímetro de la unidad hidrográfica.

$$L \times l = A \text{ (Km}^2\text{)}$$

$$2 (L + l) = P \text{ (Km)}$$

Donde:

L = Longitud del lado mayor del rectángulo equivalente (km)

l = Longitud del lado menor del rectángulo equivalente (km)

Para la unidad hidrográfica del río Alameda y para cada una de sus microcuencas más importantes, se han determinado los lados mayor y menor del rectángulo equivalente y estas están expresadas en km.

4.5.5 Parámetros de Drenaje

Es otra característica importante en el estudio de una unidad hidrográfica, ya que manifiesta la eficiencia del sistema de drenaje en el escurrimiento resultante, es decir la rapidez con que desaloja la cantidad de agua que recibe. La forma de drenaje, proporciona también indicios de las condiciones del suelo y de la superficie de la unidad hidrográfica.

El sistema o red de drenaje de una unidad hidrográfica está conformado por un curso de agua principal y sus tributarios; observándose por lo general, que cuanto más largo sea el curso de agua principal, más bifurcaciones tendrá la red de drenaje. La definición de los parámetros de drenaje se presenta a continuación:

Orden de ríos

El orden de corrientes se determina de la siguiente manera: Una corriente de orden 1 es un tributario sin ramificaciones, así dos corrientes de orden 1 forman una de orden 2, dos de orden 2 forman una de 3 y así sucesivamente. Entre más corrientes tributarias tenga una unidad hidrográfica, es decir, mayor el grado de bifurcación de su sistema de drenaje, por consiguiente más rápida será su respuesta a la precipitación.

Frecuencia de los ríos Esta dado por el número total de ríos dividido con el área de la microcuenca. Se mide en ríos/km².

Densidad de Drenaje La densidad de Drenaje (Dd), indica la relación entre la longitud total de los cursos de agua: efímeros, intermitentes o perennes de la microcuenca (Lt) y el área total de la misma (A).

La densidad de drenaje tiende a 1, en ciertas regiones desérticas de topografía plana y terrenos arenosos, y a un valor alto en regiones húmedas, montañosas y de terrenos

impermeables. Esta última situación es la más favorable, pues si una unidad hidrográfica posee una red de drenaje bien desarrollada, la extensión media de los terrenos a través de los cuales se produce el escurrimiento superficial es corto y el tiempo en alcanzar los cursos de agua también será corto; por consiguiente la intensidad de las precipitaciones influirá inmediatamente sobre el volumen de las descargas de los ríos.

Se define como:

$Dd = Li/A$ (Km/Km²) Donde:

Li = Suma de longitudes de todos los tributarios y cauce principal (Km)

A = Área de las unidad hidrográfica (Km²)

Coefficiente de Torrencialidad

Es la relación entre el número de cursos de agua de primer orden y el área total de la microcuenca.

Se define como:

$Ct = \# \text{ de cursos de primer orden} / A$ (ríos/km²)

Pendiente Media del Río (Ic)

El agua superficial concentrada en los lechos fluviales escurre con una velocidad que depende directamente de la declividad de estos, así a mayor declividad habrá mayor velocidad de escurrimiento.

La pendiente media del río o riachuelo es un parámetro empleado para determinar la declividad de un curso de agua entre dos puntos.

Se determina mediante la siguiente relación:

$Ic = (HM - Hm) / (1000 * L)$

Donde:

Ic = Pendiente media del río

L = Longitud del río (Km)

HM y Hm = Altitud máxima y mínima del lecho del río; referidas al nivel medio de las aguas del mar msnm.

Pendiente Media del río (Ic)

$Ic = (HM - Hm) / (1000 * L)$

Para las Unidades Hidrográficas consideradas en el estudio se han determinado sus parámetros fisiográficos como son el área, perímetro, longitud de cauce principal, pendiente del cauce y altitud media la cual es mostrada en el Cuadro N° 4.3 (Anexo I – Información Base para calcular los Tiempos de Concentración en la Unidad Hidrográfica).

Cuadro N° 4.3 :

Parámetros fisiográficos cuenca del río Alameda margen izquierda – Cerro Picota

CUENCA	ÁREA)	P	Kc	Ff	LONG. DE CAUCE PRINCIPAL	PENDIENTE MEDIA DEL CAUCE PRINCIPAL	ALTITUD MEDIA
	(Km ²)	(Km)			(KM)	(%)	(msnm)
Arroyo Seco	0.082798	1.5069	1.466	0.265	0.55896	35.33	3023.75
San Martín	0.13731	1.795070	1.35	0.38	0.59449	42.72	3035.50
Yanaccacca	0.083529	1.484930	1.438	0.249	0.57836	39.90	2979.50

4.5.6 Caracterización geomorfológica de las quebradas o microcuencas Cerro Picota

Obtenidos los parámetros geomorfológicos, para el área en estudio de las unidades hidrográficas del río Alameda (Cerro La Picota), éstos han servido para caracterizarla geomorfológicamente, en especial desde el punto de vista de su comportamiento con respecto a la precipitación en términos de avenidas o crecidas.

A.- Forma de las Microcuencas: Coeficiente de Compacidad (Kc)

Si:

Kc = 1 Tiempos de concentración menores, circular, mayor propensión a las crecientes.

Kc = 2 Tiempos de concentración mayores, cuenca alargada, menor propensión a las crecientes.

Microcuenca de Arroyo Seco

Kc = 1.466 : Propensión a las crecientes

Microcuenca de Prolongación San Martín

Kc = 1.35 : Propensión a las crecientes

Microcuenca Yanaccacca

Kc = 1.438 : Propensión a las crecientes

B.- Sistema de Drenaje: Densidad de Drenaje (Dd)

Si Dd:

Entre 0.5 Km/Km², hoyas con drenaje pobre.

Hasta 3.5 Km/Km², hoyas excepcionalmente bien drenadas.

Unidad Hidrográfica de Arroyo Seco

Dd = 0.26: Microcuenca con drenaje pobre. Mayor propensión a las crecientes.

Unidad Hidrográfica de Prolongación San Martín

Dd = 0.20: Microcuenca con drenaje pobre. Mayor propensión a las crecientes.

Unidad Hidrográfica de quebrada Yanaccacca

Dd = 0.23: Microcuenca con drenaje pobre. Mayor propensión a las Crecientes.

Cuenca El Cerro La Picota

Kc = 1.20 – 2.00

Dd = 0.50 Km/Km²

Microcuenca con drenaje pobre. Mayor propensión a las Crecientes.

C.- Resumen de la Caracterización Geomorfológica de las Quebradas en los Puntos de Control o Interés

Se considera tres niveles de respuesta de una microcuenca (como crecientes) a la precipitación: Lenta, moderada y rápida. Por los parámetros analizados, las unidades hidrográficas del Cerro La Picota, tendrían una respuesta “moderada” a las precipitaciones.

4.6 Descripción general de microcuenca del cerro la picota

La zona en general, presenta un territorio muy accidentado y un clima muy variado debido a la diversidad de pisos altitudinales. Las precipitaciones ocurren en los meses de noviembre a abril y esporádicamente de mayo a octubre.

El sistema hidrográfico de la cuenca del cerro La Picota, está conformado por las Unidades Hidrográficas: Arroyo seco, prolongación San Martín, Alto Perú, Yanaccacca, Piscotambo I, Piscotambo II y Accopampa, siendo 3060 msnm la altitud de la micro cuenca Cerro La Picota.

En el área de estudio se encuentran una serie de quebradas diseminadas en toda la micro cuenca La Picota; el uso era mayormente agrícola en la década del 80 y a parte de la década del 90 existe una invasión de asentamientos humanos en el ámbito del cerro La Picota.

4.6.1 Unidades Hidrográficas La Picota Afluente principal del río Alameda en los Puntos de Interés

La zona del proyecto, se caracteriza por la ocurrencia de altas precipitaciones principalmente entre los meses de Diciembre a Marzo.

Para la retención y evacuación de las aguas de la precipitación se proyectará obras mecánicas de protección como son dique con disipadores de energía, los canales de desviación, zanjas de infiltración, sistemas bioingenierías, sistemas de forestación y reforestación con especies arbóreas del lugar, para evitar que las aguas de escorrentía superficial ingresen a la zona en riesgo como son los centros poblados de Arroyo seco, Prolongación San Martín y Yanaccacca que son los más críticos. Del mismo modo se complementará proyectando estructuras para evitar la inestabilidad de la ladera y taludes mediante obras de andenería, muros de contención y muros tipo Pirca.

Todas estas obras planteadas tienen por finalidad de retener y evacuar las aguas provenientes de la escorrentía superficial.

4.6.1.1 Hidrografía de la zona

La zona del proyecto se encuentra ubicada en la divisoria (divortium Aquarium) de la unidad hidrográfica del río Alameda, la que está enmarcada dentro de la cuenca del río Huatatas, que a su vez forma parte de la subcuenca del Río Chacco – Pongora y es afluente principal

que desemboca al río Cachi que a su vez entrega sus aguas en el Río Mantaro y Ene.

Dentro del área de influencia correspondiente al presente estudio se ha reconocido únicamente como quebradas, tales como sigue; Quebrada Arroyo seco, Quebrada Prolongación San Martín y Quebrada Yanaccacca por ser las más críticas.

Las descargas de aguas debido a las precipitaciones se conducen por efecto de la gravedad hacia los siguientes colectores; la quebrada Arroyo seco desemboca en el colector pluvial de Arroyo Seco, la quebrada Prolongación San Martín desemboca directamente hacia el jirón San Martín de la Ciudad de Ayacucho y la quebrada Yanaccacca desemboca en el colector pluvial de Yanaccacca. Estas quebradas se caracterizan por tener pendientes bastante pronunciadas, teniendo como consecuencia procesos erosivos relevantes y transportes de material granular en grandes volúmenes.

Quebrada Arroyo Seco (QAS): La quebrada Arroyo Seco tiene un área 8.2798Ha (0.082798 Km²), el cauce principal tiene una longitud de 0.55896 Km., el perímetro de 1.5069km y una pendiente promedio de 35,33

Localmente, el área donde se encuentra el Centro Poblado de Río Seco, en las partes más altas se encuentra una ladera de pendiente muy fuerte. El drenaje para el escurrimiento superficial no es definido, por lo que, toda el agua acumulado escurre por casas, calles y llegando hacia la cuneta de la vía libertadores.

La quebrada Arroyo Seco es un afluente del río Alameda, la parte más alta de su línea divisoria de aguas se ubica a una altitud de 3130 msnm, está quebrada es de naturaleza discontinuo, y discurre su flujo de aguas con una dirección de SE hasta llegar a la confluencia con el río Alameda. El caudal máximo que presenta este cauce es de 1.21 m³/seg.

Figura N° 4.12:
Quebrada y cauces en el área de influencia de Arroyo seco

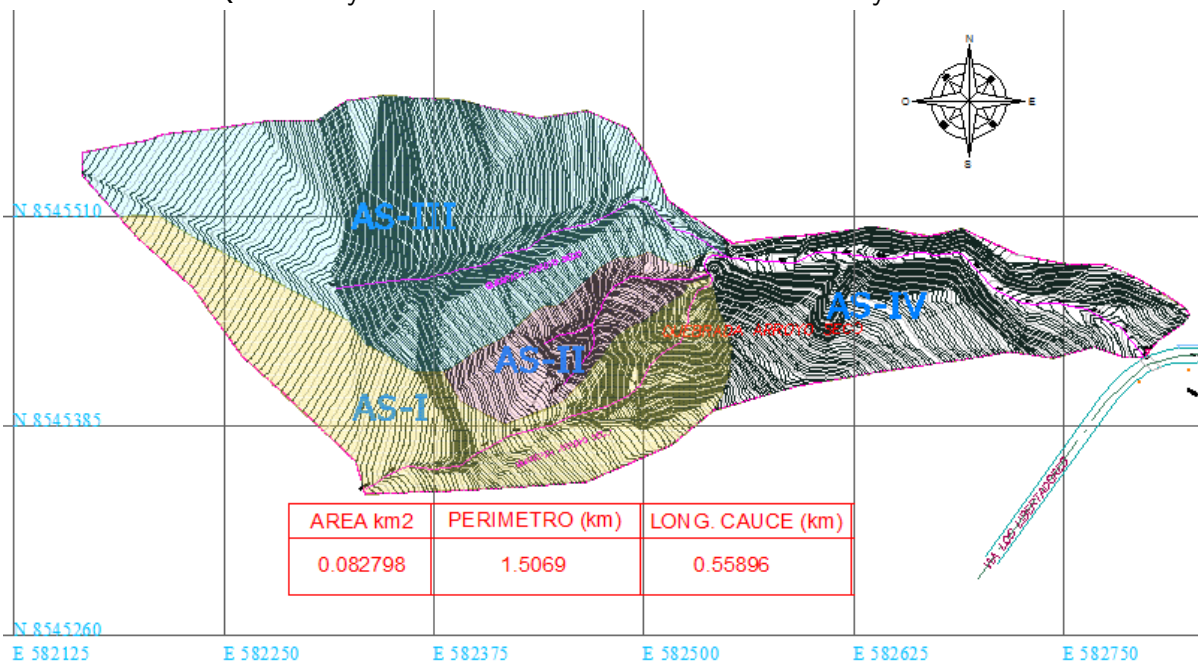


Figura N° 4.13:
Quebrada Arroyo seco



La naciente del río Seco es en las partes altas de la unidad hidrográfica, de aguas no permanentes provenientes de lluvias o aportes superficiales en la época de avenidas. La Unidad Hidrográfica Arroyo Seco tiene un área 0.082798 km², un perímetro de 1.5069 km, una altitud media de 3023.75 msnm, presenta una pendiente de cauce en el orden 35.33%, una longitud de cauce principal 0.55896km; el factor de forma es de 0.265 mientras que el coeficiente de compacidad determinado es de 1.466.

Quebrada Prolongación San Martín (QPa): La quebrada Prolongación San Martín comprende de un sector con formas y características que tiene un área 13.731 Ha (0.13731 Km²), el cauce principal tiene una longitud de 0.59449 Km. y una pendiente promedio de 42.72

Localmente, el área en las partes más altas se encuentra una ladera de pendiente muy fuerte. El drenaje para el escurrimiento superficial no es definido por lo que la lluvia acumulada escurre por casas, calles, interceptando la Vía Libertadores y haciendo una conexión directa con la prolongación del Jr. San Martín y parte llegar hacia la Vía Libertadores colmatando sus cunetas por el arrastre de sedimentos.

La quebrada Prolongación San Martín es afluente del río Alameda, la parte más alta de su línea divisoria de aguas se ubica a una altitud de 3162 msnm, está quebrada es de naturaleza discontinuo, y discurre su flujo de aguas con una dirección de SE hasta llegar a la confluencia con el río Alameda. El caudal máximo que presenta este cauce es 2.084 m³/seg.

Esta Unidad Hidrográfica el factor de forma es de 0.38 mientras que el coeficiente de compacidad es de 1.35.

En su desarrollo recibe el aporte de varias quebradas de 1er orden formando de un 2do

orden existiendo además quebradas secas con aportes eventuales efímeras; tiene un sistema hidrográfico con densidad de drenaje de 11.73 km/km² con frecuencia de 0.12 ríos/km² y una declividad de los terrenos 0.36.

Figura N° 4.14:
Quebradas y cauces en el área de prolog. San Martín

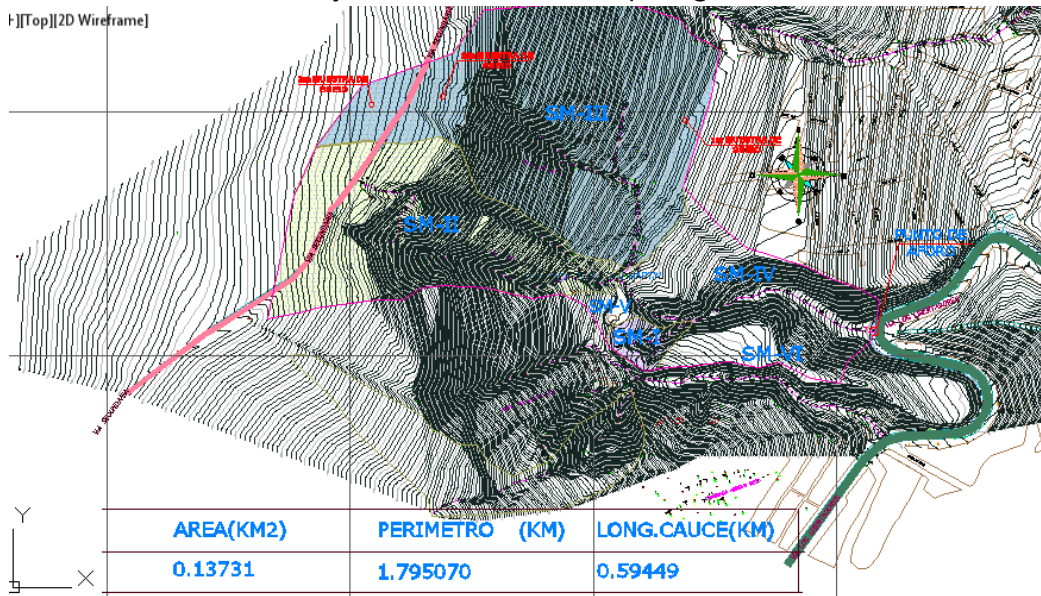
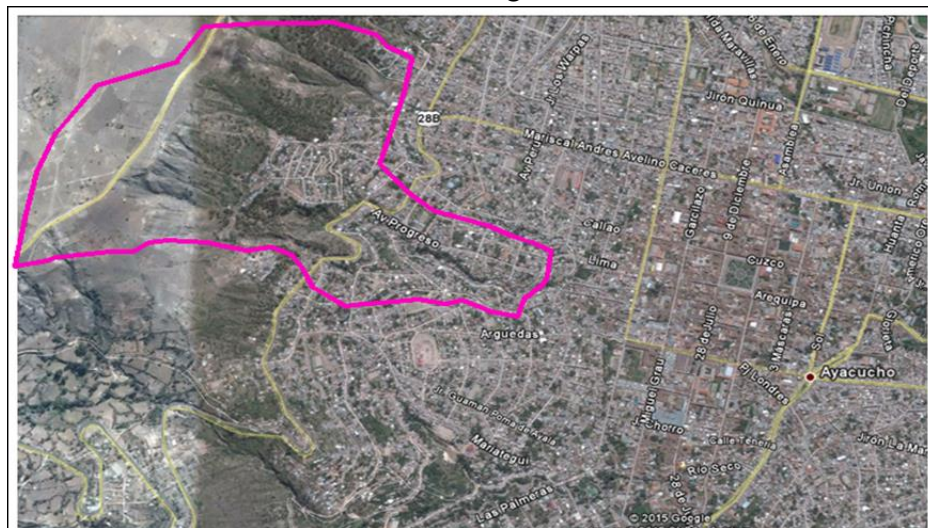


Figura N° 4.15:
Quebrada de la Prolongación San Martín



Unidad Hidrográfica Yanaccacca

El riachuelo está formado por los afluentes o quebradas de 1er orden, los que a su vez nacen en las quebradas de las partes altas. Esta Unidad tiene una superficie de 0.080529 Km², un perímetro de 1.484930 km, y una altitud media de 2979.50 msnm., presenta una pendiente de cauce en el orden 39.90%, y una longitud de cauce principal 0.57836 km.

El factor de forma es de 0.249 mientras que el coeficiente de compacidad determinado es de 1.438. Tiene un sistema hidrográfico con una densidad de drenaje de 0.50 km/km²

y una frecuencia de los ríos de 0.75 ríos/km² y una declividad de los terrenos de 0.20. El caudal máximo que presenta este cauce es de 1.26 m³/seg.

Figura N° 4.16:
Quebradas y cauces en el área de Yanaccacca

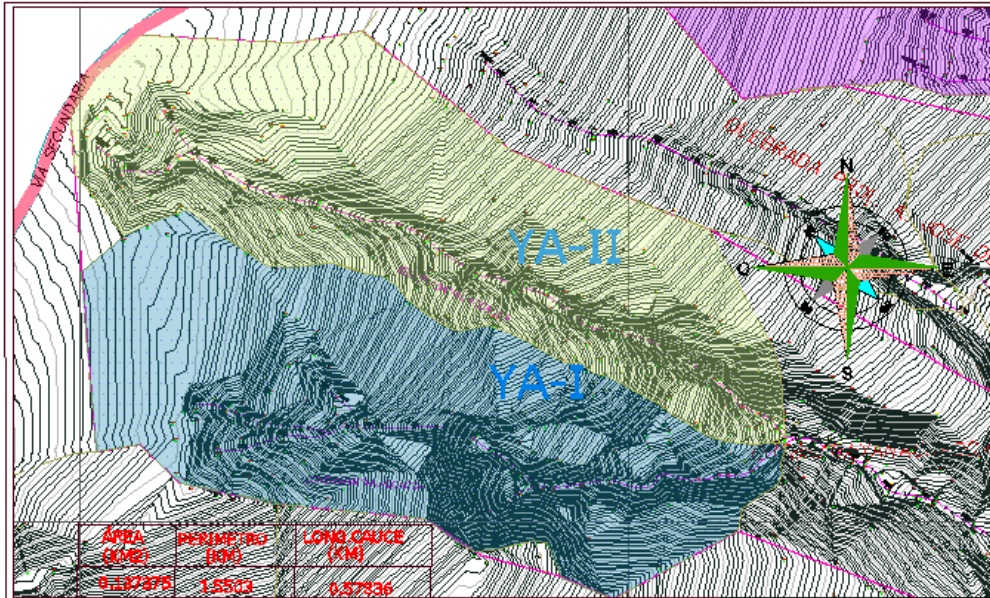


Figura N° 4.17:
Quebradas y cauces en el área de influencia del proyecto



4.7 Datos de estaciones pluviométricas

Se obtuvo información de la red de estaciones pluviométricas de las más representativas dentro del ámbito de estudio, estas son las siguientes:

- Estación Huamanga.

- Estación Wayllapampa.
- Estación Allpachaca.
- Estación San Miguel.
- Estación Quinua.
- Estación San Pedro de Cachi.

Cuadro N° 4.4 :
Estaciones Pluviométricas del ámbito de estudio

ESTACIONES	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD
QUINUA	74° 8' 29.00"	13° 3' 19.00"	3260
HUAMANGA	74° 14' 13.09"	13° 09' 0.00"	261
WAYLLAPAMPA	74° 13' 0.00"	13° 4' 35.00"	2518
SAN MIGUEL	74°14'21,00"	12°56'45,00"	2521
ALLPACHACA	74° 16' 0.00"	13° 23' 0.00"	3600
SAN PEDRO DE CACHI	74° 23' 54.66"	13° 5' 11.74"	3188

Primero se hallará la precipitación máxima en 24 horas de cada estación, esto se muestra en las tablas siguientes:

Cuadro N° 4.5 :
Estación Huamanga Precipitación máxima en 24hr (mm)

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MÁXIMO
1970				19.8	6.5	1.0	9.2	0.0	15.0	5.5	13.6	29.0	29.0
1971	28.0	46.6	19.2	13.5	0.6	5.3	0.7	9.8	9.2	8.0	16.0	16.0	46.6
1972	20.2	7.6	13.0	12.2		0.0	15.0	5.0	10.3	10.0	7.5	11.2	20.2
1973	20.3	16.5	32.0	26.0	0.0	2.2	3.8	13.0	9.8	9.5	21.0	25.0	32.0
1974	15.5	26.0	21.0	6.2	1.0	9.7	0.0	10.0	7.0	7.0	2.6	4.0	26.0
1975	23.0	15.5	15.2	7.0	6.0	2.0	0.8	2.0	7.2	13.0	15.0	12.0	23.0
1976	24.0	24.0	30.5	18.5	8.0	8.0	2.3	1.0	9.5	8.5	4.0	8.0	30.5
1977	11.5	20.0	7.2	9.8	6.0	0.0	4.5	2.5	4.2	1.5	26.0	7.5	26.0
1978	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0					10.0
1979			16.0		3.0	0.0	7.8	11.2	5.7	8.0	6.5	6.5	16.0
1980			44.4										44.4
1981						3.4		15.8	13.0	15.2	19.5		19.5
1982		44.5	12.6	11.0	1.3	11.6	0.0	8.0	7.0	14.5	26.0	10.4	44.5
1983	16.4	10.2	18.7	9.9	1.4	4.4	5.2	6.4	14.2	24.4	6.4	11.7	24.4
1984	48.0	16.8				11.4	2.4	2.5	1.4	8.9	20.2	16.4	48.0
1985	18.0	8.5	8.8	10.5	0.0	1.5	1.6	0.0	6.9	3.2	7.8	25.8	25.8
1986	11.5	14.6	30.0	16.5	4.5	0.0	2.5	6.0	6.0	7.2	15.7	13.5	30.0
1987	24.2	6.4	11.1	6.7	8.2	7.6	8.7	3.0	6.0	14.1	8.4	9.8	24.2
1988	19.3	22.4	15.3	23.0	4.0	2.5	0.0	0.0	11.0	5.0	17.0	17.7	23.0
1989	16.1	15.3	18.0	1.6	11.0	1.0	0.0	1.5	26.0	11.0	9.6	19.5	26.0
1990	23.0	0.7	1.5	8.0							20.0	30.0	30.0

Cuadro N° 4.6 :
Estación Allpachaca Precipitación máxima en 24hr (mm)

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MÁXIMO
1970				19.8	6.5	1.0	9.2	0.0	15.0	5.5	13.6	29.0	29.0
1971	28.0	46.6	19.2	13.5	0.6	5.3	0.7	9.8	9.2	8.0	16.0	16.0	46.6
1972	20.2	7.6	13.0	12.2		0.0	15.0	5.0	10.3	10.0	7.5	11.2	20.2
1973	20.3	16.5	32.0	26.0	0.0	2.2	3.8	13.0	9.8	9.5	21.0	25.0	32.0
1974	15.5	26.0	21.0	6.2	1.0	9.7	0.0	10.0	7.0	7.0	2.6	4.0	26.0
1975	23.0	15.5	15.2	7.0	6.0	2.0	0.8	2.0	7.2	13.0	15.0	12.0	23.0
1976	24.0	24.0	30.5	18.5	8.0	8.0	2.3	1.0	9.5	8.5	4.0	8.0	30.5
1977	11.5	20.0	7.2	9.8	6.0	0.0	4.5	2.5	4.2	1.5	26.0	7.5	26.0
1978	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0					10.0
1979			16.0		3.0	0.0	7.8	11.2	5.7	8.0	6.5	6.5	16.0
1980			44.4										44.4
1981						3.4		15.8	13.0	15.2	19.5		19.5
1982		44.5	12.6	11.0	1.3	11.6	0.0	8.0	7.0	14.5	26.0	10.4	44.5
1983	16.4	10.2	18.7	9.9	1.4	4.4	5.2	6.4	14.2	24.4	6.4	11.7	24.4
1984	48.0	16.8				11.4	2.4	2.5	1.4	8.9	20.2	16.4	48.0
1985	18.0	8.5	8.8	10.5	0.0	1.5	1.6	0.0	6.9	3.2	7.8	25.8	25.8
1986	11.5	14.6	30.0	16.5	4.5	0.0	2.5	6.0	6.0	7.2	15.7	13.5	30.0
1987	24.2	6.4	11.1	6.7	8.2	7.6	8.7	3.0	6.0	14.1	8.4	9.8	24.2
1988	19.3	22.4	15.3	23.0	4.0	2.5	0.0	0.0	11.0	5.0	17.0	17.7	23.0
1989	16.1	15.3	18.0	1.6	11.0	1.0	0.0	1.5	26.0	11.0	9.6	19.5	26.0
1990	23.0	0.7	1.5	8.0							20.0	30.0	30.0

Cuadro N° 4.7 :
Estación Quinua Precipitación máxima en 24hr (mm)

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MÁXIMO
1964										7.1	8.5	17.0	17.0
1965	16.0	11.0	25.0	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.0	16.4	19.0	20.0	25.0
1966	15.0	26.6	31.0	4.0	18.0	0.0	6.5	4.0	5.0	34.0	14.0	26.0	34.0
1967	16.0	40.0	31.2	36.6	36.0	0.0	12.4	15.4	12.4	22.0	19.4	25.1	40.0
1968	17.6	19.8	27.9	15.5	5.3	15.8	9.8	5.1	9.2	18.3	16.6	19.8	27.9
1969	13.8	13.4	17.4	6.5	10.8	6.2	13.7	8.7	10.6	20.2	15.6	17.0	20.2
1970	33.1	24.8	23.8	25.0	19.0	8.7	6.5	0.0	13.5	10.4	15.2	19.2	33.1
1971	29.7	21.0	18.0	29.0	0.0	0.0	8.6	8.4	0.0	17.9	4.2	55.8	55.8
1972	25.7	10.4	26.6	14.0	0.0	0.0	22.1	0.0	3.2	14.0	14.5	15.6	26.6
1973	41.0	29.9	32.1	25.4	13.6		12.5	23.0	28.7		10.6	34.0	41.0
1974	24.8	41.2	34.2	7.5	13.5	16.8	0.0	12.5	13.4	16.5	13.2	16.8	41.2
1975	25.9	14.6	12.9	4.2	15.9	0.0	1.2	3.8	8.8	10.6	12.3	18.7	25.9
1976	21.7	31.1	21.7	12.6	9.6	9.6	4.4	3.7	20.7	8.2	3.3	9.7	31.1
1977	9.9	36.9	17.5	12.4	4.9	0.0	6.4	9.3	13.1	24.1	20.6	18.5	36.9
1978	40.9	28.5	12.9	13.2	6.0	8.9	4.1	1.4	10.6	13.1	25.9	18.5	40.9
1979	14.4	32.1	17.3	13.2	6.4	0.0	4.9	11.0	6.1	8.0	8.3	13.3	32.1
1980	14.5	19.9	18.8	6.4									19.9
1981							0.6	11.8	17.4	36.7	22.1	16.0	36.7
1982	23.5	38.0	19.1	32.5	4.0	1.8	0.0	10.6	11.0	15.2	26.7	8.5	38.0

1983	28.7	10.6	14.6	19.5									28.7
1988	19.6	31.5	22.0	16.5	9.0	0.0	0.0	0.0	8.3	3.9	14.6	19.3	31.5
1989	29.9	11.7	19.9	8.4	11.6	6.8	2.7	7.2	17.6	9.0	10.8	25.3	29.9
1990	26.2	12.6	10.6	23.6	4.6	20.4	1.4	16.3	10.0	14.3	18.7	13.8	26.2
1991	21.9	8.0	11.9	4.5	4.3	20.4	3.5	0.0	20.2	11.0	9.1	12.7	21.9
1992	14.9	12.0	15.8	13.7	0.0	6.6	8.2	14.6	4.9	15.5	15.1	16.2	16.2
1993	17.0	37.3	14.7	10.5	6.8	7.2	9.2	9.1	17.6	19.5	10.7	18.2	37.3
1994	13.5	16.7	20.0	27.2	2.9	5.8	0.0	12.6	8.9	9.3	12.5	36.7	36.7
1995	35.2	14.0	27.9	5.8	18.8	1.3	1.2	1.0	6.5	18.6	28.6	21.8	35.2
1996	27.4	15.9	29.7	17.0	1.6	0.0	0.5	8.7	8.2	9.0	12.6	16.1	29.7
1997	29.2	24.5	37.8	12.7	3.9	0.0	4.0	10.0	16.1	4.0	12.3	26.1	37.8
1998	22.3	38.3	43.6	5.5	6.2	2.7	0.0	2.5	4.5	41.3	15.5	9.6	43.6
1999	22.6	24.0	23.7	6.2	0.5	3.5	6.4	0.0	28.4	11.2	24.2	22.4	28.4
2000	26.7	26.5	23.5	7.4	17.0	7.0	13.4	2.5	5.5	8.3	3.6	18.7	26.7
2001	19.5	21.2	28.5	12.0	16.0	1.8	18.0	6.7	21.3	28.7	19.9	18.5	28.7
2002	18.3	20.8	22.0	7.3	13.4	1.4	21.9	8.8	20.1	17.6	14.7	27.0	27.0
2003	7.0	32.4	25.8	31.5	9.5	2.6	0.3	14.3	10.8	1.0	10.8	27.4	32.4
2004	10.8	23.0	17.9	3.6	5.9	5.2	11.7	8.7	14.3	9.0	12.8	20.3	23.0
2005	9.7	28.2	32.7	21.7	10.7	0.6	6.4	0.6	9.0	12.1	21.8	31.0	32.7
2006	20.7	17.9	21.1	14.5	1.2	2.4	0.0	5.3	3.1	20.5	14.0	12.8	21.1
2007	17.8	23.4	33.2	28.2	5.5	0.0	7.7	1.3	13.0	16.2	14.5	21.0	33.2
2008	23.0	24.6	16.8	11.0	16.4	6.4	4.8	0.7	20.0	17.8	18.1	20.0	24.6
2009	27.6	46.8	7.8	14.9	9.0	0.4	2.0	4.4	9.2	8.4	21.4	14.2	46.8
2010	18.1	25.3	18.7	8.1	3.9	0.0	6.6	7.4	7.5	21.8	10.0	28.5	28.5
2011	19.3	18.6	32.1	23.0	9.9	4.2	3.1	2.1	23.6	13.4	16.6	14.0	32.1
2012	21.2	28.7	22.0	8.7	8.9	9.6	17.1	10.6	18.7	18.5	15.5	3.1	28.7
2013	23.0	20.0	17.0	7.1	11.4	4.4	3.7	25.2	14.3	37.9	33.9	24.3	37.9
2014	22.0	31.2	29.7	9.8	5.1	0.0	11.4	1.8	14.1	16.8	12.1	20.5	31.2

Cuadro N° 4.8 :
Estación Wayllapampa Precipitación máxima en 24hr (mm)

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MÁXIMO
2003	10.4	50.8	22.6	31.4	3.7	1.9	0.0	6.2	5.4	0.0		17.9	50.8
2004	40.8	14.8	9.4	3.5	3.9	3.2	8.4	5.7	6.4	13.5	7.8	17.3	40.8
2005	21.8	19.0	9.1	4.2	17.6	0.0	3.1	4.9	2.3	16.0	11.4	11.4	21.8
2006	32.3	15.8	16.8	7.6	7.4	2.3	2.3	6.5	12.8	18.5	13.7	16.0	32.3
2007	13.9	18.5	19.6	14.4	14.5	9.6	3.2	4.4	3.9	17.9		13.1	19.6
2008	15.0	23.6	13.0	6.0	13.3	2.7	0.3	3.6	7.3	5.6	10.2	17.0	23.6
2009	27.3	25.7	10.7	11.9	9.3	0.4	2.2	4.9	3.2	18.7	14.5	29.7	29.7
2010	18.7	17.1	12.7	7.3	3.3	0.0	2.1	7.8	5.9	7.4	5.7	18.0	18.7
2011	22.4	32.3	26.8	14.4	8.8	0.1	4.7	0.5	13.3	11.4	26.0	17.0	32.3
2012	15.1	19.7	15.6	20.3	27.6	7.2	9.5	1.3	16.8	13.2	19.3	24.8	27.6
2013	18.9	17.9	30.4	8.1	3.7	1.2	3.1	24.3	19.4	37.7	18.9	14.8	37.7
2014	20.8		28.2	8.5	5.4	0.0	1.3	4.0	11.3	20.2	7.2	34.4	34.4

Cuadro N° 4.9 :
Estación San Miguel Precipitación máxima en 24hr (mm)

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MÁXIMO
1964	10.1	19.5	17.0	9.5	14.0	0.6	0.0	0.5	9.5	9.5	18.2	10.0	19.5
1965	14.2	17.4	9.9	3.8	4.1	0.0	5.0	2.7	12.7	24.0	12.0	16.5	24.0
1966	20.0	38.0	15.7	3.5	23.8	0.0	4.0	0.0	1.3	34.7	14.7	11.0	38.0
1967	20.8	20.5	21.3	21.0		6.0	4.0	3.0	4.8	8.6	6.0	10.5	21.3
1968	20.3	15.5	14.5	5.9	2.2	1.0	13.3	7.0	3.8	12.0	18.5	29.0	29.0
1969	10.0	13.6	18.0	9.6		0.5	4.8	2.0	4.9	11.7	12.0	8.2	18.0
1970	33.8	13.2	16.0	15.0	0.0	6.5	0.0	0.0	11.8	9.0	16.4	15.6	33.8
1971	23.6	14.2	14.3	0.0	2.0	7.2	0.0	0.0	2.0	8.0	12.4	28.6	28.6
1972	19.0	14.2	16.4	0.0	6.2	2.8	11.6	5.2	6.8	9.4	12.7	11.0	19.0
1973	27.0	19.4	7.6	10.8	3.0	0.0	3.4	11.6	4.6	7.0	11.4	24.0	27.0
1974	17.6	16.0	31.7	4.2	0.0	0.0	0.0	6.0	0.0	0.0	10.0	9.5	31.7
1975	26.5	14.5	17.5	6.0	5.8	1.0	0.5	2.8	7.5	8.5	18.1	23.5	26.5
1976	13.5	25.2	22.5	8.6	5.6	11.0	0.0	1.0	7.0	2.5	4.5	4.0	25.2
1977	6.0	8.5	9.0		5.0	1.5	2.0	1.5	6.5	10.0	15.0	9.6	15.0
1978	9.2	9.8	8.2	5.8	3.4	6.8	4.8	4.8	5.0	20.8	9.1	5.8	20.8
1979	8.2	5.4	8.4	1.8	0.0	0.0	0.0	16.0	2.5	2.9	20.0	2.8	20.0
1980		3.0		6.5	0.0	9.8	3.8	2.5	5.4	6.4	3.7	0.0	9.8
1981	25.6	26.6	6.5	0.0	0.0	0.0	0.0	6.9	9.1	0.0			26.6

Cuadro N° 4.10 :
Estación San Pedro de Cachi Precipitación máxima en 24hr (mm)

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MÁXIMO
1973			18.0	9.3	3.5	4.0	7.4	6.4	7.4	9.3	6.9	17.2	18.0
1974	25.0	38.7	112.4	5.6	1.8	8.4	2.1	21.5	6.1	12.6	15.5	11.6	112.4
1975	16.2	19.2	12.1	4.9	6.3	3.2	2.5	2.4	17.2	14.5	10.6	15.7	19.2
1976	41.6	26.0	23.8	18.8	23.3	8.6	4.5	5.2	16.6	14.6	9.4	12.2	41.6
1977	11.8	26.8	15.8	26.2	2.5	0.0	7.6	2.0	24.4	18.1	26.5	13.2	26.8
1978	24.7	18.5	15.2	14.7	0.2	10.2	0.0	0.8	16.5		25.2	13.9	25.2
1979	11.6	12.3	26.2	13.2	7.0	1.5	8.2	8.5	0.0	9.3	0.0	25.2	26.2
1980	12.4		25.8	7.8	6.5	0.0	3.7	2.3	12.5	22.4	12.8	18.5	25.8
1981	23.4	27.5	12.7	9.0	15.2	5.2	0.0	31.4	8.8	18.7	12.8	13.7	31.4
1982	10.2	22.1	10.7	12.6	1.8	2.2	3.0	9.8	6.2	18.4	18.9	16.8	22.1
1983	16.5	38.3	19.5	5.2	2.6	0.5	8.2	5.7	0.0	6.5	25.8	12.5	38.3
1984	22.0	27.1	14.5	14.5	5.2	10.2	1.8	8.7	6.5				27.1
1985								0.0	15.5	8.5	2.8	20.6	20.6
1986	31.1	28.9	42.3	18.8	14.9	0.0	3.5	10.0	12.6	21.3	24.3	18.2	42.3
1987	28.8	7.5	10.8	22.5	0.0	14.6	14.9	2.7	2.9	14.2	6.5	13.8	28.8
1988	11.3	18.5	12.5	6.8	11.2	0.0	1.8	1.5	0.0	8.5	12.8	15.6	18.5
1989	14.9	14.1	15.2	3.3	1.3	2.1	2.7	1.7	10.3	17.1	6.3	19.4	19.4
1990	11.9	6.5	8.2	4.5	7.2	1.5	1.8	4.0	2.2	8.2	18.5	14.5	18.5

1991	11.9	10.2	14.4	3.7	0.0	5.8	0.0	0.0	3.1	15.3	12.5	5.2	15.3
1992	15.0	4.5	8.7	0.0	0.0	4.2	0.0	8.2	4.0	12.7	6.5	4.2	15.0
1993	4.2	7.1	16.1	12.8	3.5	2.8	3.0	11.3	10.2	10.3	17.5	17.5	17.5
1994	26.0	19.8	21.7	7.5	13.2	8.8	0.0	0.8	5.5	14.4	13.5	18.1	26.0
1995	14.5	16.7	20.8	9.2	2.0	6.6	0.9	8.5	4.2	23.3	23.9	10.6	23.9
1996	13.6	18.3	28.5	30.7	0.4	2.3	2.7	20.3	14.5	21.5	35.0	25.0	35.0
1997	27.7	46.1	15.0	9.8	5.0	0.0	3.5	9.2	13.2	7.4	22.8	26.2	46.1
1998	28.5	38.4	19.8	5.5	0.2	2.0	0.0	8.8	0.8	16.0	10.4	22.0	38.4
1999	20.5	28.0	27.0	18.0	2.1	2.6	2.0	1.5	14.5	13.3	16.5	10.7	28.0
2000	19.7	35.0	15.6	5.9	9.3	4.5	14.5	4.0	3.5	18.5	9.2	22.6	35.0
2001	17.3	19.2	33.7	11.2	8.7	2.5	9.8	5.7	4.0	15.0	21.2	17.8	33.7
2002	21.8	18.4	22.6	8.3	9.2	2.2	9.5	4.4	6.8	16.1	12.0	21.6	22.6
2003	16.6	32.0	15.9	27.2				12.6	8.4	5.0	25.0	15.5	32.0
2004	6.5	24.1	17.6	9.6	4.6	12.6	6.0	5.8	7.1	12.0	12.9	28.2	28.2
2005	16.4	33.2	16.0	3.8	3.2	0.0	6.5	5.0	8.3	17.2	10.4	26.4	33.2
2006	18.5	29.2	15.6	15.6	2.5	5.4	0.0	6.0	13.2	25.4	10.2	29.3	29.3
2007	21.2	18.8	47.5	13.6	3.8	0.0	4.0	0.0	5.8	14.3	8.2		47.5
2008	15.4	17.6	13.5	3.6	11.8	4.5	0.0	0.9	9.2	6.8	5.6	27.8	27.8
2009	27.8	35.5	23.4	22.5	6.0	0.0	11.8	1.5	4.8	7.8	17.2	23.3	35.5
2010	31.2	22.4	14.8	14.5	4.9	0.5	3.2	7.3	12.4	8.6	15.0	31.1	31.2
2011	24.0	28.6	26.5	45.0	3.0	0.0	7.0	0.5	6.0	17.0	13.3	14.8	45.0
2012	15.6	29.6	23.6	8.0	15.0	13.0	9.5	3.4	20.6	18.5	12.2	23.6	29.6
2013	30.8	18.0		6.1	32.4	1.6	6.3	17.0	8.7	14.7	16.5	23.7	32.4
2014	35.2	12.4	24.6	15.8	14.2								35.2

Cuadro N° 4.11 :
Cuadro Resumen

DATOS	AÑOS	HUAMANGA	ALLPACHACA	QUINUA	WAYLLAPAMPA	SAN MIGUEL	SAN PEDRO DE CACHI	Pmáx
1	1964			17.0		19.5		19.5
2	1965			25.0		24.0		25
3	1966		25.00	34.0		38.0		38
4	1967		49.00	40.0		21.3		49
5	1968		26.00	27.9		29.0		29
6	1969		16.80	20.2		18.0		20.2
7	1970	29.00	37.60	33.1		33.8		37.6
8	1971	46.60	27.90	55.8		28.6		55.8
9	1972	20.20	35.40	26.6		19.0		35.4
10	1973	32.00	48.30	41.0		27.0	18.0	48.3
11	1974	26.00	40.10	41.2		31.7	112.4	112.4
12	1975	23.00	20.00	25.9		26.5	19.2	26.5
13	1976	30.50	26.40	31.1		25.2	41.6	41.6
14	1977	26.00	27.40	36.9		15.0	26.8	36.9
15	1978	10.00	33.80	40.9		20.8	25.2	40.9
16	1979	16.00	51.00	32.1		20.0	26.2	51

17	1980	44.40	26.00	19.9		9.8	25.8	44.4
18	1981	19.50	41.50	36.7		26.6	31.4	41.5
19	1982	44.50	29.40	38.0			22.1	44.5
20	1983	24.40		28.7			38.3	38.3
21	1984	48.00					27.1	48
22	1985	25.80					20.6	25.8
23	1986	30.00					42.3	42.3
24	1987	24.20					28.8	28.8
25	1988	23.00		31.5			18.5	31.5
26	1989	26.00		29.9			19.4	29.9
27	1990	30.00		26.2			18.5	30
28	1991			21.9			15.3	21.9
29	1992			16.2			15.0	16.2
30	1993			37.3			17.5	37.3
31	1994			36.7			26.0	36.7
32	1995			35.2			23.9	35.2
33	1996			29.7			35.0	35
34	1997			37.8			46.1	46.1
35	1998			43.6			38.4	43.6
36	1999			28.4			28.0	28.4
37	2000			26.7			35.0	35
38	2001			28.7			33.7	33.7
39	2002			27.0			22.6	27
40	2003			32.4	50.8		32.0	50.8
41	2004			23.0	40.8		28.2	40.8
42	2005			32.7	21.8		33.2	33.2
43	2006			21.1	32.3		29.3	32.3
44	2007			33.2	19.6		47.5	47.5
45	2008			24.6	23.6		27.8	27.8
46	2009			46.8	29.7		35.5	46.8
47	2010			28.5	18.7		31.2	31.2
48	2011			32.1	32.3		45.0	45
49	2012			28.7	27.6		29.6	29.6
50	2013			37.9	37.7		32.4	37.9
51	2014			9.8	28.2		35.2	35.2
							PROMEDIO	37.771
							SUMA	1926.300
							DESV.ESTANDAR	13.928
							$\alpha =$	10.860
							$\beta =$	31.503

4.8 Métodos de estimación de erosión hídrica

4.8.1 Método de clavos y Rondanas

El método de clavos y rondanas puede considerarse uno de los más sencillos y fáciles de aplicar para cuantificar las pérdidas de suelo ocasionadas por la erosión hídrica. Su efectividad ha sido validada en la Cuenca Sur del Lago de Managua, en terrenos con diferentes grados de pendientes y con cultivos diversos. El término rondana se toma como sinónimo de arandela, palabra más común en este país. Se utilizará la primera por estar reconocida desde el origen del método.

El método consiste en utilizar clavos con rondanas, colocados a lo largo de un transecto a intervalos regulares (Fig. 4.17). La rondana se coloca de manera que descansa sobre la superficie del suelo, tocando ligeramente la cabeza del clavo (Colegio Postgraduados Chapingo 1982). El propósito de la rondana es marcar cortes en el terreno ocasionados por erosión y de esta forma medir el espesor de la capa de suelo perdido (Fig. 4.18).

Figura N° 4.18:
Colocación de las rondanas

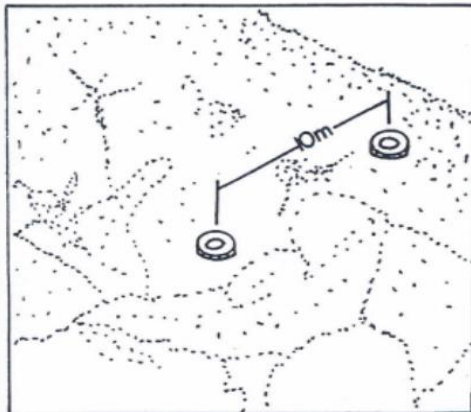


Figura N° 4.19:
Medición de lámina pérdida

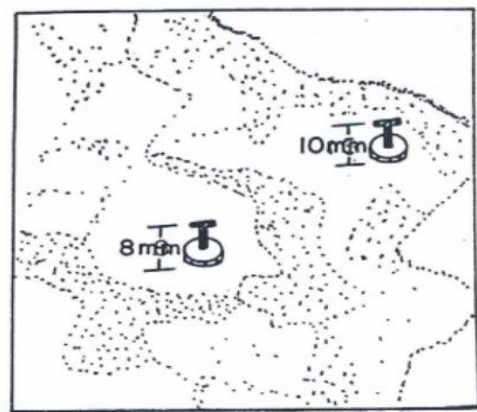


Figura N° 4.20:
Método de Clavos

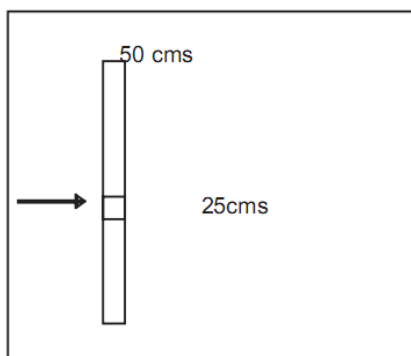


Figura N° 4.21:
Pérdida de suelo en rondanas modificado milímetros

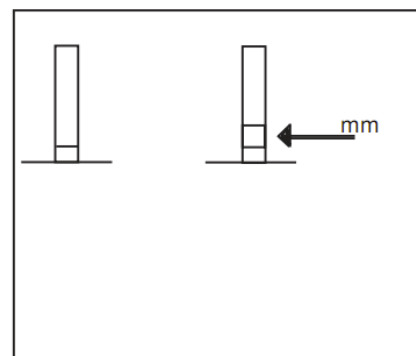
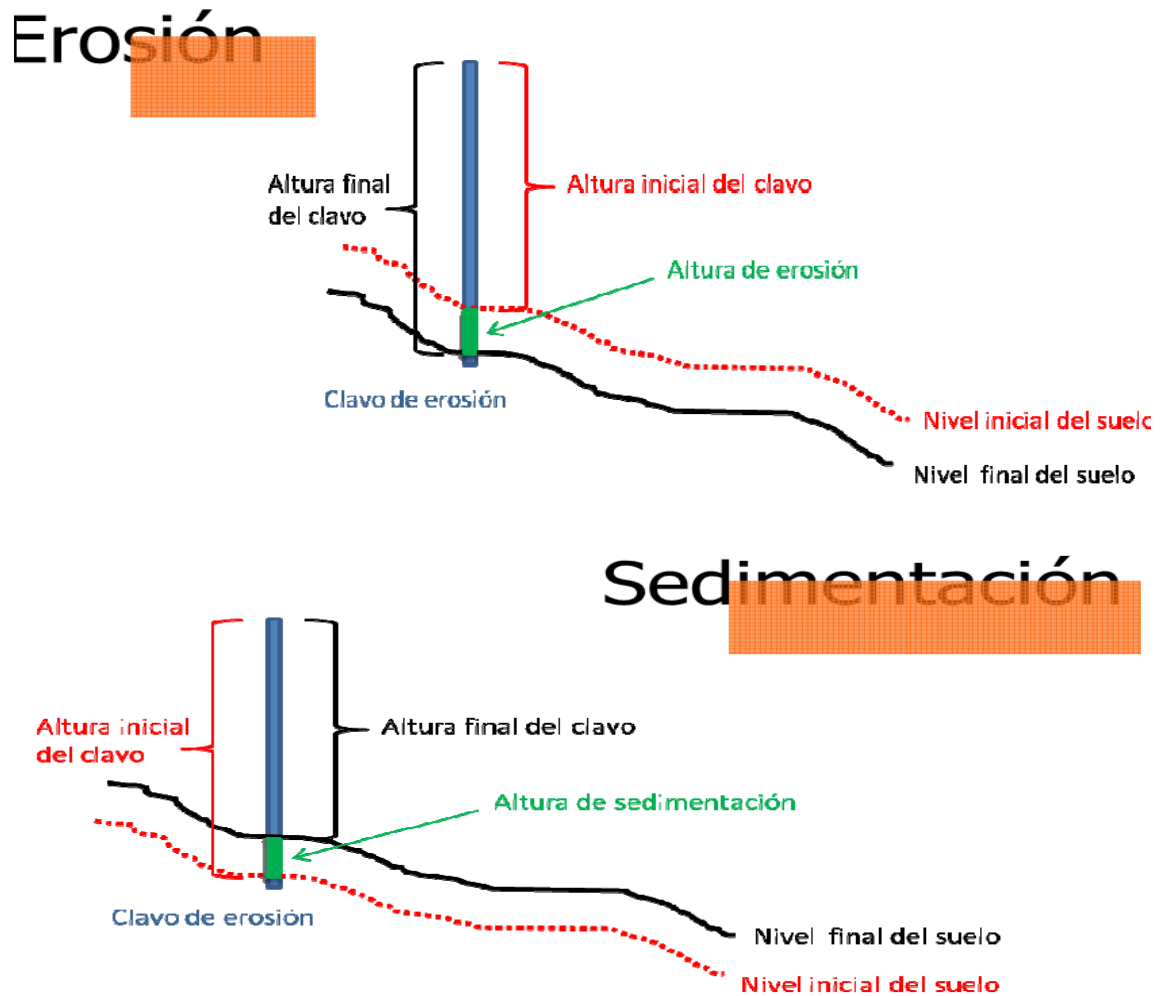


Figura N° 4.22:
Erosión y sedimentación



- **Cuantificación de Pérdidas:** La cuantificación de los resultados se hace a través de la siguiente fórmula:

$$P = H * A * DAP$$

Donde:

P= pérdida de suelo

H= altura de la lámina pérdida

A= área medida

DAP= densidad aparente

Para complementar el análisis de los resultados se debe tomar en cuenta los registros de las precipitaciones que se dieron en el período que duró la investigación y correlacionarla con la cantidad de suelo perdido.

Figura N° 4.23:
Midiendo altura libre en estacas



Cuadro N° 4.12 :
Registro de altura libre en estacas de la quebrada Arroyo Seco.

Punto	Coordenadas	Altura Libre Sur	Altura Libre		perdida(cm)
	Este		Inicial (cm)	Final (cm)	
1	5823562.40	8545058.90	15.2	25.40	10.20
2	582556.42	8545071.58	21.2	30.55	9.35
3	582550.17	8545083.72	9.6	17.95	8.35
4	582530.66	8545091.55	12.6	19.82	7.22
5	582503.87	8545095.17	18.3	24.63	6.33
6	582474.17	8545108.93	19.2	24.87	5.67
7	582446.93	8545121.50	10.5	16.86	6.36
8	582397.56	8545127.93	14.3	21.48	7.18
9	582356.61	8545127.50	17.2	20.93	3.73
10	582334.24	8545121.76	12.1	14.88	2.78
11	582263.41	8545150.78	19.4	22.22	2.82
12	582232.71	8545147.29	8.3	9.55	1.25
13	582185.16	8545134.71	12.4	13.78	1.38
14	582142.77	8545121.62	20.5	21.66	1.16
15	582101.09	8545127.10	12.4	13.38	0.98
16	582075.72	8545125.80	13.2	13.91	0.71
17	582548.56	8545069.79	14.3	15.66	1.36
18	582531.26	8545072.88	17.5	19.06	1.56
19	582520.36	8545072.42	8.5	9.79	1.29
20	582519.73	8545085.13	12.6	14.00	1.40
21	582493.17	8545074.17	14.5	16.01	1.51
22	582490.00	8545091.47	12.7	14.46	1.76
23	582466.86	8545083.36	14.7	16.72	2.02

Punto	Coordenadas	Altura Libre Sur	Altura Libre Inicial (cm)	Altura Final (cm)	perdida(cm)
	Este				
24	582468.08	8545096.46	18.6	25.14	6.54
25	582470.04	8545104.53	14.3	19.90	5.60
26	582476.13	8545090.34	18.5	26.95	8.45
27	582444.94	8545113.26	16.3	17.79	1.49
28	582408.78	8545118.58	18.4	18.98	0.58
29	582395.37	8545098.54	12.3	12.57	0.27
30	582375.27	8545115.16	20.2	21.51	1.31
31	582353.13	8545119.72	9.6	10.07	0.47
32	582351.75	8545086.31	13.2	15.51	2.31
33	582333.04	8545111.11	15.3	18.03	2.73
34	582332.39	8545115.06	12.5	18.08	5.58
35	582279.55	8545066.37	14.5	21.95	7.45
36	582267.15	8545113.06	12.5	20.75	8.25
37	582229.81	8545150.12	18.5	24.37	5.87
38	582204.46	8545214.64	19.2	22.45	3.25
39	582166.70	8545203.71	12.9	19.22	6.32
40	582167.84	8545230.87	15.4	16.36	0.96
41	582157.90	8545189.41	18.6	19.22	0.62
42	582157.62	8545172.89	11.2	13.51	2.31
43	582151.22	8545147.85	8.4	8.90	0.50
44	582153.20	8545127.76	21.5	26.52	5.02
45	582159.99	8545103.52	9.5	12.26	2.76
46	582157.87	8545076.96	10.6	12.22	1.62
47	582133.28	8545160.40	12.5	14.37	1.87
48	582127.81	8545123.91	17.4	22.02	4.62
49	582108.60	8545090.69	11.1	13.57	2.47
50	582100.88	8545060.97	18.3	19.59	1.29
51	582070.89	8545101.50	12.5	13.77	1.27
52	582060.73	8545067.90	18.2	18.67	0.47
53	582049.65	8545208.76	21.5	22.21	0.71
54	582029.48	8545158.08	17.5	17.86	0.36
55	582145.72	8545036.22	14.2	14.78	0.58
56	582150.52	8545064.65	12.6	12.91	0.31
57	582152.70	8545086.32	6.5	6.95	0.45
58	582153.99	8545111.71	14.1	14.60	0.50
59	582152.78	8545127.16	9.2	12.44	3.24
60	582152.21	8545148.00	12.6	12.96	0.36
61	582166.27	8545162.34	14.5	14.75	0.25
62	582168.50	8545140.05	18.2	18.40	0.20

Punto	Coordenadas		Altura Libre Inicial (cm)	Altura Final (cm)	perdida(cm)
	Este	Sur			
63	582171.94	8545127.57	20.4	25.80	5.40
64	582173.81	8545111.02	20.5	21.46	0.96
65	582171.57	8545085.64	8.2	8.55	0.35
66	582176.49	8545057.02	12.5	13.34	0.84
67	582181.26	8545044.61	14.2	14.78	0.58
68	582188.91	8545066.23	18.3	18.66	0.36
69	582191.09	8545113.48	11.2	11.65	0.45
70	582210.14	8545142.65	12.5	13.12	0.62
71	582212.16	8545167.74	17.2	17.51	0.31
72	582211.57	8545143.37	20.4	21.64	1.24
73	582215.27	8545171.56	18.5	18.86	0.36
74	582222.95	8545146.93	14.2	14.73	0.53
75	582219.06	8545116.61	19.5	19.77	0.27
76	582217.71	8545093.17	14.2	14.33	0.13
77	582230.06	8545061.61	19.5	19.62	0.12
78	582232.09	8545094.17	14.5	15.35	0.85
79	582240.79	8545113.25	18.5	18.74	0.24
80	582245.44	8545151.01	11.8	13.67	1.87
81	582237.02	8545175.95	7.3	8.50	1.20
82	582257.50	8545174.72	12.5	12.85	0.35
83	582266.37	8545150.48	16.1	19.30	3.20
84	581921.36	8545197.60	9.7	10.05	0.35
85	581946.74	8545214.07	10.2	10.62	0.42
86	581986.20	8545195.02	21.3	21.48	0.18
87	581972.45	8545162.79	7.5	7.72	0.22
88	582028.40	8545177.34	16.4	16.88	0.48
89	582022.32	8545150.93	14.2	14.50	0.30
90	581990.31	8545118.58	19.5	19.86	0.36
91	581962.74	8545112.30	14.7	15.54	0.84
92	581999.59	8545061.10	11.4	12.25	0.85
93	582024.22	8545033.83	5.2	6.40	1.20
94	582007.89	8545012.90	17.2	17.65	0.45
95	582077.36	8544998.30	22.3	23.43	1.13
96	582076.10	8545012.77	11.5	15.62	4.12
97	582075.36	8545030.02	18.3	19.14	0.84
98	582080.58	8545071.90	11.6	12.69	1.09
99	582078.55	8545100.02	14.3	15.43	1.13
100	582077.01	8545124.85	7.5	10.35	2.85
101	582078.04	8545141.43	12.6	15.80	3.20

Punto	Coordenadas		Altura Libre Inicial (cm)	Altura Libre Final (cm)	perdida(cm)
	Este	Sur			
102	582088.52	8545160.94	16.1	16.82	0.72
103	582098.73	8545156.25	20.3	20.72	0.42
104	582112.72	8545152.63	11.5	11.85	0.35
105	582116.68	8545134.02	8.1	9.23	1.13
106	582119.18	8545124.56	14.3	20.80	6.50
107	582120.95	8545109.41	18.2	18.54	0.34
108	582120.17	8545088.54	17.3	18.14	0.84
109	582125.60	8545063.75	18.3	19.61	1.31
110	582136.72	8545041.76	20.2	21.47	1.27
111	582272.03	8545121.65	15.6	16.80	1.20
112	582289.79	8545108.32	14.3	16.54	2.24
113	582291.82	8545085.01	11.5	12.74	1.24
114	582276.36	8545175.31	12.5	13.63	1.13
115	582322.70	8545041.79	19.3	20.39	1.09
116	582331.58	8545077.44	6.8	8.09	1.29
117	582349.06	8545111.96	14.6	15.76	1.16
118	582388.47	8545107.89	21.5	22.00	0.50
119	582464.48	8545075.72	12.8	14.04	1.24
120	582436.81	8545110.48	10.5	12.75	2.25
121	582434.35	8545137.07	9.3	10.48	1.18
122	582460.80	8545123.62	20.5	28.84	8.34
123	582484.32	8545131.71	7.5	8.77	1.27
124	582514.22	8545112.15	12.7	13.90	1.20
125	582526.09	8545101.31	8.6	9.35	0.75
126	582545.73	8545111.26	10.2	11.44	1.24
127	582548.10	8545094.81	18.4	19.05	0.65
128	582563.85	8545089.23	21.9	23.30	1.40
129	582512.83	8545065.42	13.5	13.92	0.42
130	582476.26	8545068.60	11.6	12.78	1.18
131	582432.57	8545067.90	19.2	20.47	1.27
132	582517.47	8545056.56	9.2	10.04	0.84
133	582563.85	8545078.15	10.6	25.20	14.60
134	582514.48	8545093.13	21.4	34.80	13.40
135	582316.65	8545047.19	12.8	15.51	2.71
Prom. Altura erosionada				2.24	

Cuadro N° 4.13 :

Registro de altura libre en estacas de la quebrada Prolongación San Martín

Punto	Coordenadas		Altura Libre Inicial (cm)	Altura Libre Final (cm)	Altura perdida(cm)
	Este	Sur			
1	581740.2	8545228.77	18.4	18.6	0.2
2	581797.34	8545216.1	24.6	25.1	0.5
3	581903.61	8545262.32	12.7	13	0.3
4	581963.66	8545431.54	18.6	19.3	0.7
5	582015.68	8545408.92	25.1	25.7	0.6
6	582006.83	8545453.13	14.6	16.2	1.6
7	582081.14	8545487.46	22.7	23.6	0.9
8	582115.31	8545491.45	16.5	18.3	1.8
9	582147.11	8545478.84	23.5	24.7	1.2
10	582162.77	8545493.47	16.2	16.4	0.2
11	582154.37	8545468.41	15.1	16.7	1.6
12	582096.39	8545403.5	12.5	12.8	0.3
13	582092.88	8545382.06	10.2	10.6	0.4
14	582091.4	8545373.47	14.3	14.7	0.4
15	582063.35	8545347.62	21.5	22.8	1.3
16	582068.65	8545372.99	16.3	17.1	0.8
17	582052.53	8545342.38	8.4	9.5	1.1
18	582032.83	8545321.15	12.5	13.1	0.6
19	582022.17	8545298.76	11.2	12.5	1.3
20	581965.11	8545287.82	9.4	10	0.6
21	581987.36	8545273.23	12.5	12.9	0.4
22	582026.68	8545225.06	14.6	15.8	1.2
23	582075	8545207.46	12.4	12.7	0.3
24	582085.59	8545234.4	14.6	15.2	0.6
25	582070.99	8545268.23	26.3	28.1	1.8
26	582079.33	8545284.25	9.1	9.7	0.6
27	582089.83	8545292.05	6.5	6.9	0.4
28	582089.43	8545259.29	12.6	13.2	0.6
29	582089.31	8545276.18	15.8	17.6	1.8
30	582196.28	8545267.95	21.5	24.9	3.4
31	582103.08	8545266.06	8.2	10.8	2.6
32	582114.04	8545265.5	15.9	18.3	2.4
33	582122.19	8545268.25	22.3	26.7	4.4
34	582130.19	8545269.6	9.6	14.7	5.1
35	58212719	8545276.92	11.5	13.1	1.6
36	582137.3	8545263.23	17.3	21.8	4.5
37	582146.38	8545259.48	9.8	15.4	5.6

Punto	Coordenadas		Altura Libre Inicial (cm)	Altura Libre Final (cm)	Altura perdida(cm)
	Este	Sur			
38	582160.08	8545253.57	14.2	16.5	2.3
39	582167.79	8545250.96	12.6	17	4.4
40	582179.65	8545247.21	19.1	20.6	1.5
41	582193.63	8545237.96	7.6	15	7.4
42	582200.46	8545232.12	18.6	19.9	1.3
43	582215.42	8545227.72	21.5	25.8	4.3
44	582231.02	8545227.37	18.7	19.1	0.4
45	582102.9	8545336.39	22.4	22.6	0.2
46	582109.81	8545326.83	15.7	17	1.3
47	582127.03	8545322.54	23.1	25.4	2.3
48	582137.97	8545321.26	16.9	21.4	4.5
49	582167.08	8545311.39	7.6	10.8	3.2
50	582186.8	8545299.89	14.2	19.6	5.4
51	582201.62	8545293.12	20.3	24.1	3.8
52	582234.4	8545269.97	11.8	14.2	2.4
53	582259.57	8545247.46	15.3	21.6	6.3
54	582272.36	8545232.93	9.2	13.8	4.6
55	582143.28	8545400.06	5.8	9.3	3.5
56	582154.03	8545392.27	16.4	21.1	4.7
57	582169.38	8545387.81	21.8	27	5.2
58	582181.02	8545385.48	15.2	19.5	4.3
59	582196.99	8545378.36	14.2	21.6	7.4
60	582210.3	8545374.28	22.1	25.3	3.2
61	582224.88	8545366.07	15.3	19.9	4.6
62	582239.41	8545357.91	23.5	28.6	5.1
63	582250.1	8545353.96	14.3	17.9	3.6
64	582261.08	8545351.19	12.6	19.8	7.2
65	582162.41	8545456.7	23.5	26.1	2.6
66	582176.01	8545448.36	13.6	16	2.4
67	582182.95	8545437.44	15.1	19.3	4.2
68	582150.78	8545434.9	18.2	23.5	5.3
69	582159.04	8545437.17	20.4	25.6	5.2
70	582173.1	8545434.06	9.3	13.6	4.3
71	582182.52	8545433.12	16.5	18.9	2.4
72	582189.43	85453425	13.8	19	5.2
73	582197.14	8545414.3	20.3	27.6	7.3
74	582205.72	8545406.58	18.2	26.6	8.4
75	582220.33	8545392.63	14.8	22.9	8.1
76	582234.09	8545378.98	12.1	19.6	7.5

Punto	Coordenadas		Altura Libre Inicial (cm)	Altura Libre Final (cm)	Altura perdida(cm)
	Este	Sur			
77	582245.7	8545369.21	9.2	14.6	5.4
78	582256.45	8545358.28	14.6	22.8	8.2
79	582275.71	8545343.59	12.6	17.2	4.6
80	582292.15	8545338.02	18.5	24.9	6.4
81	582301.43	8545334.5	21.2	28.5	7.3
82	582315.73	8545334.19	9.4	14.6	5.2
83	582087.21	8545197.81	20.2	20.6	0.4
84	582081.56	8545190.76	17.5	17.8	0.3
85	582115.07	8545244.2	14.8	15	0.2
86	582089.09	8545231.17	12.7	13.2	0.5
87	582102.94	8545251.27	16.2	16.4	0.2
88	582136.61	8545250.97	9.5	10.3	0.8
89	582148.11	8545243.19	13.6	15.5	1.9
90	582148.44	8545228.77	20.4	21.8	1.4
91	582153.77	8545213.25	11.5	12.1	0.6
92	582166.53	8545236.19	19.5	20.3	0.8
93	582177.18	8545238.46	8.6	9.9	1.3
94	582176.22	8545224.06	9.5	10.7	1.2
95	582184.13	8545200.37	12.7	13.6	0.9
96	582192.07	8545215.04	24.3	25.6	1.3
97	582262.37	8545224.69	8.2	10	1.8
98	582201.36	8545197.74	1.5	2.1	0.6
99	582208.17	8545211.74	9.6	10.8	1.2
100	582216.73	8545221.44	12.3	14	1.7
101	582203.95	8545185.9	21.4	22.8	1.4
102	582218.79	8545209.69	14.8	16.6	1.8
103	582225.74	8545187.98	18.2	19.5	1.3
104	582227.69	8545152.67	22.6	23.8	1.2
105	582245.22	8545186.84	9.2	10.9	1.7
106	582252.49	8545215.98	14.5	16.1	1.6
107	582269.7	8545204.7	12.4	12.6	0.2
108	582267.63	8545179.04	19.1	20.6	1.5
109	582107.09	8545284.26	14.5	14.9	0.4
110	582119.88	8545303.47	20.4	20.8	0.4
111	582132.36	8545339.49	13.8	14.4	0.6
112	582175.3	8545421.59	18.4	19.2	0.8
113	582186.76	8545462.35	12.6	13.2	0.6
114	582218.14	8545441.83	14.5	15	0.5
115	582184.47	8545400.82	22.1	22.8	0.7

Punto	Coordenadas		Altura Libre Inicial (cm)	Altura Libre Final (cm)	Altura perdida(cm)
	Este	Sur			
116	582177.34	8545370.76	14.9	15.7	0.8
117	582148.2	8545328.14	12.5	13.6	1.1
118	582151.32	8545303.49	18.4	20	1.6
119	582148.6	8545268.69	22.7	24.1	1.4
120	582150.4	8545224.86	11.2	11.9	0.7
121	582182.34	8545263.69	14.8	16.1	1.3
122	582209	8545279.51	20.5	21.6	1.1
123	582231.2	8545297.15	9.6	10.4	0.8
124	582241.79	8545319.91	13.5	14.4	0.9
125	582259.33	8545343.79	18.5	20.1	1.6
126	582280.49	8545372.66	12.6	13.7	1.1
127	582305.01	8545366.27	21.1	21.7	0.6
128	582304.52	8545359.78	12.5	13.8	1.3
129	582289.93	8545308.05	14.6	16.2	1.6
130	582282.78	8545271.62	17.2	18.1	0.9
131	582278.15	8545243.92	22.3	24	1.7
132	582272.81	8545215.03	18.5	19.8	1.3
133	582262.92	8545193.25	18.5	19	0.5
134	582219.28	8545184.28	14.2	15.8	1.6
135	582257.97	8545312.54	18.2	19.3	1.1
136	582307.47	8545365.52	14.5	16.1	1.6
137	582325.53	8545231.88	18.2	18.5	0.3
138	582351.63	8545252.79	14.1	14.9	0.8
139	582384.45	8545273.28	18.2	20.8	2.6
140	582313.3	8545273.64	19.2	25.7	6.5
141	583453.27	8545285.09	14.5	15	0.5
142	582456.23	8545254.63	12.7	14.3	1.6
143	582446.05	8545237.84	8.4	12.9	4.5
144	58248.91	8545211.17	15.2	20.8	5.6
145	582498.89	8545201.28	22.5	27	4.5
146	582509.65	8545198.07	17.3	20.9	3.6
147	852530.9	8545187.66	14.5	21.9	7.4
148	582553.38	8545173.56	18.5	26.7	8.2
149	582563.37	8545166.98	14.2	21.6	7.4
150	582527.61	8545200.58	19.5	24.7	5.2
151	582516.11	8545205.51	17.6	24.8	7.2
152	582502.69	8545192.2	14.2	16.6	2.4
153	582520.19	8545184.43	19.5	21.7	2.2
154	582536.14	8545175.1	14.3	15.6	1.3

Punto	Coordenadas		Altura Libre Inicial (cm)	Altura Libre Final (cm)	Altura perdida(cm)
	Este	Sur			
155	582540.54	8545167.09	11.5	11.8	0.3
156	582474.63	8545198.85	15.3	17.7	2.4
157	582481.25	8545206.96	20.2	21.3	1.1
158	582512.99	8545206.59	14.3	16.2	1.9
159	582492.38	8545215.81	18.5	18.9	0.4
160	582488.89	8545231.75	14.3	15.5	1.2
161	582517.13	8545200.9	15.2	16.4	1.2
162	582487.8	8545189.9	18.5	19.2	0.7
163	582426.86	8545189.85	17.2	17.7	0.5
164	582386.41	8545222.67	15.4	16.9	1.5
165	58288.24	8545868.11	14.9	15.3	0.4
166	582277.74	8545393.55	22.5	22.7	0.2
167	582184.69	8545277.17	9.5	14.6	5.1
168	582155.87	8545223.41	11.5	14.7	3.2
169	582169.61	8545271.13	18.4	21	2.6
170	582178.37	8545296.08	14.3	16.6	2.3
171	582190.96	8545360.53	11.3	12.4	1.1
172	582200.18	8545387.86	18.4	20.8	2.4
173	582213.23	8545418.95	12.1	13.4	1.3
174	582196.56	8545456.49	15.3	15.7	0.4
175	582147.33	8545377.41	18.2	18.9	0.7
176	582125.25	8545349.15	17.6	19	1.4
177	582147.23	8545385.75	15.2	15.4	0.2
178	582053.38	8545350.73	21.3	21.8	0.5
179	582067.63	8545392.51	7.6	8.0	0.4
180	582101.12	8545425.76	12.2	12.4	0.2
181	582038.77	8545425.7	15.3	15.6	0.3
				Prom. Altura(cm)	2.32

Cuadro N° 4.14 :
Registro de altura libre en estacas de la quebrada Yanaccacca

Punto	Coordenadas		Altura Libre Inicial (cm)	Altura Libre Final (cm)	Altura perdida(cm)
	Este	Sur			
1	582882.10	8545579.44	17.40	29.80	12.40
2	582855.73	8545582.49	14.50	25.10	10.60
3	582812.81	8545585.97	12.60	19.90	7.30
4	582791.94	8545921.96	9.40	15.90	6.50
5	582755.03	8545599.20	8.70	12.10	3.40
6	582707.05	8545624.79	9.20	11.50	2.30
7	845641.41	8545641.41	10.20	17.60	7.40
8	582662.37	8545656.28	14.20	16.70	2.50
9	582639.57	8545668.23	15.10	16.60	1.50
10	582623.14	8545680.80	17.40	25.70	8.30
11	582596.32	8545695.00	12.00	14.30	2.30
12	582576.66	8545708.81	8.40	14.90	6.50
13	582567.76	8545715.47	12.30	23.50	11.20
14	582558.70	8545721.89	16.50	22.70	6.20
15	582548.20	8545727.75	10.20	18.80	8.60
16	582534.91	8545731.89	12.70	15.90	3.20
17	582521.48	8545740.89	14.50	15.80	1.30
18	582520.41	8545747.17	18.20	28.70	10.50
19	582498.30	8545753.24	9.40	10.00	0.60
20	582486.98	8545757.88	10.60	12.70	2.10
21	582478.53	8545763.30	14.50	14.80	0.30
22	582471.69	8545770.91	18.20	19.40	1.20
23	582464.99	8545776.13	12.30	13.40	1.10
24	582461.32	8545781.22	15.40	16.20	0.80
25	582459.40	8545786.62	10.40	11.70	1.30
26	582455.30	8545796.22	12.40	12.60	0.20
27	582446.98	8545785.42	10.50	13.70	3.20
28	582424.60	8545793.89	13.20	13.40	0.20
29	582412.32	8545796.72	8.40	9.20	0.80
30	582360.69	8545734.08	12.50	12.80	0.30
31	582366.75	8545732.40	16.20	16.50	0.30
32	582375.91	8545727.49	18.10	20.50	2.40
33	582378.86	8545724.70	7.60	9.80	2.20
34	582389.48	8545715.70	13.50	14.10	0.60
35	582403.66	8545711.27	18.20	19.40	1.20
36	582407.61	8545713.11	10.50	12.30	1.80
37	582427.13	8545707.43	12.60	13.80	1.20
38	582441.41	8545706.64	9.20	11.80	2.60

Punto	Coordenadas		Altura Libre	Altura Libre	Altura perdida(cm)
	Este	Sur	Inicial (cm)	Final (cm)	
39	582451.53	8545704.12	15.30	22.60	7.30
40	582463.14	8545699.84	12.50	12.70	0.20
41	582457.19	8545702.15	14.50	15.00	0.50
42	582467.23	8545699.59	10.60	10.90	0.30
43	582476.92	8545693.97	15.40	17.00	1.60
44	582490.43	8545684.57	12.50	19.00	6.50
45	582500.01	8545674.46	10.60	14.10	3.50
46	582511.46	8545660.57	12.50	14.70	2.20
47	582528.39	8545654.04	16.40	17.60	1.20
48	582552.21	8545652.35	12.50	14.60	2.10
49	582568.21	8545650.42	15.60	15.70	0.10
50	582578.38	8545654.16	12.80	13.10	0.30
51	582592.17	8545651.07	17.30	19.40	2.10
52	582615.10	8545655.23	8.40	8.70	0.30
53	582626.89	8545664.25	6.40	8.20	1.80
54	582302.27	8545793.69	12.60	13.00	0.40
55	582669.55	8545635.00	10.20	12.70	2.50
56	582670.53	8545683.90	18.40	18.90	0.50
57	582681.18	8545711.15	19.30	19.90	0.60
58	582540.63	8545578.80	12.50	12.70	0.20
59	582528.44	8545638.22	10.40	14.70	4.30
60	582541.46	8545688.67	18.30	19.50	1.20
61	582609.94	8545721.42	14.50	15.10	0.60
62	582492.62	8545585.40	10.50	10.80	0.30
63	582427.97	8545628.53	16.40	16.60	0.20
64	582515.61	8545827.56	15.40	21.90	6.50
65	582249.25	8545660.74	10.40	13.60	3.20
66	582532.42	8545623.39	18.20	26.70	8.50
67	582523.30	8545646.91	14.50	18.80	4.30
68	582556.03	8545639.47	12.30	14.50	2.20
69	582630.69	8545630.00	14.50	15.30	0.80
70	582544.75	8545691.02	12.30	12.70	0.40
71	582578.20	8545696.47	10.50	11.80	1.30
72	582314.89	8545810.13	14.30	14.50	0.20
73	582364.00	8545854.20	15.60	15.90	0.30
74	582394.50	8545854.93	17.40	18.00	0.60
75	582446.64	8545836.20	10.40	11.60	1.20
76	582439.82	8545806.58	16.20	16.70	0.50
77	582421.47	8545770.32	8.70	9.50	0.80

Punto	Coordenadas		Altura Libre Inicial (cm)	Altura Libre Final (cm)	Altura perdida(cm)
	Este	Sur			
78	582404.68	8545733.34	10.50	11.90	1.40
79	582409.17	8545687.84	6.30	6.70	0.40
80	582406.34	8545689.27	12.60	13.10	0.50
81	582443.04	8545694.40	19.30	20.50	1.20
82	582442.65	8545663.47	12.50	12.70	0.20
83	582467.29	8545675.55	15.80	24.40	8.60
84	582486.02	8545712.15	8.50	9.10	0.60
85	582502.60	8545732.53	12.40	13.70	1.30
86	582519.08	8545766.21	15.60	15.90	0.30
87	582506.53	8545805.63	10.30	10.50	0.20
88	582605.76	8545764.02	7.40	8.20	0.80
89	582614.77	8545711.88	13.50	14.10	0.60
90	582680.65	8545725.75	11.50	12.60	1.10
91	582695.50	8545661.48	10.60	11.80	1.20
92	582734.47	8545673.90	8.50	18.80	10.30
93	582732.28	8545637.89	12.60	22.20	9.60
94	582793.40	8545621.82	10.40	11.50	1.10
95	582863.82	8545599.16	18.50	18.80	0.30
96	582799.11	8545561.92	9.60	9.80	0.20
97	582743.09	8545587.48	15.30	15.40	0.10
98	582702.07	8545569.44	6.50	7.80	1.30
99	582674.26	8545616.86	12.60	14.70	2.10
				Prom. (cm)	2.54

4.8.2 Método de Trampas y Sedimentos

La cuantificación de pérdidas de suelo por erosión hídrica permite identificar de forma objetiva la eficiencia de diferentes usos y manejos de suelos.

El método de trampas de sedimentos es una modificación de las parcelas de escorrentía que permite medir la erosión hídrica en un área determinada bajo condiciones específicas. Este método tiene la finalidad de captar los sedimentos provenientes de la escorrentía. Para ello se establecen parcelas con bordes que limiten los escurrimientos y se colocan estructuras en los puntos de descarga del área de la parcela. La parcela de medición está compuesta de un área de escurrimiento con bordes y un recipiente de captación.

Los bordes dividen las parcelas estos pueden ser de lámina de plycem o de zinc, enterrados 20 a 30 cms y con una altura de 20 cms sobre el suelo. El recipiente puede ser un medio barril o cualquier tanque que se adapte al tamaño necesario para captar el sedimento proveniente de la parcela. Las dimensiones de la parcela pueden variar pero se han utilizado parcelas de 8m de ancho pro 15 m de largo (Vallejos C. y Velásquez J. 1998).

4.8.3 Método de rendimiento histórico

Los rendimientos históricos se pueden utilizar para hacer apreciaciones sobre el estado de degradación de los suelos, al comparar la evolución de los rendimientos con los años de cultivo o de explotación de la tierra. Se trata de establecer la correlación existente entre estos dos parámetros y determinar la influencia del factor suelo en los mismos.

El método se puede aplicar cuando se dispone de registros anuales con información sobre áreas de cultivo y rendimientos.

Esta información generalmente se encuentra en las oficinas estatales que norman la actividad agropecuaria. También se puede aplicar cuando no se dispone de la información obtenida de estas oficinas de Estado y además no se requiere de una información tan precisa, tan sólo lo suficiente para respaldar en alguna medida la toma de decisiones en el área de conservación de suelos. En este caso se acude a la memoria de los productores para reconstruir la evolución de los rendimientos por un período de tiempo que sea suficiente para establecer la tendencia que siguen en el tiempo.

4.8.4 Estimación de pérdida de suelo por método indirecto

A diferencia del método directo, el cual se basó en la delimitación de unidades geomorfológicas, el método indirecto partió de la delimitación de unidades homogéneas en cuanto a tipo de suelo, pendiente, uso de suelo y vegetación, ya que éstas son las variables requeridas para aplicar las ecuaciones de estimación de pérdida de suelo que se utilizaron.

La identificación y delimitación de los usos de suelo y vegetación se hizo utilizando las fotografías aéreas ya mencionadas; mientras que el mapa topográfico se utilizó para generar el mapa de pendientes.

La información correspondiente a cada variable (tipo de suelo, pendiente y vegetación) fue digitalizada empleando el programa Arc/Info® y se generaron los mapas mediante el programa Arc-View®. Estos mapas fueron cruzados a fin de obtener "unidades ambientales" homogéneas, en las cuales se estimó la erosión hídrica mediante la Ecuación Universal Revisada para la estimación de la Pérdida de Suelo (RUSLE). La fórmula utilizada (Lane et al., 1992; citado por Pierson, 2000) se describe a continuación.

$$E = RKLSCP$$

Donde:

E = pérdida de suelo (t/ha*año)

R = índice de erosividad asociado a la lluvia (Mj/ha*mm/hr)

K = factor de erodabilidad del suelo (t/ha.Mj*ha/mm*hr)

LC = Factor topográfico (función de longitud-inclinación-forma de la pendiente), adimensional

C = cobertura y manejo (cubierta vegetal), adimensional

P = Práctica de conservación de suelo

Erosividad por la precipitación pluvial (R) El factor R representa la erosividad de la precipitación pluvial, que se define como la capacidad potencial de la lluvia para provocar erosión. Es una función de dos características de las lluvias intensas: la energía cinética y la intensidad máxima durante 30 minutos.

A continuación se presenta la ecuación de regresión que describe la energía cinética de una lluvia:

$$Ec = 0.0119 + 0.0873 \log 10I$$

donde :

E = energía cinética de la lluvia en Mj/ha-mm y

I = intensidad de la precipitación en mm/h.

El factor R se obtiene a través del producto de la Energía por la Intensidad horaria de una lluvia de duración igual a 30 minutos (EI30), que es una medida de la manera en que se combinan estas variables y define los efectos conjuntos del impacto de las gotas de lluvia y la turbulencia de la escorrentía con el transporte de las partículas del suelo procedentes de un campo. (Cisneros José y Cantero Juan, 2012)

Para la intensidad máxima usaremos el modelo de Bell y Yance Tueros:

$$I := (P_{60})^{10} = 0.4602 \cdot (P_{24})^{0.876}$$

Donde:

I: intensidad maxima en mm/hrs

a,b: parametros de BELL y TUEROS

Pmax 24: precipitacion maxima en 24 hrs en (mm)

a= 0.4602

b= 0.876

Las precipitaciones para distintos tiempos de duración (mm/hrs)

$$P_t^T = (0.21 \ln T + 0.52) \times (0.54t^{0.25} - 0.5) \times (P_{60}^{10})$$

T: Periodo de retorno

T: tiempo de duración

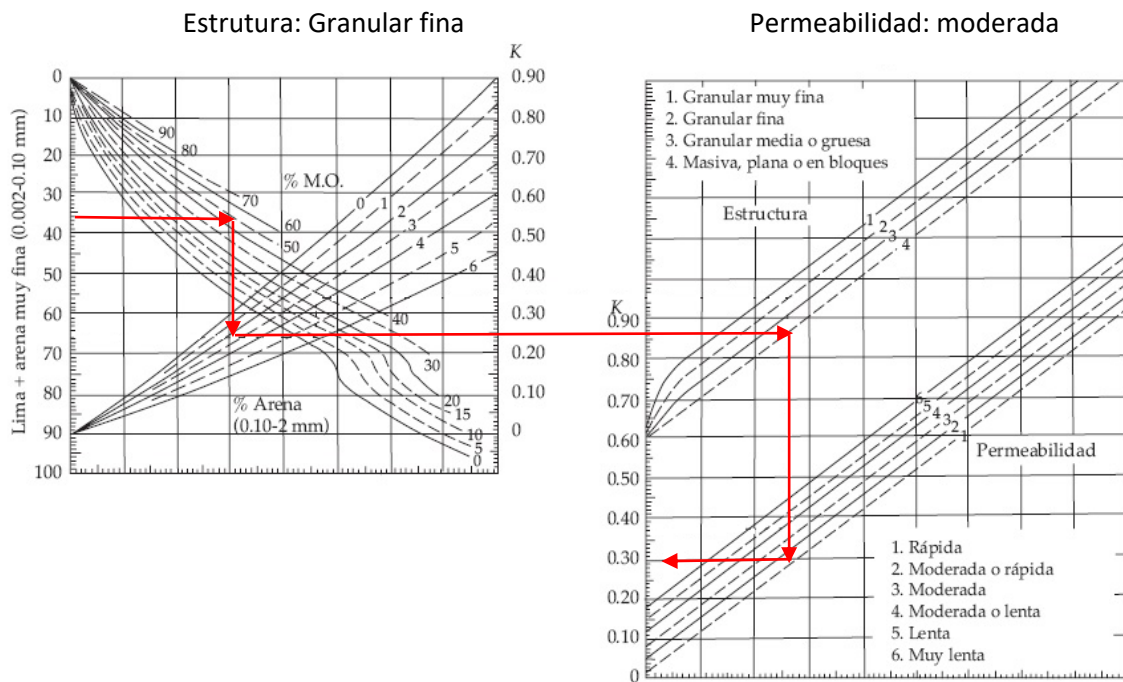
Los Factores R de la zona de estudio se determinan en ANEXO I

Erodabilidad del suelo (K) El factor K es función de cinco parámetros del suelo: porcentaje de limo más arena fina, porcentaje de arena, contenido de materia orgánica,

estructura y permeabilidad. La forma gráfica para determinar el factor K es el siguiente: Nomograma para la obtención del factor K de la USLE.

Los Factores K de la zona de estudio se determinan en ANEXO I

Figura N° 4.24:
Nomograma para la obtención del factor K de la USLE



Longitud (L) y gradiente de pendiente (S)

Factor de grado y longitud de la pendiente

$$LS = (\alpha^{0.5})(0.138 + 0 - 00965 \times S + 0.00138 \times S^2)$$

Donde:

LS = Factor de grado y longitud de la pendiente.

α = Longitud de la pendiente

S = Pendiente media del terreno.

Los Factores LS de la zona de estudio se determinan en ANEXO I

Factor de manejo y cobertura (C) El factor C de la EUPS, representa la cantidad de suelo perdido de un terreno bajo condiciones específicas de uso y vegetación, en comparación con la pérdida de suelo que pudiera presentar el mismo terreno estando desprovisto de vegetación y bajo labranza continua. Como se indicó anteriormente en la condición estándar (sin cobertura vegetal y con barbecho continuo, condición extrema en cuanto a favorecer la erosión, el valor de C es la unidad y será cada

vez menor a medida que haya una mejor cobertura vegetal sobre el terreno, de esta manera los valores de C fluctúan entre 0.0 y 1.0, estos valores correspondientes a un terreno totalmente protegido (0.0) y uno totalmente desprotegido (1.0) (Becerra, 2005).

Cuadro N° 4.15 :

Factor de P utilizado para diferentes prácticas y obras de conservación del suelo y agua

Práctica	Valor de P
Surcado al contorno	0.75-0.90
Surcos rectos	0.80-0.95
Franjas al contorno*	0.60-0.80
Terrazas (2-7 % de pendiente)	0.50
Terrazas (7-13 % de pendiente)	0.60
Terrazas (mayor de 13 %)	0.80
Terrazas de Banco	0.10
Terrazas de Banco en contrapendiente	0.05

Cuadro N° 4.16 :

Factor P en terrenos forestales

Prácticas de conservación de suelos	Factor P
en curvas de nivel (1-16% de pendiente)	0.6
en curvas de nivel (15-25% de pendiente)	0.85
Terrazas (desagües encepados)	0.14
Terrazas (desagües subterráneos)	0.05
Hoyos a nivel	0.13
sin prácticas de conservación	1

Práctica de conservación de suelo (P) Los Factores P de la zona de estudio se determinan en ANEXO I

4.9 Diseño de zanja de infiltración

En el contexto de los conceptos hidrológicos, el diseño y la construcción de las zanjas de infiltración debe responder a que la cantidad de agua de lluvia que cae desde la zona de impluvio debe ser menor o igual a la que capta y a la que absorbe la zanja, en un diferencial de tiempo, es decir, la capacidad de éstas no debe ser sobrepasada por el total de aportaciones [4.1] que a ella converjan, a saber:

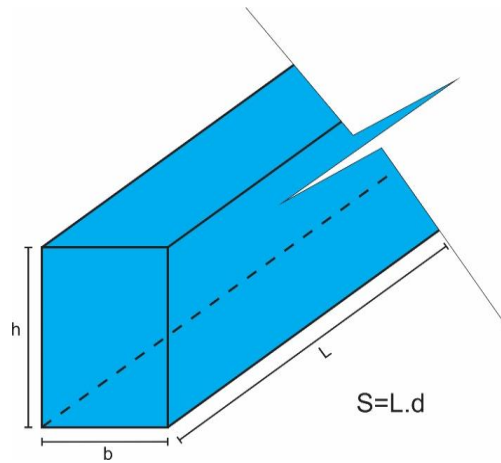
$$V_{azi} = V_{azz} + V_{azin} \quad (4.1)$$

Donde:

V_{azi} = volumen de aportación de la zona de impluvio

V_{azz} = volumen de captación de la zona de zanjas

V_{azin} = volumen de infiltración.



4.9.1 Volumen de aportación zona de impluvio

Dónde:

$$V_{azi} = i.S.e$$

Donde:

i : Precipitación mm (Intensidad máxima en 1 hora).

S : Superficie de captación.

e : Coeficiente de escorrentía.

4.9.2 Volumen de captación de las zanjas

$$V_{azz} = b.h.l$$

Dónde:

l : Longitud de la zanja en metros

4.9.3 Volumen de infiltración

$$V_{azin} = b.v.l$$

Dónde:

v : Velocidad de infiltración de la zanja en metros.

Asociando las ecuaciones que se tienen anteriormente:

$$V_{azin} = V_{azz} + V_{azin}$$

$$i \cdot s \cdot e = b \cdot h \cdot l + b \cdot v \cdot l$$

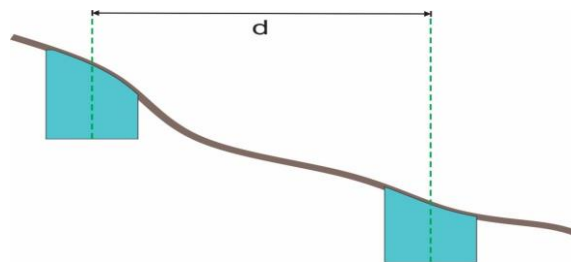
$$i \cdot (l \cdot d) \cdot e = b \cdot h \cdot l + b \cdot v \cdot l$$

La ecuación final obtenida es la siguiente:

$$d = \frac{b \cdot (h + v)}{i \cdot e}$$

Dónde:

d : Distancia horizontal entre zanjas de infiltración.



El distanciamiento horizontal alcanzado permite cumplir la condición inicial de que el volumen de aportes de la zona de impluvio se iguale con la capacidad de captación e infiltración de la zanja. Como este distanciamiento es horizontal, debe ser corregido en función de la pendiente. Asimismo, si el distanciamiento horizontal es conocido y fijo se pueden hacer variar las otras dimensiones, definiendo nuevas alturas y bases, pero manteniendo el principio de igualdad de volúmenes de agua.

4.9.4 Datos de velocidad de infiltración

4.9.4.1 Quebrada Arroyo seco

Cuadro N° 4.17 :
Velocidad de Infiltración Q. Arroyo Seco

Sub Cuenca	Veloc. Infiltración	
	(mm/hr)	m/hr
AS-I	7.28	0.00728
AS-II	8.37	0.00837
AS-III	7.58	0.00758
AS-IV	9.42	0.00942

4.9.4.2 Quebrada San Martín

Cuadro N° 4.18 :
Velocidad de Infiltración Q. San Martín

Sub Cuenca	Veloc. Infiltración	
	(mm/hr)	(mm/hr)
SM-I	8.24	0.00824
SM-II	7.61	0.00761
SM-III	10.42	0.01042
SM-IV	9.18	0.00918
SM-V	8.18	0.00818

4.9.4.3 Quebrada Yanaccacca

Cuadro N° 4.19 :
Velocidad de Infiltración Q. Yanaccacca

Sub Cuenca	Veloc. Infiltración	
	(mm/hr)	m/hr
YA-I	8.26	0.00826
YA-II	9.21	0.00921
YA-III	7.81	0.00781

4.9.5 Datos de intensidad de precipitación

4.9.5.1 Quebrada Arroyo seco

Cuadro N° 4.20 :
Intensidad Q. Arroyo Seco

Sub Cuenca	Intensidad	
	(mm/hr)	m/hr
AS-I	85.41	0.08541
AS-II	50.8	0.0508
AS-III	83.64	0.08364
AS-IV	84.12	0.08412

4.9.5.2 Quebrada San Martín

Cuadro N° 4.21 :
Intensidad Q. San Martín

Sub Cuenca	Intensidad	
	(mm/hr)	m/hr
SM-I	34.04	0.03404
SM-II	86.38	0.08638
SM-III	86.77	0.08677
SM-IV	87.24	0.08724
SM-V	44.84	0.04484

4.9.5.3 Quebrada Yanaccacca

Cuadro N° 4.22 :
Intensidad Q. Yanaccacca

Sub Cuenca	Intensidad	
	(mm/hr)	m/hr
YA-I	84.91	0.08491
YA-II	87.47	0.08747
YA-III	83.5	0.0835

4.9.6 Distancia horizontal entre zanjas de infiltración

Cuadro N° 4.23 :
Valor de la distancia "d", en base a nuestros datos

	PROLONGACION SAN MARTIN					
	DATOS					CALCULO
	b	i	h	e	v	d
SUB CUENCA I	0.4	0.03504	0.5	0.9	0.00824	6.446473871
SUB CUENCA II	0.7	0.08638	0.7	0.9	0.00761	6.371420854
SUB CUENCA III	0.7	0.08677	0.8	0.9	0.01042	7.264338673
SUB CUENCA IV	0.7	0.08724	0.8	0.9	0.00918	7.214147435
SUB CUENCA V	0.5	0.04484	0.6	0.9	0.00818	7.535186837

	YANA CCACCA					
	DATOS					CALCULO
	b	i	h	e	v	d
SUB CUENCA I	0.7	0.08491	0.7	0.9	0.00826	6.487679766
SUB CUENCA II	0.7	0.08747	0.8	0.9	0.00921	7.195444787
SUB CUENCA III	0.7	0.0835	0.7	0.9	0.007841	6.593329341

	ARROYO SECO					
	DATOS					CALCULO
	b	i	h	e	v	d
SUB CUENCA I	0.7	0.08541	0.7	0.9	0.00728	6.440775865
SUB CUENCA II	0.7	0.0508	0.6	0.9	0.00837	9.314501312
SUB CUENCA III	0.7	0.08364	0.7	0.9	0.00758	6.579866093
SUB CUENCA IV	0.7	0.08412	0.7	0.9	0.00942	6.559333228

Figura N° 4.25:
Prueba de infiltración en las laderas del cerro la Picota



4.10 Reforestación de laderas de cerro la picota

4.10.1 Vegetación

La vegetación incluyendo árboles, arbustos, hierbas y pastos representa la mejor protección contra la erosión, las observaciones de los taludes naturales muestran que estos son más estables con vegetación que sin ella; sin embargo, no existe claridad suficiente sobre los procedimientos de diseño de esta cobertura vegetal, especialmente en lo referente al efecto de las raíces de pastos, hierbas y árboles.

El uso de vegetación en obras civiles requiere no solamente conocimientos de ingeniería sino también información relativa a las propiedades de las plantas, su estructura, altura, grosor y rigidez de los tallos, profundidad, densidad y distribución de las raíces, aptitud para el régimen climático del sitio, interacción con el agua y el suelo, resistencia a la sumergencia al pisoteo y a la quema, resistencia a la tensión.

No se puede diseñar un sistema de protección vegetal sin la cooperación de un especialista en plantas o por lo menos sin su consejo. Esta cooperación se requiere para

seleccionar el sistema de plantas a utilizar y el sistema apropiado de siembra, crecimiento y conservación.

El área de influencia depende de la extensión y profundidad del sistema radicular. Durante un día soleado un eucalipto puede extraer del suelo hasta 500 litros de agua y un pasto hasta un litro por metro cuadrado. Los arboles espaciados cercanamente y las hierbas extraen más agua que los pastos. La clave desde el punto de vista de ingeniería es determinar la humedad máxima y el nivel freático crítico para un talud determinado, teniendo en cuenta el efecto de la vegetación.

4.10.2 Retención del agua

La retención del agua en el follaje demora o modifica el ciclo hidrológico en el momento de una lluvia. Este fenómeno disminuye la rata del agua de escorrentía, disminuyendo su poder erosivo, pero puede aumentar la rata de infiltración. La retención de agua en el follaje depende del tipo de vegetación, sus características y la intensidad de la lluvia.

Los arboles de mayor volumen o densidad de follaje, retrasan más el ciclo hidrológico en razón a que retienen por mayor tiempo las gotas de lluvia. En el caso de lluvias muy intensas la retención de aguas es mínima, pero en el caso de lluvias moderadas a ligeras, le retención puede ser hasta de un 30% dependiendo de las características de la vegetación.

4.10.3 Acumulación de agua

El agua acumulada en el follaje retrasa el flujo y disminuye el potencial de avenidas torrenciales. La cantidad de lluvia acumulada por la vegetación depende especialmente de la densidad interna del follaje medida por el total de área de hojas por área nominal. Generalmente el volumen de agua acumulada llega a un máximo y a partir de ese momento el follaje no tiene capacidad para acumular más agua. En lluvias intensas el porcentaje acumulada es relativamente pequeño comparando con el volumen total de la lluvia pero en lluvias cortas de poca intensidad este porcentaje puede ser alto.

4.10.4 Diseño para revegetación en laderas del Cerro la Picota

4.10.4.1 Parámetros a tener en cuenta en el diseño

Para el diseño de revegetalización se deben tener en cuenta los siguientes parámetros:

1. **El Follaje** El follaje de la vegetación debe ser uniforme y relativamente cercano a la superficie. Cuando la distancia entre el follaje y la superficie es mayor de un metro la protección contra el impacto de las gotas de lluvia disminuye y aumenta la pérdida de partículas de suelo por erosión; sin embargo, cuando la altura de las hojas es menos de 20 centímetros, la erosión también aumenta. En todos los casos es conveniente que la cobertura vegetal tenga varios niveles de follaje con el objeto de que la amortiguación de la energía de las gotas se realice por etapas, logrando una mejor protección.
2. **Los tallos** La rugosidad de un cauce o de una superficie al movimiento de agua es

mayor cuando los tallos son rígidos, sin embargo, los tallos flexibles se adaptan mejor a la corriente y la turbulencia es menor. Si el objetivo es disminuir la velocidad de la corriente, los tallos rígidos obtienen un mejor resultado, pero si el objetivo es proteger directamente el sitio contra la erosión, los tallos flexibles deben preferirse.

- 3. Las raíces** Las raíces actúan como refuerzo y sostén del suelo incrementando la resistencia al cortante y la resistencia a la fuerza tractiva del agua. La forma como las raíces actúan en cada caso está determinada por el tipo de planta y las condiciones de suelo del sitio.

4.10.4.2 Diseño del tipo de especie vegetal

Una de las decisiones más importantes en el diseño de obras para el control es escoger acertadamente el tipo de especie más apropiado para cada caso en particular. Para seleccionar el tipo de vegetación debe tenerse factores tales como:

- Adaptación. Comúnmente se recomienda emplear plantas comunes en la región que ya estén adaptadas al ambiente.
- Hábitos de crecimiento. Tolerancia a pisoteo, quemas, sequías y otros factores adversos.
- Rapidez de crecimiento. La rapidez de germinación y crecimiento es un factor muy importante.
- Sistema de siembra. Debe diseñarse un sistema de siembra, abono, protección durante la germinación y crecimiento.
- Sistemas de mantenimiento.
- Características de absorción. Cada especie vegetal posee una capacidad de absorción diferente.
- Características de las raíces. Tipo de raíz, longitud, densidad del sistema radicular, resistencia.
- Follaje. Volumen y peso del follaje, tamaño de las hojas, rugosidad, capacidad de retención de agua.
- Tipo de suelo. El pH del suelo y los nutrientes que se requieren para el crecimiento de cada especie.
- Disponibilidad de agua y humedad. Algunas plantas requieren determinadas características de humedad.
- Tipo de protección que se requiere. Si es solo para control de erosión o se requiere estabilizar el talud.

Criterios para el diseño

- Un primer principio es la utilización de plantas locales que estén adaptadas al clima del sitio. Cada especie tiene sus limitaciones de humedad, temperatura, presión

atmosférica, elevación, nutrientes, tolerancia de sustancias, etc. Se requiere que las especies sean compatibles con las características del sitio. La decisión de la especie vegetal requiere del trabajo conjunto de Ingenieros, Biólogos, Forestales y expertos en paisajismo.

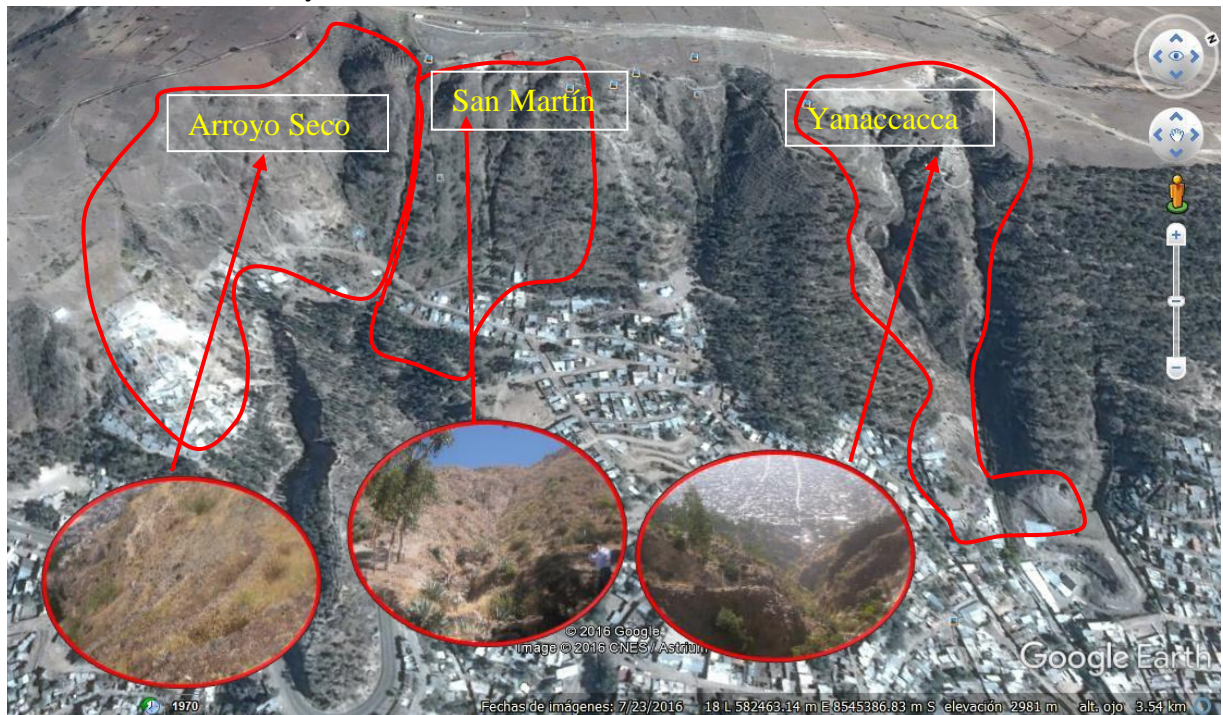
- En general la vegetación que absorbe grandes cantidades de agua funciona mejor para el control de la erosión en suelos arcillosos, en zonas húmedas para asegurar un mayor secado y capacidad de absorción en el momento de la lluvia.
- Por el contrario las especies que absorben menos agua serían ideales para suelos arenosos, debido a que no es conveniente que se produzca demasiada sequedad, la cual aumenta la susceptibilidad a la erosión de los suelos granulares.
- La vegetación maderable es más resistente y generalmente posee raíces más profundas y al mismo tiempo su follaje es de mayor volumen y altura, éstos árboles se prefieren cuando se desea mejorar la estabilidad geotécnica del talud.
- Las hierbas y pastos tienen raíces más cortas y densas y son preferidas para el control de la erosión superficial por corrientes de agua.

Figura N° 4.26:
Ladera del cerro la Picota requiere revegetación



Figura N° 4.27:

Áreas que requieren revegetación en quebradas Arroyo Seco, Prol. San Matín y Yanaccacca



4.11 Cálculo del tiempo de concentración (Tc

4.11.1 Tiempo de concentración quebrada arroyo seco

4.11.1.1 Tc Arroyo Seco I

A. DATOS GENERALES

AREA DE LA CUENCA (Km²)
 LONGITUD DEL RIO MAS LARGO (Km)
 COTA MAS ALTA DE CUENCA (msnm)
 COTA MAS BAJA DE CUENCA (msnm)

ITEM	VALOR	UNID
A =	0.021	Km ²
L =	0.259	Km
CMA =	3122.5	m
CMB =	2985	m

B. RESULTADOS PARCIALES:

DESNIVEL DE CUENCA (m)
 PENDIENTE DE LA CUENCA (m/m)
 PENDIENTE DE LA CUENCA (%)
 PENDIENTE DEL CAUCE-TAYLOR (m/m)

H =	137.50	m
S =	0.531	m/m
S =	53.096	%
S =	0.4710	m/m

C. FORMULAS EMPIRICAS:

c.1). METODO KIRPICH:

$$T_c = 0.06628L^{0.77}S^{-0.385}$$

c.2). METODO CALIFORNIA:

$$T_c = \left(\frac{0.870L^3}{H} \right)^{0.385}$$

DONDE:

Tc =	en	Hr
S =	en	m/m
H =	en	m
L =	en	Km

D. RESULTADOS FINALES:

c.1).	Tc =	0.031295 hr
c.2).	Tc =	0.029906 hr
PROMEDIO	Tc =	0.031 hr
	Tc =	1.84 min

4.11.1.2 Tc Arroyo Seco II

A. DATOS GENERALES

- AREA DE LA CUENCA (Km2)
- LONGITUD DEL RIO MAS LARGO (Km)
- COTA MAS ALTA DE CUENCA (msnm)
- COTA MAS BAJA DE CUENCA (msnm)

ITEM	VALOR	UNID
A =	0.006	Km ²
L =	0.130	Km
CMA =	3065.5	m
CMB =	2985.5	m

B. RESULTADOS PARCIALES:

- DESNIVEL DE CUENCA (m)
- PENDIENTE DE LA CUENCA (m/m)
- PENDIENTE DE LA CUENCA (%)
- PENDIENTE DEL CAUCE-TAYLOR (m/m)

H =	80.00	m
S =	0.615	m/m
S =	61.485	%
S =	0.5549	m/m

C. FORMULAS EMPIRICAS:

c.1). METODO KIRPICH:

$$T_c = 0.06628L^{0.77}S^{-0.385}$$

c.2). METODO CALIFORNIA:

$$T_c = \left(\frac{0.870L^3}{H} \right)^{0.385}$$

DONDE:

Tc =	en	Hr
S =	en	m/m
H =	en	m
L =	en	Km

D. RESULTADOS FINALES:

c.1).	Tc =	0.0172941 hr
c.2).	Tc =	0.0166365 hr
PROMEDIO	Tc =	0.017 hr
	Tc =	1.02 min

4.11.1.3 Tc Arroyo Seco III**A. DATOS GENERALES**

AREA DE LA CUENCA (Km²)
 LONGITUD DEL RIO MAS LARGO (Km)
 COTA MAS ALTA DE CUENCA (msnm)
 COTA MAS BAJA DE CUENCA (msnm)

ITEM	VALOR	UNID
A =	0.036	Km ²
L =	0.254	Km
CMA =	3134	m
CMB =	2977	m

B. RESULTADOS PARCIALES:

DESNIVEL DE CUENCA (m)
 PENDIENTE DE LA CUENCA (m/m)
 PENDIENTE DE LA CUENCA (%)
 PENDIENTE DEL CAUCE-TAYLOR (m/m)

H =	157.00	m
S =	0.618	m/m
S =	61.835	%
S =	0.5584	m/m

C. FORMULAS EMPIRICAS:

c.1). METODO KIRPICH:

$$T_c = 0.06628L^{0.77}S^{-0.385}$$

DONDE:

Tc =	en	Hr
S =	en	m/m
H =	en	m
L =	en	Km

c.2). METODO CALIFORNIA:

$$T_c = \left(\frac{0.870L^3}{H} \right)^{0.385}$$

D. RESULTADOS FINALES:

c.1).	Tc =	0.0288679 hr
c.2).	Tc =	0.0277767 hr
PROMEDIO	Tc =	0.028 hr
	Tc =	1.70 min

4.11.1.4 Tc Arroyo Seco IV

A. DATOS GENERALES

AREA DE LA CUENCA (Km2)
 LONGITUD DEL RIO MAS LARGO (Km)
 COTA MAS ALTA DE CUENCA (msnm)
 COTA MAS BAJA DE CUENCA (msnm)

ITEM	VALOR	UNID
A =	0.019	Km ²
L =	0.254	Km
CMA =	3137	m
CMB =	2987	m

B. RESULTADOS PARCIALES:

DESNIVEL DE CUENCA (m)
 PENDIENTE DE LA CUENCA (m/m)
 PENDIENTE DE LA CUENCA (%)
 PENDIENTE DEL CAUCE-TAYLOR (m/m)

H =	150.00	m
S =	0.591	m/m
S =	59.078	%
S =	0.5308	m/m

C. FORMULAS EMPIRICAS:

c.1). METODO KIRPICH:

$$T_c = 0.06628L^{0.77}S^{-0.385}$$

c.2). METODO CALIFORNIA:

$$T_c = \left(\frac{0.870L^3}{H} \right)^{0.385}$$

DONDE:

Tc =	en	Hr
S =	en	m/m
H =	en	m
L =	en	Km

D. RESULTADOS FINALES:

c.1).
 c.2).
 PROMEDIO

Tc =	0.029436	hr
Tc =	0.0282687	hr
Tc =	0.029	hr
Tc =	1.73	min

4.11.2 Tiempo de concentración quebrada pról. San Martin

4.11.2.1 Tc Quebrada San Martín I

A. DATOS GENERALES

AREA DE LA CUENCA (Km2)
 LONGITUD DEL RIO MAS LARGO (Km)
 COTA MAS ALTA DE CUENCA (msnm)
 COTA MAS BAJA DE CUENCA (msnm)

ITEM	VALOR	UNID
A =	0.003	Km ²
L =	0.083	Km
CMA =	2985	m
CMB =	2955	m

B. RESULTADOS PARCIALES:

DESNIVEL DE CUENCA (m)
 PENDIENTE DE LA CUENCA (m/m)
 PENDIENTE DE LA CUENCA (%)
 PENDIENTE DEL CAUCE-TAYLOR (m/m)

H =	30.00	m
S =	0.361	m/m
S =	36.085	%
S =	0.3009	m/m

C. FORMULAS EMPIRICAS:

c.1). METODO KIRPICH:

$$T_c = 0.06628L^{0.77}S^{-0.385}$$

c.2). METODO CALIFORNIA:

$$T_c = \left(\frac{0.870L^3}{H} \right)^{0.385}$$

D. RESULTADOS FINALES:

DONDE:

Tc =	en	Hr
S =	en	m/m
H =	en	m
L =	en	Km

c.1).	Tc =	0.0155043 hr
c.2).	Tc =	0.014467 hr
PROMEDIO	Tc =	0.015 hr
	Tc =	0.90 min

4.11.2.2 Tc Quebrada San Martín II**A. DATOS GENERALES**

AREA DE LA CUENCA (Km²)
 LONGITUD DEL RIO MAS LARGO (Km)
 COTA MAS ALTA DE CUENCA (msnm)
 COTA MAS BAJA DE CUENCA (msnm)

ITEM	VALOR	UNID
A =	0.040	Km ²
L =	0.294	Km
CMA =	3162	m
CMB =	2990	m

B. RESULTADOS PARCIALES:

DESNIVEL DE CUENCA (m)
 PENDIENTE DE LA CUENCA (m/m)
 PENDIENTE DE LA CUENCA (%)
 PENDIENTE DEL CAUCE-TAYLOR (m/m)

H =	172.00	m
S =	0.584	m/m
S =	58.405	%
S =	0.5241	m/m

C. FORMULAS EMPIRICAS:

c.1). METODO KIRPICH:

$$T_c = 0.06628L^{0.77}S^{-0.385}$$

c.2). METODO CALIFORNIA:

$$T_c = \left(\frac{0.870L^3}{H} \right)^{0.385}$$

D. RESULTADOS FINALES:

DONDE:

Tc =	en	Hr
S =	en	m/m
H =	en	m
L =	en	Km

c.1).	Tc =	0.0332 hr
c.2).	Tc =	0.0318 hr
PROMEDIO	Tc =	0.032 hr
	Tc =	1.95 min

4.11.2.3 Tc Quebrada San Martín III**A. DATOS GENERALES**

AREA DE LA CUENCA (Km²)
 LONGITUD DEL RIO MAS LARGO (Km)
 COTA MAS ALTA DE CUENCA (msnm)
 COTA MAS BAJA DE CUENCA (msnm)

ITEM	VALOR	UNID
A =	0.065	Km ²
L =	0.292	Km
CMA =	3145	m
CMB =	2990	m

B. RESULTADOS PARCIALES:

DESNIVEL DE CUENCA (m)
 PENDIENTE DE LA CUENCA (m/m)
 PENDIENTE DE LA CUENCA (%)
 PENDIENTE DEL CAUCE-TAYLOR (m/m)

H =	155.00	m
S =	0.531	m/m
S =	53.061	%
S =	0.4706	m/m

C. FORMULAS EMPIRICAS:

c.1). METODO KIRPICH:

$$T_c = 0.06628L^{0.77}S^{-0.385}$$

c.2). METODO CALIFORNIA:

$$T_c = \left(\frac{0.870L^3}{H} \right)^{0.385}$$

DONDE:

Tc =	en	Hr
S =	en	m/m
H =	en	m
L =	en	Km

D. RESULTADOS FINALES:

c.1).	Tc =	0.0343464 hr
c.2).	Tc =	0.0328209 hr
PROMEDIO	Tc =	0.034 hr
	Tc =	2.02 min

4.11.2.4 Tc Quebrada San Martín IV

A. DATOS GENERALES

AREA DE LA CUENCA (Km2)
 LONGITUD DEL RIO MAS LARGO (Km)
 COTA MAS ALTA DE CUENCA (msnm)
 COTA MAS BAJA DE CUENCA (msnm)

ITEM	VALOR	UNID
A =	0.025	Km2
L =	0.200	Km
CMA =	2955	m
CMB =	2908	m

B. RESULTADOS PARCIALES:

DESNIVEL DE CUENCA (m)
 PENDIENTE DE LA CUENCA (m/m)
 PENDIENTE DE LA CUENCA (%)
 PENDIENTE DEL CAUCE-TAYLOR (m/m)

H =	47.00	m
S =	0.235	m/m
S =	23.500	%
S =	0.1750	m/m

C. FORMULAS EMPIRICAS:

c.1). METODO KIRPICH:

$$T_c = 0.06628L^{0.77}S^{-0.385}$$

DONDE:

Tc =	en	Hr
S =	en	m/m
H =	en	m
L =	en	Km

c.2). METODO CALIFORNIA:

$$T_c = \left(\frac{0.870L^3}{H} \right)^{0.385}$$

D. RESULTADOS FINALES:

c.1).	Tc =	0.0375497 hr
c.2).	Tc =	0.0335465 hr
PROMEDIO	Tc =	0.036 hr
	Tc =	2.13 min

4.11.2.5 Tc Quebrada San Martín V

A. DATOS GENERALES

AREA DE LA CUENCA (Km2)
 LONGITUD DEL RIO MAS LARGO (Km)
 COTA MAS ALTA DE CUENCA (msnm)
 COTA MAS BAJA DE CUENCA (msnm)

ITEM	VALOR	UNID
A =	0.005	Km2
L =	0.091	Km
CMA =	2988	m
CMB =	2955	m

B. RESULTADOS PARCIALES:

DESNIVEL DE CUENCA (m)
 PENDIENTE DE LA CUENCA (m/m)
 PENDIENTE DE LA CUENCA (%)
 PENDIENTE DEL CAUCE-TAYLOR (m/m)

H =	33.00	m
S =	0.361	m/m
S =	36.085	%
S =	0.3009	m/m

C. FORMULAS EMPIRICAS:

c.1). METODO KIRPICH:

$$T_c = 0.06628L^{0.77}S^{-0.385}$$

c.2). METODO CALIFORNIA:

$$T_c = \left(\frac{0.870L^3}{H} \right)^{0.385}$$

DONDE:

Tc =	en	Hr
S =	en	m/m
H =	en	m
L =	en	Km

D. RESULTADOS FINALES:

c.1).	Tc =	0.0166851 hr
c.2).	Tc =	0.0155688 hr
PROMEDIO	Tc =	0.016 hr
	Tc =	0.97 min

4.11.3 Tiempo de concentración quebrada Yanaccacca

4.11.3.1 Tc Quebrada Yanaccacca I

A. DATOS GENERALES

AREA DE LA CUENCA (Km2)
 LONGITUD DEL RIO MAS LARGO (Km)
 COTA MAS ALTA DE CUENCA (msnm)
 COTA MAS BAJA DE CUENCA (msnm)

ITEM	VALOR	UNID
A =	0.029	Km2
L =	0.278	Km
CMA =	3095	m
CMB =	2915	m

B. RESULTADOS PARCIALES:

DESNIVEL DE CUENCA (m)	H =	180.00	m
PENDIENTE DE LA CUENCA (m/m)	S =	0.647	m/m
PENDIENTE DE LA CUENCA (%)	S =	64.664	%
PENDIENTE DEL CAUCE-TAYLOR (m/m)	S =	0.5866	m/m

C. FORMULAS EMPIRICAS:

c.1). METODO KIRPICH:

$$T_c = 0.06628L^{0.77}S^{-0.385}$$

c.2). METODO CALIFORNIA:

$$T_c = \left(\frac{0.870L^3}{H} \right)^{0.385}$$

D. RESULTADOS FINALES:

c.1).	Tc =	0.0304027	hr
c.2).	Tc =	0.0293064	hr
PROMEDIO	Tc =	0.030	hr
	Tc =	1.79	min

DONDE:

Tc =	en	Hr
S =	en	m/m
H =	en	m
L =	en	Km

4.11.3.2 Tc Quebrada Yanaccacca II**A. DATOS GENERALES**

ITEM	VALOR	UNID
A =	0.028	Km2
L =	0.360	Km
CMA =	3102	m
CMB =	2915	m

B. RESULTADOS PARCIALES:

DESNIVEL DE CUENCA (m)	H =	187.00	m
PENDIENTE DE LA CUENCA (m/m)	S =	0.519	m/m
PENDIENTE DE LA CUENCA (%)	S =	51.926	%
PENDIENTE DEL CAUCE-TAYLOR (m/m)	S =	0.4593	m/m

C. FORMULAS EMPIRICAS:

c.1). METODO KIRPICH:

$$T_c = 0.06628L^{0.77}S^{-0.385}$$

c.2). METODO CALIFORNIA:

$$T_c = \left(\frac{0.870L^3}{H} \right)^{0.385}$$

D. RESULTADOS FINALES:

DONDE:

Tc =	en	Hr
S =	en	m/m
H =	en	m
L =	en	Km

c.1).	Tc =	0.0407347 hr
c.2).	Tc =	0.0388836 hr
PROMEDIO	Tc =	0.040 hr
	Tc =	2.39 min

4.11.3.3 Tc Quebrada Yanaccacca III**A. DATOS GENERALES**AREA DE LA CUENCA (Km²)

LONGITUD DEL RIO MAS LARGO (Km)

COTA MAS ALTA DE CUENCA (msnm)

COTA MAS BAJA DE CUENCA (msnm)

ITEM	VALOR	UNID
A =	0.025	Km ²
L =	0.300	Km
CMA =	2914	m
CMB =	2864	m

B. RESULTADOS PARCIALES:

DESNIVEL DE CUENCA (m)

PENDIENTE DE LA CUENCA (m/m)

PENDIENTE DE LA CUENCA (%)

PENDIENTE DEL CAUCE-TAYLOR (m/m)

H =	50.00	m
S =	0.167	m/m
S =	16.667	%
S =	0.1067	m/m

C. FORMULAS EMPIRICAS:

c.1). METODO KIRPICH:

$$T_c = 0.06628L^{0.77}S^{-0.385}$$

c.2). METODO CALIFORNIA:

$$T_c = \left(\frac{0.870L^3}{H} \right)^{0.385}$$

D. RESULTADOS FINALES:

DONDE:

Tc =	en	Hr
S =	en	m/m
H =	en	m
L =	en	Km

c.1).	Tc =	0.0620833 hr
c.2).	Tc =	0.0523223 hr
PROMEDIO	Tc =	0.057 hr
	Tc =	3.43 min

4.12 Diseño de diques

Se diseñan diques de mampostería hidráulica con sus respectivos vertederos para el paso del agua, para el diseño de los diques se analizó la estabilidad por volteo y deslizamiento respectivo y para el dimensionamiento del vertedero se consideró el caudal de escorrentía en cada quebrada, para la altura de diques y el distanciamiento se considera el esfuerzo cortante del terreno aguas arriba que no debe superar al esfuerzo cortante crítico en la cual se determina la pendiente de dicho terreno, la altura del dique y las distancias entre diques que corresponde a cada quebrada y sus partes, el esfuerzo cortante se calcula con la fórmula de Meyer-Peter y Müller.

Los diseños de diques se presenten en ANEXO II

4.13 Diseño de poza disipadora de energía

Se determinan las dimensiones de las pozas disipadores como son: longitud y altura considerando el resalto hidráulico, y la velocidad de caída del agua por el vertedero del dique respectivo, corresponde las dimensiones para cada quebrada en estudio.

Los diseños de pozas disipadora se presenten en ANEXO III

5.1 Dimensiones de Diques:

Figura N° 5.1:
Dimensiones de Diques

Sub Cuenca	Altura de dique H (m)	Distanc. entre dique D (m)	Pend. aguas arriba Sf (%)
AS-I	2.50	4.74	0.35
AS-II	2.50	5.00	0.61
AS-III	2.50	4.06	0.24
AS-IV	2.00	10.95	0.31
SM-I	2.00	5.65	0.68
SM-II	2.00	4.22	0.31
SM-III	2.00	3.80	0.39
SM-IV	2.00	8.59	0.21
SM-V	2.00	5.57	0.17
YA-I	2.00	3.27	0.45
YA-II	2.00	3.89	0.53
YA-III	2.00	12.32	0.42

5.2 Dimensiones de Poza disipadora:

Figura N° 5.2:
Dimensiones de Poza disipadora

Sub Cuenca	Altura de dique H (m)	Distanc. entre dique D (m)	Pend. aguas arriba Sf (%)
AS-I	2.50	4.74	0.35
AS-II	2.50	5.00	0.61
AS-III	2.50	4.06	0.24
AS-IV	2.00	10.95	0.31
SM-I	2.00	5.65	0.68
SM-II	2.00	4.22	0.31
SM-III	2.00	3.80	0.39
SM-IV	2.00	8.59	0.21
SM-V	2.00	5.57	0.17
YA-I	2.00	3.27	0.45
YA-II	2.00	3.89	0.53
YA-III	2.00	12.32	0.42

5.3 Dimensiones de zanjas de infiltración:

Figura N° 5.3:
Dimensiones de zanjas de infiltración

	PROLONGACION SAN MARTIN		
	Ancho base (m)	Altura de zanja (m)	Distancia entre zanjas
SUB CUENCA I	0.4	0.5	6.446473871
SUB CUENCA II	0.7	0.7	6.371420854
SUB CUENCA III	0.7	0.8	7.264338673
SUB CUENCA IV	0.7	0.8	7.214147435
SUB CUENCA V	0.5	0.6	7.535186837

	YANA CCACCA		
	Ancho base (m)	Altura de zanja (m)	Distancia entre zanjas
SUB CUENCA I	0.7	0.7	6.487679766
SUB CUENCA II	0.7	0.8	7.195444787
SUB CUENCA III	0.7	0.7	6.593329341

	ARROYO SECO		
	Ancho base (m)	Altura de zanja (m)	Distancia entre zanjas
SUB CUENCA I	0.7	0.7	6.440775865
SUB CUENCA II	0.7	0.6	9.314501312
SUB CUENCA III	0.7	0.7	6.579866093
SUB CUENCA IV	0.7	0.7	6.559333228

5.4 Erosión Hídrica

5.4.1 Erosión Hídrica con el método directo:

Figura N° 5.4:
Erosión Hídrica

Quebrada	Area (km2)	Altura Promedio (m)	Densidad Aparente (kg/m3)	Erosión (Tn)
Arroyo Seco	0.0828	0.0224	1,532	2,841.43
Prol. San Martín	0.1373	0.0232	1,525	4,857.67
Yanaccacca	0.0827	0.0254	1,410	2961.81

5.4.2 Erosión Hídrica método indirecto para área sin control:

5.4.2.1 Erosión Hídrica en Quebrada Arroyo Seco

AÑO: 1964

SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
AS-I	3.02	0.39	71.08	0.80	0.90	60.264
AS-II	2.77	0.36	50.74	0.65	0.90	29.622
AS-III	3.01	0.45	93.81	0.75	0.90	85.754
AS-IV	3.01	0.39	11.19	0.55	0.80	5.786
EROSIÓN TOTAL						45.357

t/ha*año

AÑO: 1965

SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
AS-I	23.33	0.39	71.08	0.80	0.90	465.585
AS-II	21.51	0.36	50.74	0.65	0.90	229.820
AS-III	23.25	0.45	93.81	0.75	0.90	662.616
AS-IV	23.27	0.39	11.19	0.55	0.80	44.709
EROSIÓN TOTAL						350.683

t/ha*año

AÑO: 1966

SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
AS-I	34.23	0.39	71.08	0.80	0.90	683.074
AS-II	31.62	0.36	50.74	0.65	0.90	337.873
AS-III	34.12	0.45	93.81	0.75	0.90	972.219
AS-IV	34.15	0.39	11.19	0.55	0.80	65.598
EROSIÓN TOTAL						514.691

t/ha*año

AÑO: 1967

SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
AS-I	49.65	0.39	71.08	0.80	0.90	990.955
AS-II	45.99	0.36	50.74	0.65	0.90	491.446
AS-III	49.50	0.45	93.81	0.75	0.90	1410.565
AS-IV	49.54	0.39	11.19	0.55	0.80	95.171
EROSIÓN TOTAL						747.034

t/ha*año

AÑO: 1968

SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
AS-I	33.60	0.39	71.08	0.80	0.90	670.569
AS-II	30.97	0.36	50.74	0.65	0.90	330.942
AS-III	33.49	0.45	93.81	0.75	0.90	954.342
AS-IV	33.52	0.39	0.00	0.55	0.80	11.194
EROSIÓN TOTAL						491.762

t/ha*año

AÑO: 1969

SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
AS-I	28.58	0.39	77.23	0.80	0.90	619.743
AS-II	26.28	0.36	21.22	0.65	0.90	117.423
AS-III	28.48	0.45	19.37	0.75	0.90	167.604
AS-IV	28.51	0.39	13.15	0.55	0.80	64.312
EROSIÓN TOTAL						242.270

t/ha*año

AÑO: 1970

SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
AS-I	18.48	0.39	71.08	0.80	0.90	368.832
AS-II	17.02	0.36	50.74	0.65	0.90	181.879
AS-III	18.42	0.45	93.81	0.75	0.90	524.900
AS-IV	18.44	0.39	11.19	0.55	0.80	35.417
EROSIÓN TOTAL						277.757

t/ha*año

AÑO: 1971

SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
AS-I	32.10	0.39	71.08	0.80	0.90	640.656
AS-II	29.64	0.36	50.74	0.65	0.90	316.741
AS-III	18.44	0.45	93.81	0.75	0.90	525.359
AS-IV	3.57	0.39	11.19	0.55	0.80	6.859
EROSIÓN TOTAL						372.404

t/ha*año

AÑO: 1972

SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
AS-I	20.76	0.39	71.08	0.80	0.90	414.305
AS-II	19.06	0.36	50.74	0.65	0.90	203.698
AS-III	20.69	0.45	93.81	0.75	0.90	589.548
AS-IV	20.71	0.39	11.19	0.55	0.80	39.780
EROSIÓN TOTAL						311.833

t/ha*año

AÑO: 1973

SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
AS-I	33.31	0.39	71.08	0.80	0.90	664.771
AS-II	30.75	0.36	50.74	0.65	0.90	328.608
AS-III	33.21	0.45	93.81	0.75	0.90	946.147
AS-IV	33.23	0.39	11.19	0.55	0.80	63.839
EROSIÓN TOTAL						500.841

t/ha*año

AÑO: 1974

SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
AS-I	20.35	0.39	71.08	0.80	0.90	406.167
AS-II	18.70	0.36	50.74	0.65	0.90	199.820
AS-III	20.28	0.45	93.81	0.75	0.90	577.982
AS-IV	20.30	0.39	11.19	0.55	0.80	39.000
EROSIÓN TOTAL						305.742

t/ha*año

AÑO: 1975

SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
AS-I	21.97	0.39	71.08	0.80	0.90	438.506
AS-II	20.18	0.36	50.74	0.65	0.90	215.670
AS-III	21.90	0.45	93.81	0.75	0.90	623.993
AS-IV	21.92	0.39	11.19	0.55	0.80	42.104
EROSIÓN TOTAL						330.068

t/ha*año

AÑO: 1976

SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
AS-I	27.13	0.39	71.08	0.80	0.90	541.446
AS-II	24.99	0.36	50.74	0.65	0.90	267.046
AS-III	27.04	0.45	93.81	0.75	0.90	770.558
AS-IV	27.07	0.39	11.19	0.55	0.80	51.993
EROSIÓN TOTAL						407.761

t/ha*año

AÑO: 1977

SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
AS-I	18.60	0.39	71.08	0.80	0.90	371.225
AS-II	17.07	0.36	50.74	0.65	0.90	182.435
AS-III	18.54	0.45	93.81	0.75	0.90	528.237
AS-IV	18.56	0.39	11.19	0.55	0.80	35.644
EROSIÓN TOTAL						279.385

t/ha*año

AÑO: 1978

SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
AS-I	1.85	0.39	71.08	0.80	0.90	36.935
AS-II	1.70	0.36	50.74	0.65	0.90	18.122
AS-III	1.84	0.45	93.81	0.75	0.90	52.553
AS-IV	1.85	0.39	11.19	0.55	0.80	3.546
EROSIÓN TOTAL						27.789

t/ha*año

AÑO: 1979

SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
AS-I	11.93	0.39	71.08	0.80	0.90	238.013
AS-II	10.91	0.36	50.74	0.65	0.90	116.572
AS-III	11.88	0.45	93.81	0.75	0.90	338.639
AS-IV	11.90	0.39	11.19	0.55	0.80	22.851
EROSIÓN TOTAL						179.019

t/ha*año

AÑO: 1980

SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
AS-I	8.27	0.39	71.08	0.80	0.90	164.968
AS-II	7.69	0.36	50.74	0.65	0.90	82.226
AS-III	8.24	0.45	93.81	0.75	0.90	234.867
AS-IV	8.25	0.39	11.19	0.55	0.80	15.846
EROSIÓN TOTAL						124.477

t/ha*año

AÑO: 1981

SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
AS-I	12.43	0.39	71.08	0.80	0.90	248.054
AS-II	11.44	0.36	50.74	0.65	0.90	122.269
AS-III	12.39	0.45	93.81	0.75	0.90	353.010
AS-IV	12.40	0.39	11.19	0.55	0.80	23.819
EROSIÓN TOTAL						186.788

t/ha*año

AÑO: 1982

SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
AS-I	27.27	0.39	71.08	0.80	0.90	544.212
AS-II	25.16	0.36	50.74	0.65	0.90	268.899
AS-III	27.18	0.45	93.81	0.75	0.90	774.546
AS-IV	27.21	0.39	11.19	0.55	0.80	52.261
EROSIÓN TOTAL						409.979

t/ha*año

AÑO: 1983

SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
AS-I	23.95	0.39	71.08	0.80	0.90	477.997
AS-II	22.01	0.36	50.74	0.65	0.90	235.171
AS-III	23.87	0.45	93.81	0.75	0.90	680.198
AS-IV	23.89	0.39	11.19	0.55	0.80	45.897
EROSIÓN TOTAL						359.816

t/ha*año

AÑO: 1988

SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
AS-I	23.74	0.39	71.08	0.80	0.90	473.812
AS-II	21.93	0.36	50.74	0.65	0.90	234.334
AS-III	23.67	0.45	93.81	0.75	0.90	674.373
AS-IV	23.69	0.39	11.19	0.55	0.80	45.501
EROSIÓN TOTAL						357.005

t/ha*año

AÑO: 1989

SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
AS-I	17.11	0.39	71.08	0.80	0.90	341.538
AS-II	15.71	0.36	50.74	0.65	0.90	167.890
AS-III	17.06	0.45	93.81	0.75	0.90	485.999
AS-IV	17.07	0.39	11.19	0.55	0.80	32.793
EROSIÓN TOTAL						257.055

t/ha*año

AÑO: 1990

SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
AS-I	23.72	0.39	71.08	0.80	0.90	473.490
AS-II	21.82	0.36	50.74	0.65	0.90	233.182
AS-III	23.65	0.45	93.81	0.75	0.90	673.808
AS-IV	23.67	0.39	11.19	0.55	0.80	45.465
EROSIÓN TOTAL						356.486

t/ha*año

AÑO: 1991

SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
AS-I	21.11	0.39	71.08	0.80	0.90	421.263
AS-II	19.35	0.36	50.74	0.65	0.90	206.810
AS-III	21.04	0.45	93.81	0.75	0.90	599.416
AS-IV	21.06	0.39	11.19	0.55	0.80	40.447
EROSIÓN TOTAL						316.984

t/ha*año

AÑO: 1992

SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
AS-I	25.49	0.39	71.08	0.80	0.90	508.685
AS-II	23.48	0.36	50.74	0.65	0.90	250.952
AS-III	25.41	0.45	93.81	0.75	0.90	723.941
AS-IV	25.43	0.39	11.19	0.55	0.80	48.847
EROSIÓN TOTAL						383.106

t/ha*año

AÑO: 1993

SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
AS-I	24.23	0.39	71.08	0.80	0.90	483.676
AS-II	22.31	0.36	50.74	0.65	0.90	238.453
AS-III	24.16	0.45	93.81	0.75	0.90	688.331
AS-IV	24.18	0.39	11.19	0.55	0.80	46.445
EROSIÓN TOTAL						364.226

t/ha*año

AÑO: 1994

SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
AS-I	15.46	0.39	71.08	0.80	0.90	308.498
AS-II	14.28	0.36	50.74	0.65	0.90	152.550
AS-III	15.41	0.45	93.81	0.75	0.90	439.081
AS-IV	15.42	0.39	11.19	0.55	0.80	29.626
EROSIÓN TOTAL						232.439

t/ha*año

AÑO: 1995

SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
AS-I	33.58	0.39	71.08	0.80	0.90	670.192
AS-II	31.02	0.36	50.74	0.65	0.90	331.516
AS-III	33.48	0.45	93.81	0.75	0.90	953.887
AS-IV	33.51	0.39	11.19	0.55	0.80	64.361

AÑO: 1991

SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
AS-I	21.11	0.39	71.08	0.80	0.90	421.263
AS-II	19.35	0.36	50.74	0.65	0.90	206.810
AS-III	21.04	0.45	93.81	0.75	0.90	599.416
AS-IV	21.06	0.39	11.19	0.55	0.80	40.447
EROSIÓN TOTAL						316.984

t/ha*año

AÑO: 1992

SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
AS-I	25.49	0.39	71.08	0.80	0.90	508.685
AS-II	23.48	0.36	50.74	0.65	0.90	250.952
AS-III	25.41	0.45	93.81	0.75	0.90	723.941
AS-IV	25.43	0.39	11.19	0.55	0.80	48.847
EROSIÓN TOTAL						383.106

t/ha*año

AÑO: 1993

SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
AS-I	24.23	0.39	71.08	0.80	0.90	483.676
AS-II	22.31	0.36	50.74	0.65	0.90	238.453
AS-III	24.16	0.45	93.81	0.75	0.90	688.331
AS-IV	24.18	0.39	11.19	0.55	0.80	46.445
EROSIÓN TOTAL						364.226

t/ha*año

AÑO: 1994

SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
AS-I	15.46	0.39	71.08	0.80	0.90	308.498
AS-II	14.28	0.36	50.74	0.65	0.90	152.550
AS-III	15.41	0.45	93.81	0.75	0.90	439.081
AS-IV	15.42	0.39	11.19	0.55	0.80	29.626
EROSIÓN TOTAL						232.439

t/ha*año

AÑO: 1995

SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
AS-I	33.58	0.39	71.08	0.80	0.90	670.192
AS-II	31.02	0.36	50.74	0.65	0.90	331.516
AS-III	33.48	0.45	93.81	0.75	0.90	953.887
AS-IV	33.51	0.39	11.19	0.55	0.80	64.361
EROSIÓN TOTAL						504.989

t/ha*año

AÑO: 1996

SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
AS-I	27.25	0.39	71.08	0.80	0.90	543.786
AS-II	25.12	0.36	50.74	0.65	0.90	268.407
AS-III	27.16	0.45	93.81	0.75	0.90	773.910
AS-IV	27.18	0.39	11.19	0.55	0.80	52.218
EROSIÓN TOTAL						409.581

t/ha*año

AÑO: 1997

SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
AS-I	33.57	0.39	71.08	0.80	0.90	669.923
AS-II	31.00	0.36	50.74	0.65	0.90	331.320
AS-III	33.46	0.45	93.81	0.75	0.90	953.496
AS-IV	33.49	0.39	11.19	0.55	0.80	64.334
EROSIÓN TOTAL						504.768

t/ha*año

AÑO: 1998

SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
AS-I	35.64	0.39	71.08	0.80	0.90	711.353
AS-II	32.99	0.36	50.74	0.65	0.90	352.516
AS-III	35.54	0.45	93.81	0.75	0.90	1012.540
AS-IV	35.56	0.39	11.19	0.55	0.80	68.317
EROSIÓN TOTAL						536.181

t/ha*año

AÑO: 1999

SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
AS-I	32.19	0.39	71.08	0.80	0.90	642.474
AS-II	29.73	0.36	50.74	0.65	0.90	317.664
AS-III	32.09	0.45	93.81	0.75	0.90	914.421
AS-IV	32.12	0.39	11.19	0.55	0.80	61.698
EROSIÓN TOTAL						484.064

t/ha*año

AÑO: 2000

SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
AS-I	29.72	0.39	71.08	0.80	0.90	593.123
AS-II	27.38	0.36	50.74	0.65	0.90	292.627
AS-III	29.62	0.45	93.81	0.75	0.90	844.112
AS-IV	29.65	0.39	11.19	0.55	0.80	56.955

AÑO: 2001

SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
AS-I	39.49	0.39	71.08	0.80	0.90	788.075
AS-II	36.47	0.36	50.74	0.65	0.90	389.695
AS-III	39.37	0.45	93.81	0.75	0.90	1121.656
AS-IV	39.40	0.39	11.19	0.55	0.80	75.680
EROSIÓN TOTAL						593.777

t/ha*año

AÑO: 2002

SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
AS-I	35.97	0.39	71.08	0.80	0.90	717.838
AS-II	33.19	0.36	50.74	0.65	0.90	354.626
AS-III	35.86	0.45	93.81	0.75	0.90	1021.652
AS-IV	35.89	0.39	11.19	0.55	0.80	68.934
EROSIÓN TOTAL						540.763

t/ha*año

AÑO: 2003

SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
AS-I	32.21	0.39	71.08	0.80	0.90	642.929
AS-II	29.75	0.36	50.74	0.65	0.90	317.907
AS-III	32.11	0.45	93.81	0.75	0.90	915.070
AS-IV	32.14	0.39	11.19	0.55	0.80	61.742
EROSIÓN TOTAL						484.412

t/ha*año

AÑO: 2004

SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
AS-I	27.26	0.39	71.08	0.80	0.90	544.080
AS-II	25.08	0.36	50.74	0.65	0.90	268.022
AS-III	27.17	0.45	93.81	0.75	0.90	774.271
AS-IV	27.20	0.39	11.19	0.55	0.80	52.244
EROSIÓN TOTAL						409.654

t/ha*año

AÑO: 2005

SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
AS-I	27.17	0.39	71.08	0.80	0.90	542.180
AS-II	25.03	0.36	50.74	0.65	0.90	267.523
AS-III	27.08	0.45	93.81	0.75	0.90	771.614
AS-IV	27.10	0.39	11.19	0.55	0.80	52.064
EROSIÓN TOTAL						408.345

t/ha*año

AÑO: 2006

SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
AS-I	31.77	0.39	71.08	0.80	0.90	634.047
AS-II	29.31	0.36	50.74	0.65	0.90	313.257
AS-III	31.67	0.45	93.81	0.75	0.90	902.400
AS-IV	31.70	0.39	11.19	0.55	0.80	60.887
EROSIÓN TOTAL						477.648

t/ha*año

AÑO: 2007

SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
AS-I	25.46	0.39	71.08	0.80	0.90	508.142
AS-II	23.51	0.36	50.74	0.65	0.90	251.239
AS-III	25.38	0.45	93.81	0.75	0.90	723.227
AS-IV	25.40	0.39	11.19	0.55	0.80	48.798
EROSIÓN TOTAL						382.851

t/ha*año

AÑO: 2008

SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
AS-I	21.61	0.39	71.08	0.80	0.90	431.305
AS-II	19.87	0.36	50.74	0.65	0.90	212.284
AS-III	25.38	0.45	93.81	0.75	0.90	723.227
AS-IV	21.56	0.39	11.19	0.55	0.80	41.414
EROSIÓN TOTAL						352.058

t/ha*año

AÑO: 2009

SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
AS-I	30.82	0.39	71.08	0.80	0.90	615.010
AS-II	28.44	0.36	50.74	0.65	0.90	303.964
AS-III	30.72	0.45	93.81	0.75	0.90	875.318
AS-IV	30.75	0.39	11.19	0.55	0.80	59.060
EROSIÓN TOTAL						463.338

t/ha*año

AÑO: 2010

SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
AS-I	30.81	0.39	71.08	0.80	0.90	614.897
AS-II	28.41	0.36	50.74	0.65	0.90	303.639
AS-III	30.71	0.45	93.81	0.75	0.90	875.128
AS-IV	30.74	0.39	11.19	0.55	0.80	59.048
EROSIÓN TOTAL						463.178

t/ha*año

AÑO: 2011

SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
AS-I	34.52	0.39	77.23	0.80	0.90	748.598
AS-II	31.91	0.36	21.22	0.65	0.90	142.591
AS-III	34.41	0.45	19.37	0.75	0.90	202.492
AS-IV	34.44	0.39	13.15	0.55	0.80	77.695
EROSIÓN TOTAL						292.844

t/ha*año

AÑO: 2012

SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
AS-I	35.83	0.39	71.08	0.80	0.90	715.028
AS-II	33.05	0.36	50.74	0.65	0.90	353.170
AS-III	35.71	0.45	93.81	0.75	0.90	1017.645
AS-IV	35.75	0.39	11.19	0.55	0.80	68.663
EROSIÓN TOTAL						538.627

t/ha*año

AÑO: 2013

SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
AS-I	41.34	0.39	71.08	0.80	0.90	825.101
AS-II	38.22	0.36	50.74	0.65	0.90	408.401
AS-III	41.22	0.45	93.81	0.75	0.90	1174.396
AS-IV	41.25	0.39	11.19	0.55	0.80	79.238
EROSIÓN TOTAL						621.784

t/ha*año

AÑO: 2014

SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
AS-I	19.03	0.39	71.08	0.80	0.90	379.883
AS-II	17.60	0.36	50.74	0.65	0.90	188.069
AS-III	18.98	0.45	93.81	0.75	0.90	540.705
AS-IV	18.99	0.39	11.19	0.55	0.80	36.482
EROSIÓN TOTAL						286.285

t/ha*año

AÑO: 2015

SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
AS-I	23.31	0.39	71.08	0.80	0.90	465.172
AS-II	21.41	0.36	50.74	0.65	0.90	228.771
AS-III	23.23	0.45	93.81	0.75	0.90	661.938
AS-IV	23.25	0.39	11.19	0.55	0.80	44.665
EROSIÓN TOTAL						350.136

t/ha*año

RESUMEN

AÑOS	E (t/ha*año)
1964	45.36
1965	350.68
1966	514.69
1967	747.03
1968	491.76
1969	242.27
1970	277.76
1971	372.40
1972	311.83
1973	500.84
1974	305.74
1975	330.07
1976	407.76
1977	279.38
1978	27.79
1979	179.02
1980	124.48
1981	186.79
1982	409.98
1983	359.82
1988	357.00
1989	257.06
1990	356.49
1991	316.98

AÑOS	E (t/ha*año)
1992	383.11
1993	364.23
1994	232.44
1995	504.99
1996	409.58
1997	504.77
1998	536.18
1999	484.06
2000	446.70
2001	593.78
2002	540.76
2003	484.41
2004	409.65
2005	408.34
2006	477.65
2007	382.85
2008	352.06
2009	463.34
2010	463.18
2011	292.84
2012	538.63
2013	621.78
2014	286.28
2015	350.14

Max. Erosión= 747.03 t/ha*año

La erosión hídrica el año 2,015 en la quebrada Arroyo Seco de área 8.28Ha es:
 Erosión año 2,015 = 350.14t/Ha*año*8.28Ha = 2,899 Tn.



5.4.2.2 Erosión Hídrica en Quebrada Prolongación San Martín

AÑO	1964					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
SM-I	2.59	0.43	20.33	0.70	0.87	13.818
SM-II	3.02	0.45	108.60	0.85	0.90	113.088
SM-III	3.03	0.43	76.48	0.80	0.90	71.673
SM-IV	3.03	0.37	15.22	0.70	0.85	10.152
SM-V	2.71	0.47	23.33	0.75	0.85	18.957
EROSIÓN TOTAL						45.538 t/ha*año

AÑO	1965					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
SM-I	20.20	0.43	20.33	0.70	0.87	107.585
SM-II	23.37	0.45	108.60	0.85	0.90	873.614
SM-III	23.38	0.43	76.48	0.80	0.90	553.662
SM-IV	23.40	0.37	15.22	0.70	0.85	78.421
SM-V	21.07	0.47	23.33	0.75	0.85	147.245
EROSIÓN TOTAL						352.105 t/ha*año

AÑO	1966					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
SM-I	29.75	0.43	20.33	0.70	0.87	158.437
SM-II	34.28	0.45	108.60	0.85	0.90	1281.652
SM-III	34.31	0.43	76.48	0.80	0.90	812.247
SM-IV	34.33	0.37	15.22	0.70	0.85	115.045
SM-V	30.99	0.47	23.33	0.75	0.85	216.592
EROSIÓN TOTAL						516.795 t/ha*año

AÑO	1967					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
SM-I	43.37	0.43	20.33	0.70	0.87	230.946
SM-II	49.73	0.45	108.60	0.85	0.90	1859.234
SM-III	49.76	0.43	76.48	0.80	0.90	1178.264
SM-IV	49.80	0.37	15.22	0.70	0.85	166.883
SM-V	45.11	0.47	23.33	0.75	0.85	315.258
EROSIÓN TOTAL						750.117 t/ha*año

AÑO		1968					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E	
SM-I	29.09	0.43	20.33	0.70	0.87	154.899	
SM-II	33.66	0.45	108.60	0.85	0.90	1258.247	
SM-III	33.68	0.43	76.48	0.80	0.90	797.428	
SM-IV	33.71	0.37	15.22	0.70	0.85	112.949	
SM-V	30.34	0.47	23.33	0.75	0.85	212.022	
EROSIÓN TOTAL						507.109	t/ha*año

AÑO		1969					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E	
SM-I	24.64	0.43	20.33	0.70	0.87	131.210	
SM-II	28.63	0.45	108.60	0.85	0.90	1070.200	
SM-III	28.65	0.43	76.48	0.80	0.90	678.263	
SM-IV	28.67	0.37	15.22	0.70	0.85	96.072	
SM-V	25.73	0.47	23.33	0.75	0.85	179.821	
EROSIÓN TOTAL						431.113	t/ha*año

AÑO		1971					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E	
SM-I	27.88	0.43	20.33	0.70	0.87	148.470	
SM-II	32.15	0.45	108.60	0.85	0.90	1202.076	
SM-III	32.18	0.43	76.48	0.80	0.90	761.818	
SM-IV	32.20	0.37	15.22	0.70	0.85	107.903	
SM-V	29.05	0.47	23.33	0.75	0.85	203.020	
EROSIÓN TOTAL						484.657	t/ha*año

AÑO		1972					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E	
SM-I	17.85	0.43	20.33	0.70	0.87	95.044	
SM-II	20.80	0.45	108.60	0.85	0.90	777.455	
SM-III	20.81	0.43	76.48	0.80	0.90	492.736	
SM-IV	20.83	0.37	15.22	0.70	0.85	69.794	
SM-V	18.65	0.47	23.33	0.75	0.85	130.370	
EROSIÓN TOTAL						313.080	t/ha*año

AÑO							
1973							
SUB-CUENCA	R	K	SUB-CUENCA	C	P	E	
SM-I	28.92	0.43	20.33	0.70	0.87	154.011	
SM-II	33.36	0.45	108.60	0.85	0.90	1247.327	
SM-III	33.39	0.43	76.48	0.80	0.90	790.497	
SM-IV	33.41	0.37	15.22	0.70	0.85	111.965	
SM-V	30.14	0.47	23.33	0.75	0.85	210.617	
EROSIÓN TOTAL						502.884	

t/ha*año

AÑO							
1974							
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E	
SM-I	17.52	0.43	20.33	0.70	0.87	93.282	
SM-II	20.39	0.45	108.60	0.85	0.90	762.175	
SM-III	20.40	0.43	76.48	0.80	0.90	483.049	
SM-IV	20.42	0.37	15.22	0.70	0.85	68.422	
SM-V	18.30	0.47	23.33	0.75	0.85	127.909	
EROSIÓN TOTAL						306.967	

t/ha*año

AÑO							
1975							
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E	
SM-I	18.90	0.43	20.33	0.70	0.87	100.658	
SM-II	22.01	0.45	108.60	0.85	0.90	822.863	
SM-III	22.03	0.43	76.48	0.80	0.90	521.513	
SM-IV	22.04	0.37	15.22	0.70	0.85	73.870	
SM-V	19.75	0.47	23.33	0.75	0.85	138.045	
EROSIÓN TOTAL						331.390	

t/ha*año

AÑO							
1976							
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E	
SM-I	23.46	0.43	20.33	0.70	0.87	124.927	
SM-II	27.18	0.45	108.60	0.85	0.90	1015.975	
SM-III	27.19	0.43	76.48	0.80	0.90	643.889	
SM-IV	27.22	0.37	15.22	0.70	0.85	91.202	
SM-V	24.48	0.47	23.33	0.75	0.85	171.057	
EROSIÓN TOTAL						409.410	

t/ha*año

AÑO	1977					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
SM-I	15.98	0.43	20.33	0.70	0.87	85.091
SM-II	18.63	0.45	108.60	0.85	0.90	696.620
SM-III	18.65	0.43	76.48	0.80	0.90	441.505
SM-IV	18.66	0.37	15.22	0.70	0.85	62.538
SM-V	16.70	0.47	23.33	0.75	0.85	116.747
EROSIÓN TOTAL						280.500

t/ha*año

AÑO	1978					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
SM-I	0.14	0.43	20.33	0.70	0.87	0.762
SM-II	1.85	0.45	108.60	0.85	0.90	69.312
SM-III	1.86	0.43	76.48	0.80	0.90	43.929
SM-IV	1.86	0.37	15.22	0.70	0.85	6.223
SM-V	1.66	0.47	23.33	0.75	0.85	11.592
EROSIÓN TOTAL						26.364

t/ha*año

AÑO	1979					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
SM-I	10.18	0.43	20.33	0.70	0.87	54.217
SM-II	11.95	0.45	108.60	0.85	0.90	446.672
SM-III	11.96	0.43	76.48	0.80	0.90	283.101
SM-IV	11.97	0.37	15.22	0.70	0.85	40.102
SM-V	10.66	0.47	23.33	0.75	0.85	74.531
EROSIÓN TOTAL						179.724

t/ha*año

AÑO	1980					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
SM-I	7.29	0.43	20.33	0.70	0.87	38.800
SM-II	8.28	0.45	108.60	0.85	0.90	309.483
SM-III	8.28	0.43	76.48	0.80	0.90	196.122
SM-IV	8.29	0.37	15.22	0.70	0.85	27.776
SM-V	7.56	0.47	23.33	0.75	0.85	52.817
EROSIÓN TOTAL						125.000

t/ha*año

AÑO	1981					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
SM-I	10.74	0.43	20.33	0.70	0.87	57.170
SM-II	12.45	0.45	108.60	0.85	0.90	465.457
SM-III	12.46	0.43	76.48	0.80	0.90	294.991
SM-IV	12.47	0.37	15.22	0.70	0.85	41.783
SM-V	11.20	0.47	23.33	0.75	0.85	78.307
EROSIÓN TOTAL						187.542

t/ha*año

AÑO	1982					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
SM-I	23.66	0.43	20.33	0.70	0.87	125.983
SM-II	27.31	0.45	108.60	0.85	0.90	1021.127
SM-III	27.33	0.43	76.48	0.80	0.90	647.144
SM-IV	27.35	0.37	15.22	0.70	0.85	91.661
SM-V	24.66	0.47	23.33	0.75	0.85	172.328
EROSIÓN TOTAL						411.649

t/ha*año

AÑO	1983					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
SM-I	20.62	0.43	20.33	0.70	0.87	109.791
SM-II	23.99	0.45	108.60	0.85	0.90	896.963
SM-III	24.01	0.43	76.48	0.80	0.90	568.474
SM-IV	24.03	0.37	15.22	0.70	0.85	80.522
SM-V	21.54	0.47	23.33	0.75	0.85	150.541
EROSIÓN TOTAL						361.258

t/ha*año

AÑO	1988					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
SM-I	20.63	0.43	20.33	0.70	0.87	109.873
SM-II	23.78	0.45	108.60	0.85	0.90	889.016
SM-III	23.80	0.43	76.48	0.80	0.90	563.414
SM-IV	23.81	0.37	15.22	0.70	0.85	79.801
SM-V	21.49	0.47	23.33	0.75	0.85	150.213
EROSIÓN TOTAL						358.464

t/ha*año

AÑO	1989					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
SM-I	14.71	0.43	20.33	0.70	0.87	78.324
SM-II	17.14	0.45	108.60	0.85	0.90	640.908
SM-III	17.16	0.43	76.48	0.80	0.90	406.196
SM-IV	17.17	0.37	15.22	0.70	0.85	57.536
SM-V	15.37	0.47	23.33	0.75	0.85	107.447
EROSIÓN TOTAL						258.082 t/ha*año

AÑO	1990					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
SM-I	20.46	0.43	20.33	0.70	0.87	108.950
SM-II	23.77	0.45	108.60	0.85	0.90	888.488
SM-III	23.78	0.43	76.48	0.80	0.90	563.098
SM-IV	23.80	0.37	15.22	0.70	0.85	79.760
SM-V	21.36	0.47	23.33	0.75	0.85	149.306
EROSIÓN TOTAL						357.920 t/ha*año

AÑO	1991					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
SM-I	18.10	0.43	20.33	0.70	0.87	96.376
SM-II	21.15	0.45	108.60	0.85	0.90	790.535
SM-III	21.16	0.43	76.48	0.80	0.90	501.032
SM-IV	21.18	0.37	15.22	0.70	0.85	70.970
SM-V	18.93	0.47	23.33	0.75	0.85	132.309
EROSIÓN TOTAL						318.244 t/ha*año

AÑO	1992					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
SM-I	22.05	0.43	20.33	0.70	0.87	117.422
SM-II	25.53	0.45	108.60	0.85	0.90	954.497
SM-III	25.55	0.43	76.48	0.80	0.90	604.925
SM-IV	25.57	0.37	15.22	0.70	0.85	85.683
SM-V	23.00	0.47	23.33	0.75	0.85	160.759
EROSIÓN TOTAL						384.657 t/ha*año

AÑO	1993					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
SM-I	20.94	0.43	20.33	0.70	0.87	111.512
SM-II	24.28	0.45	108.60	0.85	0.90	907.582
SM-III	24.29	0.43	76.48	0.80	0.90	575.195
SM-IV	24.31	0.37	15.22	0.70	0.85	81.472
SM-V	21.85	0.47	23.33	0.75	0.85	152.725
EROSIÓN TOTAL						365.697

t/ha*año

AÑO	1994					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
SM-I	13.43	0.43	20.33	0.70	0.87	71.517
SM-II	15.48	0.45	108.60	0.85	0.90	578.839
SM-III	15.49	0.43	76.48	0.80	0.90	366.840
SM-IV	15.51	0.37	15.22	0.70	0.85	51.959
SM-V	13.99	0.47	23.33	0.75	0.85	97.784
EROSIÓN TOTAL						233.388

t/ha*año

AÑO	1995					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
SM-I	29.19	0.43	20.33	0.70	0.87	155.462
SM-II	33.64	0.45	108.60	0.85	0.90	1257.481
SM-III	33.66	0.43	76.48	0.80	0.90	796.928
SM-IV	33.68	0.37	15.22	0.70	0.85	112.875
SM-V	30.41	0.47	23.33	0.75	0.85	212.520
EROSIÓN TOTAL						507.053

t/ha*año

AÑO	1996					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
SM-I	23.60	0.43	20.33	0.70	0.87	125.644
SM-II	27.29	0.45	108.60	0.85	0.90	1020.350
SM-III	27.31	0.43	76.48	0.80	0.90	646.658
SM-IV	27.33	0.37	15.22	0.70	0.85	91.593
SM-V	24.61	0.47	23.33	0.75	0.85	171.965
EROSIÓN TOTAL						411.242

t/ha*año

AÑO							
1997							
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E	
SM-I	29.17	0.43	20.33	0.70	0.87	155.345	
SM-II	33.62	0.45	108.60	0.85	0.90	1256.981	
SM-III	33.64	0.43	76.48	0.80	0.90	796.612	
SM-IV	33.67	0.37	15.22	0.70	0.85	112.831	
SM-V	30.39	0.47	23.33	0.75	0.85	212.383	
EROSIÓN TOTAL						506.830	

t/ha*año

AÑO							
1998							
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E	
SM-I	31.09	0.43	20.33	0.70	0.87	165.556	
SM-II	35.70	0.45	108.60	0.85	0.90	1334.663	
SM-III	35.72	0.43	76.48	0.80	0.90	845.829	
SM-IV	35.75	0.37	15.22	0.70	0.85	119.800	
SM-V	32.35	0.47	23.33	0.75	0.85	226.091	
EROSIÓN TOTAL						538.388	

t/ha*año

AÑO							
1999							
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E	
SM-I	27.96	0.43	20.33	0.70	0.87	148.912	
SM-II	32.25	0.45	108.60	0.85	0.90	1205.486	
SM-III	32.27	0.43	76.48	0.80	0.90	763.978	
SM-IV	32.29	0.37	15.22	0.70	0.85	108.209	
SM-V	29.13	0.47	23.33	0.75	0.85	203.616	
EROSIÓN TOTAL						486.040	

t/ha*año

AÑO							
2000							
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E	
SM-I	25.71	0.43	20.33	0.70	0.87	136.930	
SM-II	29.77	0.45	108.60	0.85	0.90	1112.936	
SM-III	29.79	0.43	76.48	0.80	0.90	705.337	
SM-IV	29.81	0.37	15.22	0.70	0.85	99.905	
SM-V	26.82	0.47	23.33	0.75	0.85	187.459	
EROSIÓN TOTAL						448.513	

t/ha*año

AÑO	2001					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
SM-I	34.31	0.43	20.33	0.70	0.87	182.693
SM-II	39.55	0.45	108.60	0.85	0.90	1478.676
SM-III	39.58	0.43	76.48	0.80	0.90	937.112
SM-IV	39.61	0.37	15.22	0.70	0.85	132.731
SM-V	35.74	0.47	23.33	0.75	0.85	249.793
EROSIÓN TOTAL						596.201

t/ha*año

AÑO	2002					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
SM-I	31.20	0.43	20.33	0.70	0.87	166.122
SM-II	36.03	0.45	108.60	0.85	0.90	1346.915
SM-III	36.05	0.43	76.48	0.80	0.90	853.615
SM-IV	32.52	0.37	15.22	0.70	0.85	108.960
SM-V	1.90	0.47	23.33	0.75	0.85	13.263
EROSIÓN TOTAL						497.775

t/ha*año

AÑO	2003					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
SM-I	27.99	0.43	20.33	0.70	0.87	149.032
SM-II	32.27	0.45	108.60	0.85	0.90	1206.338
SM-III	32.29	0.43	76.48	0.80	0.90	764.518
SM-IV	32.32	0.37	15.22	0.70	0.85	108.285
SM-V	29.16	0.47	23.33	0.75	0.85	203.774
EROSIÓN TOTAL						486.390

t/ha*año

AÑO	2004					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
SM-I	23.52	0.43	20.33	0.70	0.87	125.258
SM-II	27.31	0.45	108.60	0.85	0.90	1020.942
SM-III	27.33	0.43	76.48	0.80	0.90	647.043
SM-IV	27.35	0.37	15.22	0.70	0.85	91.649
SM-V	24.56	0.47	23.33	0.75	0.85	171.627
EROSIÓN TOTAL						411.304

t/ha*año

AÑO		2005					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E	
SM-I	23.51	0.43	20.33	0.70	0.87	125.194	
SM-II	27.21	0.45	108.60	0.85	0.90	1017.343	
SM-III	27.23	0.43	76.48	0.80	0.90	644.753	
SM-IV	27.25	0.37	15.22	0.70	0.85	91.324	
SM-V	24.52	0.47	23.33	0.75	0.85	171.382	
EROSIÓN TOTAL						409.999	

t/ha*año

AÑO		2006					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E	
SM-I	27.56	0.43	20.33	0.70	0.87	146.753	
SM-II	31.82	0.45	108.60	0.85	0.90	1189.691	
SM-III	31.84	0.43	76.48	0.80	0.90	753.974	
SM-IV	31.87	0.37	15.22	0.70	0.85	106.793	
SM-V	28.72	0.47	23.33	0.75	0.85	200.750	
EROSIÓN TOTAL						479.592	

t/ha*año

AÑO		2007					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E	
SM-I	22.12	0.43	20.33	0.70	0.87	117.771	
SM-II	25.50	0.45	108.60	0.85	0.90	953.436	
SM-III	25.52	0.43	76.48	0.80	0.90	604.241	
SM-IV	25.54	0.37	15.22	0.70	0.85	85.584	
SM-V	23.04	0.47	23.33	0.75	0.85	161.037	
EROSIÓN TOTAL						384.414	

t/ha*año

AÑO		2008					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E	
SM-I	18.62	0.43	20.33	0.70	0.87	99.139	
SM-II	21.65	0.45	108.60	0.85	0.90	809.338	
SM-III	21.66	0.43	76.48	0.80	0.90	512.938	
SM-IV	21.68	0.37	15.22	0.70	0.85	72.655	
SM-V	19.45	0.47	23.33	0.75	0.85	135.904	
EROSIÓN TOTAL						325.995	

t/ha*año

AÑO	2009					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
SM-I	26.75	0.43	20.33	0.70	0.87	142.442
SM-II	30.87	0.45	108.60	0.85	0.90	1153.963
SM-III	30.89	0.43	76.48	0.80	0.90	731.328
SM-IV	30.91	0.37	15.22	0.70	0.85	103.585
SM-V	27.87	0.47	23.33	0.75	0.85	194.813
EROSIÓN TOTAL						465.226 t/ha*año

AÑO	2010					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
SM-I	26.70	0.43	20.33	0.70	0.87	142.187
SM-II	30.86	0.45	108.60	0.85	0.90	1153.771
SM-III	30.88	0.43	76.48	0.80	0.90	731.212
SM-IV	30.91	0.37	15.22	0.70	0.85	103.569
SM-V	27.84	0.47	23.33	0.75	0.85	194.560
EROSIÓN TOTAL						465.060 t/ha*año

AÑO	2011					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
SM-I	30.05	0.43	20.33	0.70	0.87	160.032
SM-II	34.57	0.45	108.60	0.85	0.90	1292.577
SM-III	34.60	0.43	76.48	0.80	0.90	819.165
SM-IV	34.62	0.37	15.22	0.70	0.85	116.024
SM-V	31.29	0.47	23.33	0.75	0.85	218.672
EROSIÓN TOTAL						521.294 t/ha*año

AÑO	2012					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
SM-I	31.06	0.43	20.33	0.70	0.87	165.414
SM-II	35.89	0.45	108.60	0.85	0.90	1341.647
SM-III	35.91	0.43	76.48	0.80	0.90	850.278
SM-IV	35.94	0.37	15.22	0.70	0.85	120.433
SM-V	32.38	0.47	23.33	0.75	0.85	226.312
EROSIÓN TOTAL						540.817 t/ha*año

AÑO	2013					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
SM-I	35.98	0.43	20.33	0.70	0.87	191.615
SM-II	41.41	0.45	108.60	0.85	0.90	1548.117
SM-III	41.44	0.43	76.48	0.80	0.90	981.113
SM-IV	41.47	0.37	15.22	0.70	0.85	138.962
SM-V	37.47	0.47	23.33	0.75	0.85	261.851
EROSIÓN TOTAL						624.332 t/ha*año

AÑO	2014					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
SM-I	16.57	0.43	20.33	0.70	0.87	88.254
SM-II	19.07	0.45	108.60	0.85	0.90	712.762
SM-III	19.08	0.43	76.48	0.80	0.90	451.710
SM-IV	19.09	0.37	15.22	0.70	0.85	63.979
SM-V	17.25	0.47	23.33	0.75	0.85	120.589
EROSIÓN TOTAL						287.459 t/ha*año

AÑO	2015					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
SM-I	20.05	0.43	20.33	0.70	0.87	106.767
SM-II	23.35	0.45	108.60	0.85	0.90	872.904
SM-III	23.37	0.43	76.48	0.80	0.90	553.228
SM-IV	23.39	0.37	15.22	0.70	0.85	78.362
SM-V	20.95	0.47	23.33	0.75	0.85	146.428
EROSIÓN TOTAL						351.538 t/ha*año

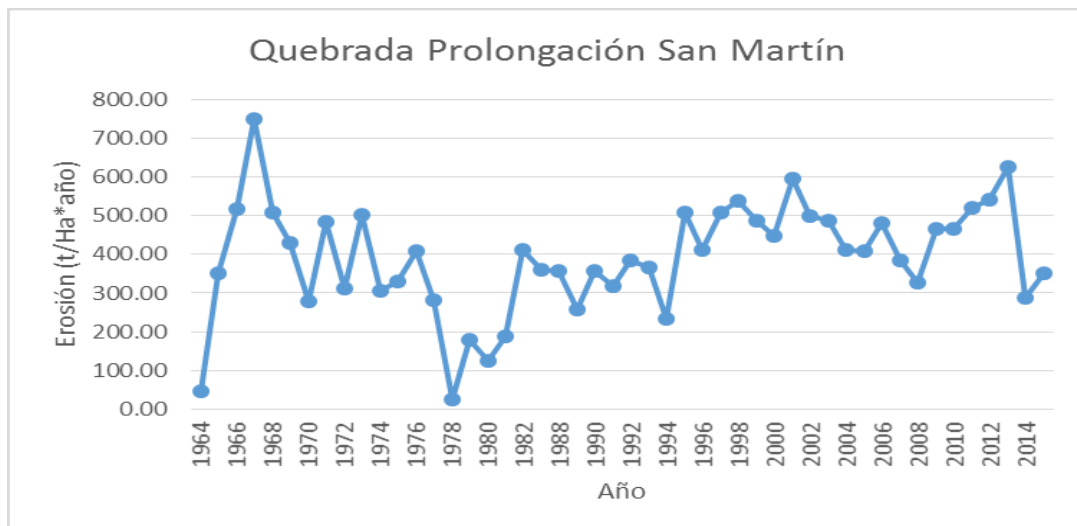
RESUMEN

AÑOS	E (t/ha*año)
1964	45.54
1965	352.11
1966	516.79
1967	750.12
1968	507.11
1969	431.11
1970	278.88
1971	484.66
1972	313.08
1973	502.88
1974	306.97
1975	331.39
1976	409.41
1977	280.50
1978	26.36
1979	179.72
1980	125.00
1981	187.54
1982	411.65
1983	361.26
1988	358.46
1989	258.08
1990	357.92
1991	318.24

AÑOS	E (t/ha*año)
1992	384.66
1993	365.70
1994	233.39
1995	507.05
1996	411.24
1997	506.83
1998	538.39
1999	486.04
2000	448.51
2001	596.20
2002	497.78
2003	486.39
2004	411.30
2005	410.00
2006	479.59
2007	384.41
2008	325.99
2009	465.23
2010	465.06
2011	521.29
2012	540.82
2013	624.33
2014	287.46
2015	351.54

Maxima Erosión es: 750.12 t/ha*año

La erosión hídrica el año 2,015 en la quebrada Prolongación San Martín de área 13.73Ha es: $351.54t/Ha*año*13.73Ha = 2,899 Tn$.



5.4.2.3 Erosión Hídrica en Quebrada Yanaccacca

AÑO	1964					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
YA-I	3.02	0.44	100.06	0.80	0.80	85.001
YA-II	3.03	0.48	80.38	0.48	0.80	44.907
YA-III	3.01	0.43	9.66	0.75	0.85	7.971
EROSIÓN TOTAL						45.960

t/ha*año

AÑO	1965					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
YA-I	23.31	0.44	100.06	0.80	0.80	656.724
YA-II	23.41	0.48	80.38	0.48	0.80	346.873
YA-III	23.25	0.43	9.66	0.75	0.85	61.592
EROSIÓN TOTAL						355.063

t/ha*año

AÑO	1966					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
YA-I	34.20	0.44	100.06	0.80	0.80	963.520
YA-II	34.35	0.48	80.38	0.48	0.80	508.863
YA-III	34.11	0.43	9.66	0.75	0.85	90.371
EROSIÓN TOTAL						520.918

t/ha*año

AÑO	1966					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
YA-I	49.61	0.44	100.06	0.80	0.80	1397.845
YA-II	49.82	0.48	80.38	0.48	0.80	738.141
YA-III	49.49	0.43	9.66	0.75	0.85	131.117
EROSIÓN TOTAL						755.701

t/ha*año

AÑO	1968					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
YA-I	33.57	0.44	100.06	0.80	0.80	945.860
YA-II	33.72	0.48	80.38	0.48	0.80	499.595
YA-III	33.48	0.43	9.66	0.75	0.85	88.708
EROSIÓN TOTAL						511.388

t/ha*año

AÑO	1969					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
YA-I	28.55	0.44	100.06	0.80	0.80	804.445
YA-II	28.68	0.48	80.38	0.48	0.80	424.951
YA-III	28.48	0.43	9.66	0.75	0.85	75.441
EROSIÓN TOTAL						434.946

t/ha*año

AÑO	1970					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
YA-I	18.46	0.44	100.06	0.80	0.80	520.246
YA-II	18.55	0.48	80.38	0.48	0.80	274.801
YA-III	18.42	0.43	9.66	0.75	0.85	48.791
EROSIÓN TOTAL						281.279

t/ha*año

AÑO	1971					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
YA-I	32.07	0.44	100.06	0.80	0.80	903.683
YA-II	32.21	0.48	80.38	0.48	0.80	477.273
YA-III	31.99	0.43	9.66	0.75	0.85	84.757
EROSIÓN TOTAL						488.571

t/ha*año

AÑO	1972					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
YA-I	20.74	0.44	100.06	0.80	0.80	584.368
YA-II	20.84	0.48	80.38	0.48	0.80	308.719
YA-III	20.69	0.43	9.66	0.75	0.85	54.799
EROSIÓN TOTAL						315.962

t/ha*año

AÑO	1973					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
YA-I	33.28	0.44	100.06	0.80	0.80	937.697
YA-II	33.43	0.48	80.38	0.48	0.80	495.242
YA-III	33.20	0.43	9.66	0.75	0.85	87.947
EROSIÓN TOTAL						506.962

t/ha*año

AÑO	1974					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
YA-I	20.33	0.44	100.06	0.80	0.80	572.893
YA-II	20.43	0.48	80.38	0.48	0.80	302.648
YA-III	20.28	0.43	9.66	0.75	0.85	53.724
EROSIÓN TOTAL						309.755

t/ha*año

AÑO	1975					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
YA-I	21.95	0.44	100.06	0.80	0.80	618.504
YA-II	22.05	0.48	80.38	0.48	0.80	326.748
YA-III	21.89	0.43	9.66	0.75	0.85	58.001
EROSIÓN TOTAL						334.418

t/ha*año

AÑO	1976					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
YA-I	27.11	0.44	100.06	0.80	0.80	763.722
YA-II	27.11	0.48	80.38	0.48	0.80	401.593
YA-III	27.04	0.43	9.66	0.75	0.85	71.625
EROSIÓN TOTAL						412.313

t/ha*año

AÑO	1977					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
YA-I	33.54	0.44	100.06	0.80	0.80	944.968
YA-II	33.68	0.48	80.38	0.48	0.80	499.069
YA-III	0.00	0.43	9.66	0.75	0.85	0.000
EROSIÓN TOTAL						481.346

t/ha*año

AÑO	1978					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
YA-I	1.85	0.44	100.06	0.80	0.80	52.094
YA-II	35.76	0.48	80.38	0.48	0.80	529.888
YA-III	1.84	0.43	9.66	0.75	0.85	4.885
EROSIÓN TOTAL						195.622

t/ha*año

AÑO	1979					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
YA-I	11.91	0.44	100.06	0.80	0.80	335.698
YA-II	11.97	0.48	80.38	0.48	0.80	177.384
YA-III	11.88	0.43	9.66	0.75	0.85	31.477
EROSIÓN TOTAL						181.520

t/ha*año

AÑO	1980					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
YA-I	8.26	0.44	100.06	0.80	0.80	232.717
YA-II	8.29	0.48	80.38	0.48	0.80	122.855
YA-III	8.24	0.43	9.66	0.75	0.85	21.832
EROSIÓN TOTAL						125.801

t/ha*año

AÑO	1981					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
YA-I	12.42	0.44	100.06	0.80	0.80	349.884
YA-II	12.47	0.48	80.38	0.48	0.80	184.818
YA-III	12.39	0.43	9.66	0.75	0.85	32.813
EROSIÓN TOTAL						189.171

t/ha*año

AÑO	1982					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
YA-I	27.24	0.44	100.06	0.80	0.80	767.637
YA-II	27.36	0.48	80.38	0.48	0.80	405.434
YA-III	27.18	0.43	9.66	0.75	0.85	71.996
EROSIÓN TOTAL						415.023

t/ha*año

AÑO	1983					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
YA-I	23.93	0.44	100.06	0.80	0.80	674.208
YA-II	24.04	0.48	80.38	0.48	0.80	356.169
YA-III	23.87	0.43	9.66	0.75	0.85	63.225
EROSIÓN TOTAL						364.534

t/ha*año

AÑO	1988					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
YA-I	23.72	0.44	100.06	0.80	0.80	668.341
YA-II	23.82	0.48	80.38	0.48	0.80	352.973
YA-III	23.66	0.43	9.66	0.75	0.85	62.685
EROSIÓN TOTAL						361.333

t/ha*año

AÑO	1989					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
YA-I	17.10	0.44	100.06	0.80	0.80	481.731
YA-II	17.18	0.48	80.38	0.48	0.80	254.499
YA-III	17.05	0.43	9.66	0.75	0.85	45.174
EROSIÓN TOTAL						260.468

t/ha*año

AÑO	1990					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
YA-I	23.70	0.44	100.06	0.80	0.80	667.858
YA-II	23.81	0.48	80.38	0.48	0.80	352.796
YA-III	23.64	0.43	9.66	0.75	0.85	62.632
EROSIÓN TOTAL						361.095

t/ha*año

AÑO	1991					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
YA-I	21.09	0.44	100.06	0.80	0.80	594.172
YA-II	21.19	0.48	80.38	0.48	0.80	313.924
YA-III	21.03	0.43	9.66	0.75	0.85	55.716
EROSIÓN TOTAL						321.271

t/ha*año

AÑO	1992					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
YA-I	25.47	0.44	100.06	0.80	0.80	717.514
YA-II	25.58	0.48	80.38	0.48	0.80	378.992
YA-III	25.40	0.43	9.66	0.75	0.85	67.292
EROSIÓN TOTAL						387.933

t/ha*año

AÑO	1993					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
YA-I	24.21	0.44	100.06	0.80	0.80	682.233
YA-II	24.32	0.48	80.38	0.48	0.80	360.370
YA-III	24.15	0.43	9.66	0.75	0.85	63.982
EROSIÓN TOTAL						368.861

t/ha*año

AÑO	1994					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
YA-I	15.44	0.44	100.06	0.80	0.80	435.155
YA-II	15.51	0.48	80.38	0.48	0.80	229.822
YA-III	15.41	0.43	9.66	0.75	0.85	40.814
EROSIÓN TOTAL						235.263

t/ha*año

AÑO	1995					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
YA-I	33.55	0.44	100.06	0.80	0.80	945.350
YA-II	33.70	0.48	80.38	0.48	0.80	499.266
YA-III	33.47	0.43	9.66	0.75	0.85	88.667
EROSIÓN TOTAL						511.094

t/ha*año

AÑO	1996					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
YA-I	27.22	0.44	100.06	0.80	0.80	767.029
YA-II	27.34	0.48	80.38	0.48	0.80	405.135
YA-III	27.15	0.43	9.66	0.75	0.85	71.937
EROSIÓN TOTAL						414.700

t/ha*año

AÑO	1997					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
YA-I	33.54	0.44	100.06	0.80	0.80	944.968
YA-II	33.68	0.48	80.38	0.48	0.80	499.069
YA-III	33.46	0.43	9.66	0.75	0.85	88.630
EROSIÓN TOTAL						510.889

t/ha*año

AÑO	1998					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
YA-I	35.61	0.44	100.06	0.80	0.80	1003.429
YA-II	35.76	0.48	80.38	0.48	0.80	529.888
YA-III	35.53	0.43	9.66	0.75	0.85	94.119
EROSIÓN TOTAL						542.479

t/ha*año

AÑO	1999					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
YA-I	32.16	0.44	100.06	0.80	0.80	906.248
YA-II	32.30	0.48	80.38	0.48	0.80	478.626
YA-III	32.08	0.43	9.66	0.75	0.85	84.998
EROSIÓN TOTAL						489.957

t/ha*año

AÑO	2000					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
YA-I	29.69	0.44	100.06	0.80	0.80	836.617
YA-II	29.83	0.48	80.38	0.48	0.80	441.901
YA-III	29.62	0.43	9.66	0.75	0.85	78.462
EROSIÓN TOTAL						452.327

t/ha*año

AÑO	2001					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
YA-I	39.45	0.44	100.06	0.80	0.80	1111.628
YA-II	39.63	0.48	80.38	0.48	0.80	587.092
YA-III	39.36	0.43	9.66	0.75	0.85	104.261
EROSIÓN TOTAL						600.994

t/ha*año

AÑO	2002					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
YA-I	35.94	0.44	100.06	0.80	0.80	1012.544
YA-II	36.10	0.48	80.38	0.48	0.80	534.789
YA-III	35.85	0.43	9.66	0.75	0.85	94.965
EROSIÓN TOTAL						547.433

t/ha*año

AÑO	2003					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
YA-I	32.19	0.44	100.06	0.80	0.80	906.890
YA-II	32.33	0.48	80.38	0.48	0.80	478.964
YA-III	32.11	0.43	9.66	0.75	0.85	85.059
EROSIÓN TOTAL						490.304

t/ha*año

AÑO	2004					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
YA-I	27.24	0.44	100.06	0.80	0.80	767.427
YA-II	27.36	0.48	80.38	0.48	0.80	405.388
YA-III	27.17	0.43	9.66	0.75	0.85	71.970
EROSIÓN TOTAL						414.928

t/ha*año

AÑO	2005					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
YA-I	27.14	0.44	100.06	0.80	0.80	764.760
YA-II	27.26	0.48	80.38	0.48	0.80	403.944
YA-III	27.07	0.43	9.66	0.75	0.85	71.723
EROSIÓN TOTAL						413.476

t/ha*año

AÑO	2006					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
YA-I	31.74	0.44	100.06	0.80	0.80	894.354
YA-II	31.88	0.48	80.38	0.48	0.80	472.363
YA-III	31.66	0.43	9.66	0.75	0.85	83.881
EROSIÓN TOTAL						483.533

t/ha*año

AÑO	2007					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
YA-I	25.44	0.44	100.06	0.80	0.80	716.764
YA-II	25.55	0.48	80.38	0.48	0.80	378.552
YA-III	25.38	0.43	9.66	0.75	0.85	67.226
EROSIÓN TOTAL						387.514

t/ha*año

AÑO	2008					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
YA-I	21.59	0.44	100.06	0.80	0.80	608.352
YA-II	21.69	0.48	80.38	0.48	0.80	321.372
YA-III	21.53	0.43	9.66	0.75	0.85	57.050
EROSIÓN TOTAL						328.925

t/ha*año

AÑO	2009					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
YA-I	30.79	0.44	100.06	0.80	0.80	867.504
YA-II	30.92	0.48	80.38	0.48	0.80	458.173
YA-III	30.71	0.43	9.66	0.75	0.85	81.363
EROSIÓN TOTAL						469.014

t/ha*año

AÑO	2010					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
YA-I	30.78	0.44	100.06	0.80	0.80	867.337
YA-II	30.92	0.48	80.38	0.48	0.80	458.106
YA-III	30.71	0.43	9.66	0.75	0.85	81.345
EROSIÓN TOTAL						468.930

t/ha*año

AÑO	2011					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
YA-I	34.49	0.44	100.06	0.80	0.80	971.757
YA-II	34.64	0.48	80.38	0.48	0.80	513.191
YA-III	34.40	0.43	9.66	0.75	0.85	91.146
EROSIÓN TOTAL						525.365

t/ha*año

AÑO	2012					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
YA-I	35.80	0.44	100.06	0.80	0.80	1008.578
YA-II	35.95	0.48	80.38	0.48	0.80	532.700
YA-III	35.71	0.43	9.66	0.75	0.85	94.593
EROSIÓN TOTAL						545.290

t/ha*año

AÑO	2013					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
YA-I	41.31	0.44	100.06	0.80	0.80	1163.866
YA-II	41.49	0.48	80.38	0.48	0.80	614.650
YA-III	41.21	0.43	9.66	0.75	0.85	109.164
EROSIÓN TOTAL						629.227

t/ha*año

AÑO	2014					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
YA-I	19.02	0.44	100.06	0.80	0.80	535.854
YA-II	19.10	0.48	80.38	0.48	0.80	282.987
YA-III	18.97	0.43	9.66	0.75	0.85	50.260
EROSIÓN TOTAL						289.701 t/ha*año

AÑO	2015					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
YA-I	23.29	0.44	100.06	0.80	0.80	656.116
YA-II	23.39	0.48	80.38	0.48	0.80	346.619
YA-III	23.23	0.43	9.66	0.75	0.85	61.528
EROSIÓN TOTAL						354.754 t/ha*año

RESUMEN

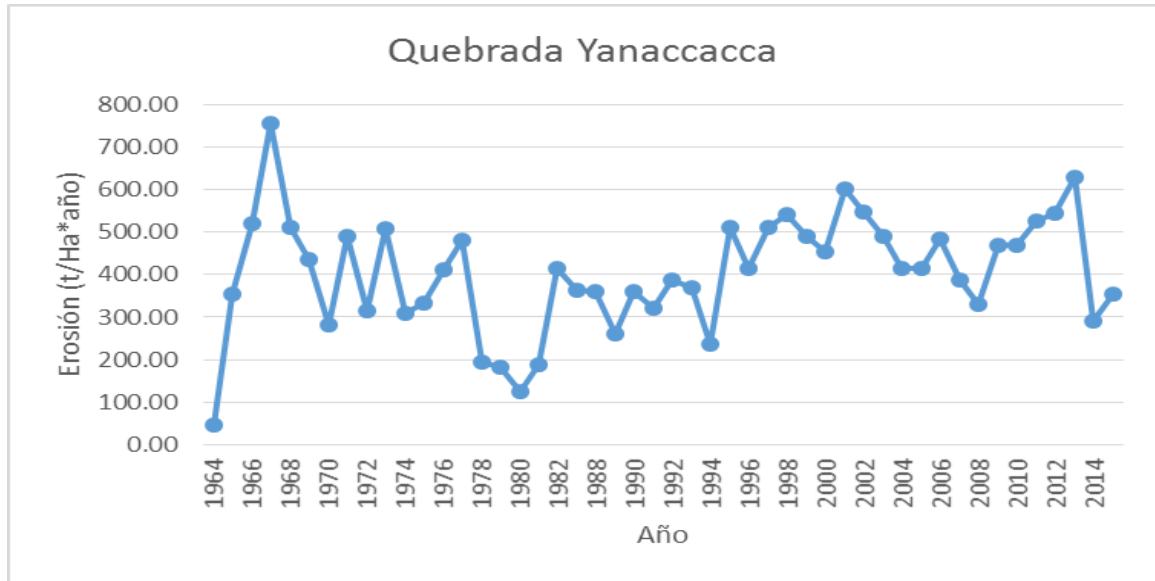
AÑOS	E (t/ha*año)
1964	45.96
1965	355.06
1966	520.92
1967	755.70
1968	511.39
1969	434.95
1970	281.28
1971	488.57
1972	315.96
1973	506.96
1974	309.76
1975	334.42
1976	412.31
1977	481.35
1978	195.62
1979	181.52
1980	125.80
1981	189.17
1982	415.02
1983	364.53
1988	361.33
1989	260.47
1990	361.10
1991	321.27

AÑOS	E (t/ha*año)
1992	387.93
1993	368.86
1994	235.26
1995	511.09
1996	414.70
1997	510.89
1998	542.48
1999	489.96
2000	452.33
2001	600.99
2002	547.43
2003	490.30
2004	414.93
2005	413.48
2006	483.53
2007	387.51
2008	328.93
2009	469.01
2010	468.93
2011	525.37
2012	545.29
2013	629.23
2014	289.70
2015	354.75

Max. Erosión= 755.70 t/ha*año

La erosión hídrica el año 2,015

Maxima Erosión es: 755.70 t/ha*año
 La erosión hídrica el año 2,015 en la quebrada Yanaccacca de área 8.2765Ha es:
 $354.75t/Ha*año*8.2765Ha = 2,936 Tn.$



5.4.3 Erosión Hídrica máxima con método indirecto bajo control de erosión:

5.4.3.1 Erosión Hídrica máxima en la quebrada Arroyo Seco

AÑO	X					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
AS-I	49.65	0.39	0.05	0.10	0.10	0.009
AS-II	45.99	0.36	0.05	0.10	0.10	0.009
AS-III	49.50	0.45	0.04	0.10	0.10	0.009
AS-IV	49.54	0.39	0.06	0.15	0.10	0.018
EROSIÓN TOTAL						0.011 t/ha*año

5.4.3.2 Erosión Hídrica máxima en la quebrada Prolongación San Martín

AÑO	X					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
SM-I	43.37	0.43	0.06	0.10	0.10	0.010
SM-II	49.73	0.45	0.04	0.10	0.10	0.010
SM-III	49.76	0.43	0.05	0.15	0.10	0.015
SM-IV	49.80	0.37	0.06	0.10	0.10	0.010
SM-V	45.11	0.47	0.05	0.10	0.10	0.010
EROSIÓN TOTAL						0.011 t/ha*año

5.4.3.3 Erosión Hídrica máxima en la quebrada Yanaccacca

AÑO	X					
SUB-CUENCA	R	K	LS	C	P	E
YA-I	49.61	0.44	0.04	0.10	0.10	0.010
YA-II	49.82	0.48	0.05	0.10	0.10	0.012
YA-III	49.49	0.43	0.07	0.18	0.10	0.027
EROSIÓN TOTAL						0.016

t/ha*año

* Para determinar la erosión hídrica máximo con el planteamiento de control de erosión se utilizó el índice de erosibilidad relacionado a lluvia mayor que corresponde al año 1.967.

5.5 Solución Propuesta de vegetación

Ante la problemática de la erosión en las laderas del cerro la Picota, se plantea realizar la reforestación en el ámbito que abarca dicho proyecto, comúnmente se recomienda emplear plantas comunes en la región.

Por el tipo del suelo se propone reforestar con cabuya, dodonaea viscosa (Chamana) y molle ya que representa la mejor protección contra la erosión y son muy adaptables al clima de nuestra región.

CABUYA

La cabuya es una planta endémica del Perú. Crece en toda la costa a excepción del cerro Chimbote y el cerro Campana, en Trujillo. En la sierra, crece desde los 1450 hasta los 3000 msnm. La cabuya se encuentra distribuida desde América Central hasta América del Sur. Su crecimiento es muy rápido y tiene muy buena cobertura de raíz semiprofunda, Es resistente a las sequías y a las quemas. Tiene una buena resistencia a la quema, resistencia a los intensos veranos y bajos costos de mantenimiento. Se adapta fácilmente a suelos ácidos.

Se le emplea en taludes para construir barreras horizontales que disminuye la velocidad del agua y en esa forma se evita la erosión.

Figura N° 5.5:
Cabuya



SCHINUS MOLLE

Es una de las plantas que se usa para conservación de suelo, control de la erosión. Se trata de uno de los pocos árboles que prosperan en pedregales y lomeríos y mejora la fertilidad del suelo. Las hojas, ramas y frutos se caen abundantemente y al caer constituyen una buena materia orgánica que aumenta la fertilidad del suelo y tiene un fin de recuperación de terrenos degradados

Figura N° 5.6:
Molle



DODONAEA VISCOSA (CHAMANA)

Es capaz de crecer en suelos muy erosionados y con fuertes pendientes, sobre toba removida. Es tolerante a suelos arcillosos y susceptible a suelos muy salinos y compactados. Es una especie tolerante a las sequías, sombra, inundaciones, viento y heladas; susceptible al ramoneo y al fuego. Crece en climas templados y semicálidos tanto secos como húmedos.

Figura N° 5.7:
Chamana



DISCUSIONES

Con el presente trabajo de tesis se puede mencionar los siguientes:

- En la zona de estudio existen en mayoría diques transversales construidos de manera artesanal con muro seco de piedra inadecuadamente distribuidos y en regular condiciones, los canales sin revestir se encuentran colmatados con material sólido producto de la erosión de las partes altas, al pie de los diques se origina socavaciones por la caída de agua.
- En el Cerro La Picota se han identificado 4 unidades de vulnerabilidad, siendo las que porcentualmente tienen mayor incidencia: Tierras con alto riesgo con 66.33%, Tierras con moderado riesgo con 31.35%, del área total.
- La degradación del suelo es un proceso continuo y sostenido, que puede conducir a estados de deterioro cada vez más agudos, la cual tiene múltiples causas y orígenes. En la actualidad, se considera a la erosión como uno de los principales agentes de degradación ambiental hace que se presente un panorama complejo y de difícil solución.
- La erosiones hídricas se originan por escorrentía de aguas proveniente de las precipitaciones y si el suelo esta desprotegido evidentemente habrá erosión donde esta será mayor cuando existe mayor escorrentía de agua por lo que es necesario reducir dicha escorrentía construyendo zanjas de infiltración que permitirán mayor infiltración y menor escorrentía de agua.
- Las zanjas de infiltración debe responder a que la cantidad de agua de lluvia que cae desde la zona de impluvio debe ser menor o igual a la que capta y a la que absorbe la zanja.
- La vegetación ejerce su influencia estabilizadora de los materiales del suelo a través de la acción de la porción viva y muerta superficial (tallos, hojas, residuos) como subterránea (raíces, materia orgánica humificada, etc).
- Las técnicas de bioingeniería en estas situaciones permiten soluciones efectivas y sustentables, tanto desde el punto de vista económico como ambiental, ya que son tecnologías dinámicas y de acción creciente por el propio desarrollo del vegetal con el transcurrir del tiempo.
- En la zona de estudio en promedio requiere revegetar en casi un 70% de su área.
- Las quebradas siendo las más críticas con mayor erosión deben ser manejados con la construcción de diques transversales que permiten reducir la pendiente de terreno y

la velocidad media del flujo de agua esto hará que el esfuerzo cortante de la corriente de agua sea menor o igual que el esfuerzo cortante crítico y para evitar la socavación al pie de dique por la caída de agua es necesario construir pozas disipadoras.

- No es posible calcular la cantidad exacta de suelo erosionado pero sin embargo si se puede estimar dicha cantidad, para lo cual en el área de estudio se estimaron la erosión hídrica para el año 2,015 primero con el método directo instalando estacas de madera y acero corrugados en dicha área de estudio, y estas fueron comparados con el método indirecto que es la ecuación universal de estimación de erosión hídrica que permitieron estimar la erosión para cada año desde el año 1.964 al año 2,015, así también la estimación de erosión hídrica con el tratamiento de la zona de estudio.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones:

- Mediante el control de erosión planteado, la erosión hídrica máxima en las quebradas de Yanaccacca y prolongación San Martín se reduce a 0.011 Tn/ha*año y en la quebrada Arroyo Seco se reduce a 0.016 Tn/ha*año.
- Los diques transversales con sus respectivas pozas disipadoras, influyen en el control de erosión hídrica porque se reduce la longitud del tramo y disminuye la pendiente del terreno entre diques.
- Al reducir la escorrentía superficial, incremento de infiltración con la construcción de zanjas de infiltración planteado influye en el control de erosión hídrica.
- La cobertura vegetal contribuye en la disminución de la erosión hídrica y se plantea realizar la reforestación en áreas libres con cabuya, chamana y molle, ya que representa la mejor protección contra la erosión y son muy adaptables al clima de la zona de estudio.
- Para controlar la erosión hídrica en cárcavas, los diques transversales tendrán alturas de 2 a 2.5 m, las distancias entre diques de 3.27 a 12.32 m y la pendiente del terreno entre diques de 0.17% a 0.68%.

Recomendaciones

- Es recomendable realizar estudios posteriores para el control de las otras quebradas existentes en el Cerro la Picota.
- Se recomienda sensibilizar a la población de las zonas adyacentes a las quebradas en el Cerro la Picota para evitar que eliminen desmontes y residuos sólidos en general a dichas quebradas.
- Se recomienda utilizar el material de excavación de zanjas de infiltración en construir camellones inmediatamente aguas debajo de las zanjas de infiltración respectivas y estos debidamente estabilizados con la correcta compactación.
- Se recomienda realizar mantenimiento posterior a las épocas de lluvias de manera anual del sistema planteado.
- Para los taludes altos se recomienda construir banquetas y el material de corte sea utilizado en rellenos de espacios entre diques transversales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Martin Vide, Juan P. "Ingeniería de los Ríos" 3ra Edición, Mexico 2001.
- [2] Rocha Felices, F. "Introducción a la Hidráulica de los Ríos" 1ra Edición, Lima 1998.
- [3] Ayala R., Luis "Estudio de Degradación de Ríos" Santiago de Chile, 1981.
- [4] Colegio de Ingenieros del Perú "Simposio sobre deslizamiento (huaycos) e inundaciones", Lima, 1972.
- [5] Morgan, R.P.C., "Erosión del suelo", Madrid, 1997.
- [6] Suarez Días, Jaime, "Control de erosión en zonas tropicales" , Colombia, 2001.
- [7] Segura Criado, F.R., " Impacto ambiental de las líneas de alta velocidad", 1ra Edición, España, 2002.
- [8] Kirby, M.J., "Erosión de suelos", 2da Edición, Mexico, 1984.
- [9] Stobout, B.A., "La erosión del suelo por el agua" 1ra Edición, Roma:FAO, 1967.
- [10] MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE (1998). "Restauración hidrológico forestal de cuencas y control de erosión", Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Civil, Lima, Perú.
- [11] Linsley y Franzini; " Ingeniería de los Recursos Hidráulicos", 3ra Edición, Mexico,1970.
- [12] Colegio de Ingenieros del Perú; "Simposio sobre deslizamiento (huaycos) e Inundaciones", 1ra Edición, Lima, 1972.
- [13] MINANG, "Los recursos hídricos de la Cuenca la Picota, Ayacucho. 1,990
- [14] Pizarro, T.R., Diseño de obras para la conservación de agua y suelos, Chile, 2004.
- [15] Pizarro, T.R., Monografías zanjas de infiltración, Chile,2004.
- [16] Pazolac, Manual de métodos sencillos para estimar la erosión hídrica, Nicaragua,2005.
- [17] ANA, Manual criterio de diseño de obras hidráulicas para la formulación de proyectos hidráulicos multisectorial y afianzamiento hídrico, Lima, 2010.

- [18] Lopez F.R., Degradación del suelo causas, procesos, evaluación e investigación, 2da Edic., Venezuela, 2002.
- [19] Valladares F., Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante , Madrid, 2004.
- [20] [Website:www.midwestind.com](http://www.midwestind.com), Su llave hacia la calidad total para el control de la erosión y estabilización de suelos .
- [21] https://sites.google.com/site/ampliabiogeo/ciclo_rocas/la-erosion-agentes-causantes).

CAPÍTULO **A**
ANEXOS