

4

Edafología

4.1 GENERALIDADES

A finales del mes de octubre y principios de noviembre de 1998, los países centro-americanos fueron afectados por los estragos del huracán Mitch, cuyos efectos catastróficos han sido los peores sucedidos en décadas, demostrando la fragilidad regional y de nuestro país ante estos fenómenos meteorológicos, causados por la intensa lluvia y vientos huracanados.

Los eventos relacionados a la remoción de masa y su movimiento hacia otras zonas son fenómenos naturales, pero lo ocurrido en el Municipio de Berlín en noviembre de 1998, fué debido a un proceso que tuvo, en cierta medida, participación del hombre, tal proceso natural fué acelerado por el hombre; además, los peligros por la expansión urbana en áreas de riesgo (construcciones en o cerca de conos de deyección, paredones no estables, riberas de ríos azolvados, etc.) contribuyeron en aumentar el nivel de riesgo.

A pesar de todo se puede mitigar los efectos, disminuir el grado de peligrosidad en el entorno humano, sin por ello interferir en el proceso natural, más bien, hacerlo más controlable, lento y con menos riesgos.

Los geólogos L. Don Leet y Sheldon Judson de las universidades de Harvard y Princeton respectivamente, en la Obra Fundamentos de Geología Física, 1974 refieren sobre estos fenómenos naturales, a saber:

“Cuando las rocas están expuestas en la superficie de la tierra, el interperismo comienza a actuar inmediatamente, para establecer un equilibrio entre el material boscoso y su nuevo medio. Sin embargo, otros factores ponen sus fuerzas a los procesos de interperismo: por ejemplo, la gravedad actual para mover los productos de intemperismo, y aun a la roca inalterada, hacia niveles cada vez más bajos. A este movimiento de material de la superficie, causado por la gravedad es a lo que se llama movimiento de masa. Algunas veces tiene lugar repentinamente,

en forma de grandes deslizamientos de tierra y de desprendimiento de roca de los acantilados; pero a menudo se efectúan casi imperceptiblemente, como el lento resbalamiento del suelo a lo largo del terreno de suave pendiente. En consecuencia, el movimiento de masa es un tipo de ajuste que los materiales de la tierra hacen en relación con su ambiente físico; es ésta una de las muchas maneras en que actúa la gravedad para denudar o desgastar las masas terrestres. Otros agentes geológicos tales como el agua superficial, la del subsuelo, el viento, el hielo y las olas, actúan estrechamente unidos a la gravedad, para realizar la degradación constante o nivelación de la tierra.”

En vista de lo anterior, el Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales decidió efectuar un estudio detallado para establecer un modelo piloto, a fin de tomar medidas de mitigación y hasta donde sea posible, conservar y restaurar las áreas afectadas por estos fenómenos meteorológicos.

4.2 METODO DE INVESTIGACION

GABINETE Y CAMPO

Ha consistido, primero, en obtener y recopilar la información pertinente como es: documentos, mapas, fotografías aéreas disponibles, en pares estereoscópicos, luego de identificar lugares o puntos de interés; diseñar las salidas al campo para su observación y comprobación.

En el campo se hicieron observaciones de perfiles de suelos, en cortes de carreteras - caminos vecinales - quebradas, y con perforaciones de suelos utilizando un barreno hasta una profundidad de 1.20 metros. Las observaciones físicas de los perfiles han sido: textura, estructura, color en húmedo y en seco, moteos consistencia, profundidad de estratos, profundidad efectiva, porosidad, movimiento de arcilla entre los agregados del suelo etc. Además, se hizo una descripción del entorno como : topografía y su pendiente, fisiografía, relieve, vegetación, piedras o rocas en la superficie, grado de erosión, altura sobre el nivel del mar, abundancia de raíces y por supuesto, la localización del lugar.

Toda esta información se tabuló, luego fue impreso y con ello se confeccionaron unidades de mapeo que indican las características de los suelos. Las recomendaciones del manejo se hicieron por medio de diagramas y el mapa. El estudio del levantamiento de suelo se efectuó según la metodología descrita en el manual “Agriculture Handbook N 436, Soil Taxonomy 1975” del

Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Este define los suelos por sus características genéticas según los procesos formadores, estudiando la morfología del perfil en acorde a los estratos que lo componen, identificando los horizontes diagnósticos.

TECNICAS DE APOYO

Para los estudios agrológicos y pedológicos se tienen técnicas auxiliares o de apoyo como es la lectura de mapas, la fotogrametría y fotointerpretación. Los contornos o curvas a nivel dan una concepción más clara y comprensible de la morfología del terreno o su configuración, que cualquier otro método expresados en los mapas topográficos. Una persona con cierta capacidad de análisis o entrenamiento en el conocimiento de la geomorfología y geografía, puede leer y entender algunos factores derivados de las líneas en contorno como cierta estructura del paisaje, posible utilización de las tierras en varias direcciones, y determinar la hidrología del lugar o la fisiografía.

A principios del siglo XX se comenzaron a utilizar la fotogrametría y fotointerpretación, métodos que consisten en la interpretación de pares de fotografías aéreas, tanto oblicuas como verticales; que son imágenes o fotos verticales o mapa fotográfico del terreno, pero que requiere, para su interpretación, conocer ciertas técnicas de lectura ayudados por un aparato conocido como estereoscopio. Con este equipo, y debido a la ingeniosa conformación de los lentes, se observan las fotos aéreas sucesivas que por su traslape, se logra la visión estereoscópica, o sea, en tres dimensiones.

En esta visión estereoscópica, una vez lograda, se aprecia en blanco y negro lo siguiente:

1. El tamaño de los objetos

2. El aspecto o forma

3. El tono

4. La textura

5. Las sombras y las orientaciones

6. Los accesos

7. Las relaciones o aspectos relacionados

1. El Tamaño. Para establecer el tamaño es necesario, primero, determinar la escala de las fotos. Esto se logra en las mismas fotos o se puede comparar por otros medios como son: el ancho de carreteras, dimensiones de las casas, canchas deportivas u otras construcciones en obras de ingeniería o agricultura, etc.

2. **El aspecto o la forma.** Esta es la más fácil de interpretar, como el cuadrado de las casas, el tendido de ferrocarriles y otras obras construidas por el hombre del cual conocemos su diseño.
3. **El tono.** Son tonalidades de gris que dependen de la cantidad de luz que reflejan los objetos, dada la posición del sol. El caso de los cuerpos de agua, por lo general, aparecen más oscuros que la tierra circundante; contrastes marcados suelen observarse por igual con la vegetación, que por su aspecto y tono, se diferencia de otras áreas cercanas.
4. **Textura.** Es un aspecto relacionado al uso de la tierra. Un ejemplo es el bosque, que aparece moteado grueso debido a las copas de los árboles, un moteado fino es el aspecto que dan los matorrales, patrones regulares deben a configuraciones de cultivos, un rayado homogéneo es el propio de un terreno arado.
5. **Sombra.** La sombra en las fotografías aéreas permite establecer la altura y reconocer la forma de los objetos observados. Depende del ángulo de la luz y la inclinación o deformación del terreno, pero algunas formas pueden interferir en los detalles del terreno. La sombra por igual nos indica la forma de los objetos que no pueden ser distinguidos con claridad debido a la visión vertical, y su identificación depende de la proyección en el terreno y el ángulo de la luz solar.
6. **Los accesos.** El tamaño o forma pueden ser identificados por los accesos, como el de una casa dentro de una finca, la primera no puede ser observada debido a la arboleda, pero el camino de entrada supone que existe, si tal camino de acceso no continúa. Una línea ferroviaria se diferencia de una carretera, por el radio de las curvas o porque las vías férreas no tienen acceso a las casas. El sentido común vale mucho en la interpretación de los accesos.
7. **Aspectos relacionados.** Por ejemplo, concentraciones de líneas férreas inducen a pensar en estaciones ferroviarias, grandes construcciones con acceso de caminos; vías férreas dan también la pauta para pensar en grandes fabricas, represas y líneas conductoras, presas hidroeléctricas, etc.

Así, con los aspectos mencionados, un foto-interpretador puede ubicar e identificar un determinado sitio, reconocer el lugar y hacer las interpretaciones del caso. El fin perseguido por el estudio de suelos, una vez establecidos los parámetros de una unidad de mapeo, como la topografía, pendiente, presunciones de ciertas características del suelo, es hacer los trazos de los límites de esa unidad, con las constataciones de campo para desvanecer cualquier duda o verificar otro tipo de interpretación que se haga con esta técnica.

4.3 SUELOS

4.3.1 PROPIEDADES GENERALES

Los suelos objeto de estudio en el área del proyecto de Berlín, están ubicados en las estructuras volcánicas al este de la ciudad.

Los suelos propios del pie de monte y de las faldas del volcán se incluyen en la misma unidad de mapeo, pero se diferencian entre sí. Los ubicados al pie de la montaña son de una fase de pendiente suave o moderada y con perfiles más profundos que los ubicados en las faldas altas. Lo componen cenizas volcánicas, de texturas franco arenosas a veces gravillosos de color oscuro, debido al alto contenido de materia orgánica; de consistencia friable, no plásticos ni pegajosos, con estructura granular, abundantes poros finos a medianos, condiciones que suponen una fácil infiltración. En estos suelos, el subsuelo lo forma un material impermeable, como tobas que suelen ser capas discontinuas pero muy frecuentes, y no permiten una infiltración profunda. Otro material del subsuelo, pero menos frecuente, son las lavas, y la profundidad de los suelos sobreyacentes varía de 20 a 60 cms. Sobre estos materiales, en las faldas de los volcanes, los suelos tienden ser menos profundos y más pedregosos, esto debe a que, a pesar de estar protegidas las fuertes pendientes, provocan una erosión laminar y este material, en parte, va a alimentar el acarreado por los sistemas de drenaje naturales, que son las quebradas ó cárcavas. Para evitar o disminuir este arrastre de suelos hacia las quebradas, es necesario construir pequeñas terrazas o canales de infiltración y a mayor plazo, pozos de infiltración que combinados, tienen un gran control con el agua de escurrimiento. Estos suelos descritos se identifican en el Levantamiento General de Suelos como Taburetes Accidentado en Montañas Tbb.

Los conos volcánicos o faldas altas y cimas de los cerros Pelón y Laguna Ciega, no han formado suelos, es un material conocido como malpaisera compuestos de lavas recientes, tobas, lapilli, piroclastos gruesos y ceniza volcánica. En forma dispersa, esta última, ha favorecido el crecimiento de zacates y matorrales. Estos materiales principalmente los sueltos, son los que aumentan, en su mayor parte, los flujos de lodo que terminan en las partes bajas de las estructuras volcánicas.

4.3.2 CLASIFICACIÓN

Según "EL LEVANTAMIENTO GENERAL DE SUELOS, MAG 1957-1966", las unidades de mapeo de la zona del proyecto se identifican como: Taburete Tbb, Chinameca Chib,

Malpaisera Maa. Sin embargo en el área revisada del proyecto se encontraron los suelos Taburete Tbb, Malpaisera Maa y los Chinameca, pero, no en el sitio que fueron indicados sino que en la cima del cerro Pelón. Además, su perfil no es el descrito, sino que está controlado en su profundidad por toba gravillosa.

Los suelos de la zona del proyecto son de formación reciente, según la Misión Geológica Alemana con el Centro de Investigaciones Geotécnicas (1967-1971), la unidad geológica de la zona pertenece a la San Salvador, que es la más reciente, del Holoceno, y está compuesta, en gran medida, por cenizas volcánicas de 20 a 60 centímetros de espesor sobre tobas.

Taburete Tbb

Fisiografía. Falda de conos volcánicos, con disecciones formadas por quebradas de unos 4 a 10 metros de relieve, la topografía es inclinada hacia la ciudad de Berlín con pendientes promedio de unos 20% a 50% en cerro las Palmas.

Suelos. Los suelos son desarrollados de las cenizas volcánicas de colores oscuros y de texturas francas a franco limosas, son friables de alta fertilidad; la profundidad efectiva sobre la toba es de unos 20 a 40 cms, lo que evita la penetración de las raíces, a pesar de ello, no es notoria ninguna evidencia de drenaje impedido.

Uso Actual. El mayor porcentaje es el cultivo del café.

Observaciones. La poca profundidad de la Toba no se refleja en el cultivo del café debido a que el sistema de siembra se hace en maceta es decir se efectúa un hoyo con barra o piocha de 40 x 40 cms. Lo que a veces logra sobrepasar la toba cuando es de poco espesor y muchas veces se usa también tierra prestada de buena calidad.

Taburete Tbs

Fisiografía. Se ha querido diferenciar estos suelos ubicados en la planicie de Pie de Monte, por tener una topografía de menor pendiente 12%, siempre con inclinación a la Ciudad de Berlín; la dirección es de poco relieve de 1 a 2 metros y en partes sin dirección, en donde el agua de las quebradas que vienen de la parte superior se desparrama en estos terrenos.

Suelos. Los suelos son similares a los anteriormente descritos y se diferencian en, que éstos tienen mayor espesor sobre toba de 40 a 60 cms.

Observaciones. En ciertos lugares se encontró un suelo sin cohesión, muy suelto, de color café amarillento y textura Franco Limosa de unos 26 cms de espesor sobre toba gravillosa.

Chinameca Chit

Se ha usado este nuevo símbolo para diferenciarlo de los otros suelos Chinameca descritos anteriormente y la Letra "T" se ha colocado para indicar la presencia de toba en el perfil.

Fisiografía. Antiplano largo y estrecho que une los conos volcánicos del cerro El Pelón y Cerro las Palmas, topografía ligeramente ondulada de 3 a 6% de pendiente.

Suelos. Son recientes desarrollados de ceniza volcánica, de tonos café amarillento y textura Franco arenosa y Arenofrancosas, sueltas, con muy poca materia orgánica con un espesor de 20 a 70 cms., sobre una toba gravillosa.

Uso Actual, pasto jaraguá y siembras de ciprés y café.

Malpaisera Maa

Fisiografía. Conos y cráteres volcánicos compuestos de materiales lávicos y escorias, tobas y lapilli, áreas de pendientes muy abruptas mayores de 55%. Entre los intersticios de las rocas se ha observado material de ceniza Volcánica de colores oscuros y rojizos, lo que ha dado lugar a que haya desarrollado una vegetación de matorral y otra arbustiva, este tipo de vegetación ha logrado estabilizar este material principalmente el suelto, a tal grado que Torres (ver Dasonomía en este texto) reporta que el material arrastrado por las quebradas ha sido mayormente el que se encuentra en las margenes de las quebradas y no en las laderas de los conos volcánicos; tal consideración es por igual reportado por los demás consultores. Es evidente por los deslizamientos de las paredes, llevándose consigo arbustos del café, árboles de sombra y roca, ensanchando el cauce de las quebradas que frecuentemente son casi verticales. Todo esto es favorecido por el material de las cenizas volcánicas fácilmente erosionables y el material del subsuelo que son capas de materiales del tamaño de arenas y gravas casi sueltas sobre un suelo enterrado también poco cohesivo y fácilmente erosionable.

Malpaisera Mab

Esta unidad se ha creado para señalar áreas de pie de monte, que no son aptas para la agricultura, como son los afloramientos de toba, conos de deyección con desparrames sin cauces definidos de corrientes de agua, provenientes de las quebradas.

4.3.3 DESCRIPCIÓN DEL PERFIL

UNIDAD DE MAPEO

Chit Chinameca sobre toba

A1 0-20 cms., color seco 10 YR5/2 café grisáceo, húmedo 10 YR 3.5/2 café grisáceo muy oscuro, textura Franco Arenosa, estructura granular muy fina y mediana, débil, consistencia Friable, límite con horizonte inferior neto.

C1 20 - 50 cms., color seco 10 YR 5/3 café, húmedo 7.5 YR 4/2 café grisáceo oscuro, textura arena franca, sin estructura, consistencia suelta, límite entre el horizonte inferior gradual.

C2 50-68 cms., color seco 10 YR 3/3 café oscuro, textura arena franca, sin estructura, consistencia suelta, límite con horizonte inferior brusco.

R 68 + toba gravillosa clara.

Nº PERFIL Y SÍMBOLO

1 - Chit

FECHA:

5 de Enero de 2000

NOMBRE DEL SUELO :

Chinameca sobre toba

CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA:

Lithic Vitrandepts

CLASIFICACIÓN AGROLÓGICA:

IV S

CUADRANTE:

Berlín

COORDENADAS:

262.9 - 552.2

LUGAR:

La Cruz, Cerro Pelón

FISIOGRAFÍA:

Montura entre conos volcánicos

TOPOGRAFÍA:

4 a 6% pendiente, ligeramente ondulada.

ALTURA MSNM :

1400 mtrs.

MATERIAL PARENTAL:

Toba Gravillosa

PROFUNDIDAD EFECTIVA:

68 cms.

EROSIÓN:

Leve Laminar.

DRENAJE:

Bueno.

HUMEDAD:

Seco

USO ACTUAL:

Zacate Jaraguá , siembras de Cipreses malos y Café

AUTOR:

Rico

Tbb Taburete

A1 0-25 cms., color seco 10 YR 5/2 café grisáceo, húmedo 7.5 YR 3/2 café oscuro, textura franca a franco limosa, estructura granular fina y muy fina, consistencia friable, límite neto entre 2 y 5 cms., poros finos Random y muchos.

C 25-60 cms., color húmedo 7.5 YR 3/2 café oscuro, textura franca, estructura en grumos muy finos y débiles, consistencia Friable, límite neto., poros finos, muchos, Random.

R 60 + toba Impermeable color café, consistencia paralitic.

Nº PERFIL Y SÍMBOLO**FECHA****2 - Tbb****5 de Enero de 2000****NOMBRE DEL SUELO :**

Taburete Franco

CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA:

Lithic Mollic Vitrandepts

CLASIFICACIÓN AGROLÓGICA:

IV S_

CUADRANTE:

Berlín

COORDENADAS:

262.6 - 351.8

LUGAR:Quiebre de pendiente Cerro Pelón, orilla
quebrada Gallinero**FISIOGRAFÍA:**

Pie de Monte

TOPOGRAFÍA:

Ligeramente Inclínada, 12 % pendiente

ALTURA MSNM :

1220 mts.

MATERIAL PARENTAL:

Toba, Ceniza Volcánica fundida color café

PROFUNDIDAD EFECTIVA:

60 cms.

EROSION:

Laminar moderada

DRENAGE:

Bueno a moderado

HUMEDAD:

Húmedo

USO ACTUAL:

Cafetal

AUTOR:

Rico

4.4 BIBLIOGRAFIA

- * Don Leet L., & Sheldon Judson, 1974. Fundamentos de Geología Física. Editorial Limusa.
- * Instituto Geográfico Nacional, Pablo Arnoldo Guzmán, -, Mapas Topográficos 1:25 000.
- * Ministerio de Agricultura y Ganadería, 1993. Almanaque Salvadoreño. San Salvador.
- * , 1959-1967. Levantamiento General de Suelos. 29 cuadrantes. San Salvador, Lud Dreikorn , Mapas en colores. El Salvador
- * Ministerio de Educación, 1986. Geografía de El Salvador.
- * Misión Geológica Alemana, 1978. Mapa geológico general de la República de El Salvador. 6 Mapas en color 1967-1971.
- * Programa Determinación del Uso potencial del suelo MAG. Mapas Pedológicos y Agrológicos 1975-1980. Soil Taxonomy 1975, USDA manual N° 43
- * Raisz E., 1948. General Cartography.

5

Dasonomía

5.1 METODO DE INVESTIGACION

La primera acción ha sido ubicar el área de estudio en la hoja cartográfica de Berlín 2456 II, así también en las fotografías aéreas de la zona, tomadas en 1979. En las visitas de reconocimiento se concluyó que no existe *bosque natural* en el lugar. Como el enfoque es un diagnóstico Dasonómico, al no existir bosque natural, se ha orientado el trabajo para conciliar los propósitos, y con ese fin se aclaran algunos términos, a saber:

“DASONOMIA”: Ciencia forestal - conjunto de operaciones que se realizan en los montes, con un criterio científico para obtener en ellos de una manera continuada sus productos y beneficios (Neira y Martínez, 1968).

“DIAGNOSTICO DASONÓMICO”: Determinación del estado del bosque mediante el estudio del conjunto de parámetros y /o características cuantitativas y cualitativas que sirven como indicadores de la condición actual del mismo; con la finalidad de generar información básica para promover operaciones específicas posteriores encaminadas al cuidado y aprovechamiento del recurso arbóreo.

“MONTE”: Terreno dedicado a la producción de madera u otros productos forestales, o que se mantiene con vegetación leñosa para alguna finalidad, tal como protección del suelo, contención de las aguas o recreo.

Bajo estos conceptos, no aplica el término dasonómico a la zona estudio, es por ello que se ha efectuado una descripción de la vegetación natural.

Se describen a continuación los pasos para la elaboración del diagnóstico de la vegetación del Cerro Pelón, Berlín.

1. Recopilación bibliográfica:

- * Hojas cartográficas en escala 1:25,000, Berlín 2456 II, 1994.
- * Mapa de Zonas de Vida de El Salvador. Tossi, J.

- * Fotografías aéreas de 1979. Instituto Geográfico Nacional.
- * Almanaque Salvadoreño. Meteorología e Hidrología, 1993. MAG.
- * Trabajos relacionados con vegetación natural y la zona.

2. Delimitación del área objeto de estudio.

Con el propósito de tener una idea del área a trabajar, antes de ir al campo, se delimitó la zona de influencia del proyecto o micro-cuencas, localizando los cauces de las quebradas Gallinero y Colonia Jardín y luego los parte-aguas de cada una. Tal información fue vaciada en la hoja cartográfica 1:25,000, Berlín.

3. Materiales y equipo utilizado:

- * Estereoscopio
- * Eclímetro
- * Cinta métrica
- * Fotografías aéreas del año 1979: L-1, R-193.
- * Prensa para muestras botánicas.

4. Interpretación de fotografías:

Con un estereoscopio se foto-interpretaron las tres imágenes del año 1979, que cubren el terreno objeto de estudio.

5. Reconocimiento del área:

Consistió en la verificación de campo de la información obtenida en el proceso de fotointerpretación, visitándose El Cerro Las Palmas, El Cerro Pelón, etc.

6. Recolección de datos de campo:

En el área de vegetación natural del Cerro Pelón se identificaron las especies herbáceas y arbustivas predominantes, se colectó muestras de aquellas desconocidas para su posterior estudio e identificación.

Se efectuaron medidas para estimar el distanciamiento promedio de las especies arbustivas y arbóreas.

Luego, se establecieron parcelas de 1,000 m² en el cultivo de café, con el objeto de evaluar la densidad de sombra por manzana, también se definieron parcelas concéntricas de 100 m² para evaluar la densidad de la plantación de café.

Por otra parte, se recorrieron los distintos drenajes naturales de la zona para evaluar el estado de los cauces y la relación con la vegetación adyacente.

Visita a las oficinas de PROCAFE de Berlín. Entrevistas con residentes de la zona del Cerro Pelón, Cerro Las Palmas y de la Ciudad de Berlín.

7. Procesamiento y análisis de la información.

Una vez realizadas las distintas actividades en el campo, se procedió al cálculo de las densidades de la vegetación natural, la sombra y el cultivo del café, obteniéndose los siguientes resultados.

5.2 RESULTADOS

5.2.1 ANTECEDENTES

No más distinto a otras zonas del país, la destrucción de los bosques naturales en esta zona fue ocasionada por la mano del hombre, desde el siglo pasado, con la introducción de monocultivos como el añil, el café y el algodón. Si a ello suma el hecho del uso de la leña para la cocción de alimentos, construcción de viviendas y muebles, se tiene como consecuencia la existencia de que toda la zona alta y media del municipio de Berlín, se encuentra deforestada en un 100% y esto ha provocado la erosión permanente de las capas fértiles de suelo dejando al descubierto la roca madre en las zonas altas.

De acuerdo a la versión de los residentes locales, los bosques naturales fueron gradualmente reemplazados a finales del siglo XIX, y de lo poco que aún existe de vegetación natural, se observa en la parte alta del Cerro Pelón. Está constituida por vegetación herbácea y arbustiva, algunas especies arbóreas subdesarrolladas.

5.2.2 DESCRIPCIÓN DE LA VEGETACIÓN NATURAL

Con el propósito de realizar acciones en la zona de vegetación natural que se está desarrollando en el Cerro Pelón, se vuelve necesario comprender desde la perspectiva ecológica, en cual etapa de sucesión se ubica dicha vegetación.

Entendemos como sucesión: un proceso de cambio en la estructura y la composición de la vegetación de un determinado sitio, de manera que, a lo largo del tiempo, se encuentra en dicho sitio una serie de comunidades vegetales diferentes; a menudo, cada comunidad es de mayor altura y biomasa, y contiene más especies que la anterior (Finnegan, 1995).

En cuanto a las sucesiones, Finnegan (1995), menciona que se reconocen dos tipos, dependiendo del tipo de sustrato que la vegetación coloniza: Sucesión Primaria y Sucesión Secundaria.

Las sucesiones primarias son aquellas que se desarrollan sobre sustratos que nunca antes tuvieron vegetación. Ejemplos de dichos sustratos son los materiales de origen volcánico, los sedimentos que depositan los ríos en las llanuras aluviales y los materiales expuestos por derrumbes o deslizamientos.

Las sucesiones secundarias son aquellas que se desarrollan sobre sitios que son abandonados después de que su vegetación natural es completamente destruida. Estas sucesiones, entonces, se inician más comúnmente en tierras que son cultivadas durante un tiempo y luego se abandonan. Sin embargo, cualquier fenómeno natural que destruya un bosque inicia también una sucesión secundaria; la sucesión que se inicia después de que un huracán derriba un bosque, es secundaria, porque hay un suelo y había vegetación.

Algunas diferencias importantes entre estos tipos de sucesión:

a) **El sustrato.** El sustrato juega un papel importante en la determinación del tipo de vegetación que se establece y su productividad.

Las sucesiones primarias se desarrollan sobre un material mineral crudo. El desarrollo de un suelo se realiza simultáneamente con el desarrollo de la vegetación y en estrecha interrelación con ella, pero el medio ambiente externo que se presenta al inicio de la sucesión (temperatura altas, sobre-drenaje del sustrato, muy baja disponibilidad de nutrientes) puede impedir la germinación de semillas y el crecimiento de plantas. En cambio las sucesiones secundarias se desenvuelven sobre un suelo ya desarrollado, aunque sea a menudo degradado por un uso agropecuario inapropiado y no sostenible.

b) **Fuente de las plantas que colonizan el sitio.** Los sustratos sobre los cuales se desarrollan las sucesiones primarias pueden estar efectivamente estériles, como la lava, o contener algunas semillas de pocas especies vegetales, como en el caso de los depósitos aluviales. Debido a estos factores, las plantas que colonizan un sitio deben ser diseminadas de una fuente fuera del sitio. Por esta razón, la colonización de plantas al inicio de una sucesión primaria puede ser lenta. Este factor, en combinación con las condiciones ambientales adversas, determina que las sucesiones primarias se desarrollen lentamente al sitio.

El suelo sobre el cual se inicia una sucesión secundaria ya contiene propágulos de plantas: hay una población de semillas enterradas, el llamado banco de semillas. Además, pueden existir troncos de

las especies presentes en el sitio antes de la intervención humana, que re-brotan, y especies arbóreas sembradas por el agricultor. Estos factores determinan que las sucesiones secundarias empiecen inmediatamente al abandonarse un sitio, o a veces antes, pues semillas de las especies pioneras germinan continuamente en un terreno cultivado.

En sucesiones primarias tropicales sobre materiales volcánicos y sedimentarios aluviales, se presentan comunidades pioneras de especies herbáceas e inclusive algas. Es probable que durante estas etapas iniciales se da un mejoramiento de las condiciones de sustrato (estabilización y desarrollo físico-químico de suelo) que facilitan la colonización posterior de especies arbóreas.

De acuerdo con lo anterior, se concluye que la vegetación del Cerro Pelón corresponde a una sucesión Primaria, pues se ha desarrollado sobre materiales volcánicos; la vegetación que se está desarrollando naturalmente en las zonas de los deslizamientos en el Cerro Las Palmas también, es una sucesión Primaria.

Las especies que se observan en el Cerro Pelón corresponde como vegetación natural, plantas tipificadas en *Sucesiones Ecológica Primarias*, básicamente compuestas por especies heliófitas efímeras y unas pocas heliófitas durables.

Entendemos por especies heliófitas efímeras: aquellas que necesitan plena luz solar para su desarrollo, la madera es liviana, suave, de poca fuerza y resistencia, factor que indudablemente contribuye a limitar la vida de estas especies, de 10 a 15 años para árboles (hasta talvez 35-40 años en condiciones favorables); por ejemplo: guarumo y capulín macho, (Finnegan 1995).

Las Heliófitas Durables: son aquellas especies que no llegan tan rápidamente a los sitios abiertos como las anteriores, pero se apoderan de dichos sitios después que las efímeras desaparecen y los ocupan por un período mas largo.

En la zona de estudio que posee vegetación natural, existen las siguientes especies arbóreas: San Andrés (*Tecoma stans*), Laurel (*Cordia sp.*), Zope (*Lonchocarpus sp.*), Chaperno (*Lonchocarpus sp.*), Guachipilin (*Diphisa robinoides*), Mozote de Caballo (*Familia Tilliaceae*), Tatascamite (*Perymenium sp.*), Mano de León (*Familia Araliaceae*), Capulín Macho (*Trema micrantha*), Zapotillo (*Clethra lanata*).

Las especies arbustivas que se identificaron en la zona de vegetación natural son: Espino Blanco (*Acacia farneciana*, especie más predominante en la parte alta del cerro), Guayaba (*Psidium guajaba*), Manzanita (*Malvaviscus sp.*), Botoncillo (*Pipper sp.*), Vara bofa, Chimaliote, Huele de noche (*Cestrum lanatum*), Coyuntura de Pollo (*Iresine calea*), Sangre de Cristo (*Bocconia arborea*), Chichicaste.

* Algunas especies fue difícil identificarlas dada la falta de flores y frutos.

Las especies herbáceas que más predominan en la zona de vegetación natural son: Zacate Jaraguá (*Hyparrhenia rufa*), Oreganillo (*Lippia macrocephala*), Escobilla (*Sida acuta*), Cinco Negritos (*Lantana camara*), Cuaja Tinta, Guistomate, Pluma de gallina, Chipuste, Chichinguaste, Grama.

CUADRO 1
ESPECIES VEGETALES ENCONTRADAS EN EL AREA NATURAL,
CERRO PELON, BERLIN.

NOMBREVERNACULO	NOMBRE CIENTIFICO	FAMILIA
San Andrés	<i>Tecoma Stans</i>	BIGNONIACEAE
Chaperno	<i>Lonchocarpus sp</i>	PAPILIONACEAE
Zope	<i>Lonchocarpus sp</i>	PAPILIONACEAE
Espino blanco	<i>Acacia farnesiana (L.) Willd.</i>	MIMOSACEAE
Capulín macho	<i>Trema micrantha</i>	ULMACEAE
Zapotillo	<i>Clethra lanata</i>	CLETHRACEAE
Laurel	<i>Cordia sp</i>	BORAGINACEAE
Mozote de caballo	???	TILIACEAE
Guachipilin	<i>Diphisa robiniodes</i>	PAPILIONACEAE
Amate	<i>Ficus sp</i>	MORACEAE
Guayaba	<i>Psidium guajaba</i>	MYRTACEAE
Manzanita	<i>Malvaviscus sp</i>	MALVACEAE
Botoncillo	<i>Piper sp</i>	PIPERACEAE
Tatascamite	<i>Perymenium grande</i>	ASTERACEAE
Mano de león	<i>Oreopanax sp</i>	ARALIACEAE
Sangre de Cristo	<i>Bocconia arborea</i>	PAPAVERACEAE
Oreganillo	<i>Lippia macrocephala</i>	VERBENACEAE
Bara bofa	???	???
Escobilla	<i>Sida acuta</i>	MALVACEAE
Wistomate	<i>Solanum sp</i>	SOLANACEAE
Pluma de gallina	???	???
Jaragúa	<i>Hyparrhenia rufa</i>	POACEAE
Cuajatinta	<i>Cordia inermis</i>	BORAGINACEAE
Chipuste	<i>Calea sp</i>	ASTERACEAE
Chichinguaste	???	???
Cinco negritos	<i>Lantana camara L.</i>	VERBENACEAE
Huele de noche	<i>Cestrum lanatum</i>	SOLANACEAE
Coyuntura de pollo	<i>Iresine calea</i>	AMARANTHACEAE
???	<i>Coreopsis mutica var.</i>	ASTERACEAE
Chimaliote	<i>Microcephala</i>	???
Cera vegetal	???	MYRICACEAE
	<i>Myrica cerifera L.</i>	

* Algunas especies fue difícil identificarlas dada la falta de flores y frutos.

CUADRO 2
ESPECIES VEGETALES ENCONTRADAS EN LOS CAFETALES Y
UTILIZADAS PARA SOMBRA DEL CAFÉ, BERLÍN.

NOMBRE VERNACULO	NOMBRE CIENTIFICO	FAMILIA
Cuje	<i>Inga sp</i>	MIMOSACEAE
Pepeto liso	<i>Inga sp</i>	MIMOSACEAE
Pepeto peludo	<i>Inga sp</i>	MIMOSACEAE
Pito	<i>Erythrina berteroana Urban</i>	PAPILIONACEAE
Copalchi	<i>Croton niveus</i>	EUPHORBIACEAE
San Andrés*	<i>Tecona stans</i>	BIGNONIACEAE
Eucalipto	<i>Eucalyptus sp</i>	MYRTACEAE
Zope	???	PAPILIONACEAE
Cuernavaca	???	???
Aguacate mico	<i>Persea sp</i>	LAURACEAE
Cedro	<i>Cedrela odorata</i>	MELIACEAE
Huele de noche	<i>Cestrum lanata</i>	SOLANACEAE
Mezcal o mezcalón	<i>Carpinus caroliniana Walter</i>	ULMACEAE
Zorrillo	<i>Roupala glaberrima</i>	PROTEACEAE
Cole payo	???	???
Cuyapo	???	???
Warlo	???	???
Manzana rosa	<i>Zyzygium jambos</i>	MYRTACEAE
Cuajachote	<i>Alchornea latifolia</i>	EUPHORBIACEAE
Zapotillo	<i>Clethra lanata</i>	CLITHRACEAE
Duraznillo	<i>Aphanante monoica (Hemsl.) Leroy</i>	ULMACEAE

* Especie encontrada en la parte alta del Cerro Pelón, cerca del sector donde el suelo permanece caliente. Estos son árboles nativos del lugar, no han sido plantados.

Se midieron algunas densidades, para unas especies, en tres diferentes sitios de la zona con vegetación natural, en la zona alta del Cerro Pelón:

- Parcela Uno: Las especies presentes son Zope y Espino Blanco, en una densidad de 360 plantas por hectárea.
- Parcela Dos: Las especies existentes son Espino Blanco y San Andrés, en una densidad de 375 plantas por hectárea.
- Parcela Tres: Las especies existentes son San Andrés, Espino Blanco y Zope, en una densidad de 2,105 plantas por hectárea.

De acuerdo con el sondeo realizado se infiere que no es necesario la reforestación por la mano del hombre, sino más bien, el realizar actividades de protección del área que protege la vegetación existente y permita regenerarse naturalmente, con las especies adaptadas a las condiciones edáficas y climáticas de la zona.

En la zona media del área con vegetación natural existe un sector, de aproximadamente 3.19 hectáreas, que presenta una vegetación muy peculiar, solamente crecen tres especies herbáceas: zacate jaraguá, escobilla y oreganillo (Fotografía 5). En este sector, el suelo permanece caliente y puede observarse la emanación de vapor en pequeñas cantidades; al removerse las hojas del mantillo se siente el calor del suelo, en este sitio casi todas las plantas estaban secas. Según un residente, en esta área no se produce el café, razón por la cual la frontera agrícola no ha avanzado, se mantiene similar desde que se tomaron las fotografías aéreas en 1979.

Hay un sector en la parte alta del cerro en el cual se encuentra una buena población de San Andrés (*Tecoma stans*) con una excelente regeneración del mismo. Existe otra zona cerca de la plantación de Ciprés que presenta una buena densidad (Fotografía 3).

Se calculó el área que posee cobertura vegetal natural en el Cerro Pelón, tomándose como una sola extensión todo lo que no tiene café, separando la plantación de Ciprés y el área donde el suelo permanece caliente. Toda esta zona debe considerarse como área de protección (Mapa de cobertura vegetal natural).

CUADRO 3
EXTENSION DE LAS DIFERENTES AREAS DE COBERTURA VEGETAL NATURAL
ENCONTRADAS EN EL CERRO PELON, BERLIN

DESCRIPCION	AREA		PORCENTAJE
	Hectáreas	Manzanas	
VEGETACION NATURAL	17.12	24.46	81.02
AREA CALIENTE CON VEGETACION NATURAL	3.19	4.56	15.10
PLANTACION DE CIPRES	0.82	1.17	3.88
TOTAL	21.13	30.19	100.00

En las fotografías aéreas de 1979, ya se aprecian algunos deslizamientos en la zona del Cerro Las Palmas. En este cerro se forma la quebrada Gallinero, que en noviembre de 1998, ocurrió el flujo de lodo afectando la ciudad de Berlín. En recorrido efectuado por la zona del mismo, se identificaron 7 deslizamientos todos en dirección de la quebrada Gallinero.

5.2.3 SOBRE LOS EFECTOS DEL CULTIVO DEL CAFÉ

En el área de estudio, se pudo reconocer que los deslizamientos de tierra que provocaron daños a la ciudad de Berlín, no se ubican en zona donde existe la vegetación natural, sino en áreas dedicadas al cultivo de café; razón por la cual se decidió hacer una evaluación no detallada de las densidades de siembra de este cultivo y de la sombra.

El sector, en un 95% yace cubierta de café de media altura y estricta altura. El café que se cultiva se encuentra bajo sombra, principalmente, del género Inga, aunque hay sectores con especies que han crecido naturalmente; en la zona alta del Cerro Pelón hacia el Sureste predomina el San Andrés (*Tecoma stans*). Ver Fotografía 3.

La recomendación técnica para el cultivo del café en esta zona es de la siguiente manera:

CUADRO 4

DENSIDADES DE PLANTAS DE CAFÉ RECOMENDADAS POR MANZANA, SEGUN LAS ALTURA SOBRE EL NIVEL DEL MAR

CATEGORIAS	Altitud	Densidades / Manzana
Café de Bajío	500 - 900 msnm	3,300 a 4000 plantas (Pacas)
Café de Media Altura	901 - 1,200 msnm	2,500 a 3,300 plantas
Café de Estricta Altura	1,201 msnm en adelante	2,500 a 3,300 plantas

Fuente: Ing. Rafael Castellón, PROCAFE, Berlín.

Para el Café de Media Altura se realizaron dos mediciones muestrales de densidad; observándose en la segunda parcela varios troncos secos, como producto del manejo del cafetal.

Para el Café de Estricta Altura se realizó una medición, concretamente en la parte alta del Cerro La Palma. Este cafetal se encuentra en proceso de recuperación, ya que estuvo con poco mantenimiento. Los resultados de la evaluación de densidad son:

CUADRO 5
DENSIDADES DE PLANTAS DE CAFE ENCONTRADAS POR MANZANA, BERLIN

CATEGORIAS	Densidades / Manzana	Densidad encontrada
Café de Bajío	3,300 a 4000 plantas (Pacas)	
Café de Media Altura	2,500 a 3,300 plantas	2,705 plantas/manzana
Café de Estricta Altura	2,500 a 3,300 plantas	2,660 plantas/manzana

Comparando los resultados medidos en el campo con las recomendaciones dadas por PROCAFE, respecto a las densidades para las diferentes categorías de café, se tiene que el terreno se encuentra con una población de plantas de café, técnicamente aceptable.

Si bien es cierto que las densidades del cultivo del café se encuentran dentro de lo técnicamente recomendable, los suelos donde se localiza el café de estricta altura, se caracterizan por tener pendientes hasta del 90% y pocas obras de conservación de suelos, lo cual favorece la erosión del recurso, produciéndose deslizamientos cuando cae mucha lluvia.

Por otra parte se realizó una estimación de densidades de árboles de sombra para el cultivo del café.

La recomendación técnica para la densidad de sombra es la siguiente:

CUADRO 6
DENSIDADES DE ARBOLES DE SOMBRA RECOMENDADOS POR MANZANA, SEGUN LA ALTURA SOBRE EL NIVEL DEL MAR

CATEGORIA	Altitud	Densidad árboles de Sombra
Café de Bajío	500 - 900 msnm	80 a 100 arboles/manzana
Café de Media Altura	901 - 1,200 msnm	70 a 80 arboles /manzana
Café de Estricta altura	1,201 msnm en adelante.	40 a 60 arboles/ manzana

Fuente: Ing. Rafael Castellón, PROCAFE, Berlín.

Igual que para la evaluación del cultivo de café, se realizaron dos mediciones en la parte media; los árboles están siendo bien manejados mediante podas.

En la parcela establecida en la parte alta del Cerro La Palma, en la finca La Guandique, se observó además, 6 troncos de 2 a 2.5 metros, seguramente responde al hecho que existe mucha sombra y pretenden eliminarlos.

Los resultados obtenidos son los siguientes:

CUADRO 7

DENSIDADES DE ARBOLES DE SOMBRA ENCONTRADOS EN CAFETALES, BERLÍN

CATEGORIA	Densidad árboles de Sombra	Densidad encontrada
Café de Bajío	80 a 100 arboles/manzana	
Café de Media Altura	70 a 80 arboles /manzana	66.5 árboles/manzana
Café de Estricta altura	40 a 60 arboles/ manzana	77 árboles/manzana

Comparando los resultados con las recomendaciones técnicas se tiene que en la parte media, la densidad de árboles de sombra esta por el límite inferior del rango establecido, esto probablemente deba a que algunos árboles que cayeron dentro de la parcela eran bastante grandes.

La parcela medida en el cafetal de Estricta Altura presenta muchos árboles de sombra comparado con lo recomendado, sin tomar en cuenta los troncos existentes que aún estaban vivos. Este último dato es preocupante por el hecho que en el sector que se estableció la parcela se produjeron los deslizamientos que alimentaron a la quebrada Gallinero y que causó los desastres en la ciudad de Berlín en Noviembre de 1998 (fenómeno del Mitch). La densidad de sombra es mayor a lo recomendado, que sumado a las altas pendientes del terreno donde se ha plantado el café, hacen vulnerable el terreno, y con precipitaciones altas, se da el riesgo de nuevos deslizamientos.

De acuerdo al técnico de PROCAFE, los deslizamientos han ocurrido como consecuencia de las altas precipitaciones, es decir gran cantidad de agua en un tiempo muy corto. Por ejemplo, durante el mes de octubre de 1998 precipitó 1,074 mm, de los cuales 546 fueron en dos días (30 y 31); con tales precipitaciones, y el uso inadecuado del suelo, es de esperar deslizamientos por la carga que tiene que soportar el suelo.

En septiembre de 1999, nuevamente se repitieron las altas precipitaciones, registrándose 900 mm. Hubo sectores que la lluvia superó ese valor, como fue el caso en la finca “Guandique” (ubicada en el cerro Las Palmas), con un registro de 80 mm en una hora, otro caso fue de 120 mm en una hora. Con estas cantidades de agua, la probabilidad de que ocurren deslizamientos se incrementa.

La verificación de los cauces o drenajes naturales ante el riesgo de extraordinarios flujos deja entrever otro problema con sus agravantes. El desarrollo del café se ha extendido a la parte inmediata de la sección del cauce, sin dejar nada de la cobertura natural que ayude a proteger el cauce durante estos flujos, de tal suerte que, no existen las condiciones que limiten o impidan el desborde, durante fenómenos pluviales, del cauce natural.

5.2.4 EFECTOS DE LA REFORESTACIÓN

En la parte alta del Cerro Pelón se han efectuado algunos esfuerzos por reforestar el área. Según un residente de la zona, en tal lugar se han reforestado unas 2 manzanas de terreno con la especie Ciprés (*Cupressus lusitanica*), dicha plantación se estableció hace 8 años. El distanciamiento es de 2.5 x 2.5 metros aproximadamente, con una densidad de 1,120 árboles por manzana (Fotografía 3).

Los resultados de dicha actividad no son nada halagadores, de lo plantado una parte lo utilizan para pastoreo de caballos, probablemente por el mal desarrollo de los árboles lo cual bajó el interés en la plantación. Al recorrer el lugar todavía se encuentran algunos árboles raquíticos y amarillentos, seguramente por la deficiencia de algunos elementos minerales y la alta temperatura del suelo.

Lo que resta de la plantación presenta árboles con muy poca altura, desde 1.5 a 4 metros, pero la mayoría anda por 2.5 metros, esto nos indica que el crecimiento por año ha sido alrededor de 31 centímetros. Con crecimientos como los presentados en el cerro, la reforestación como tal, no constituye una tarea fácil, ni motivadora al propietario.

Los suelos del cerro son arenosos, consecuentemente tienen poca capacidad para retener agua, además, probablemente son ácidos debido a la actividad volcánica de la zona; bajo éstas condiciones, no cualquier planta que se siembre puede desarrollarse fácilmente. Muchas personas expresan que “x” o “y” planta se da en un determinado lugar por que la ven verde y ha crecido un poco pero, eso no indica que el sitio sea el adecuado para la especie.

5.3 SOBRE LAS ESPECIES FIJADORAS DE SUELO

Las especies vegetales, de por sí son fijadoras del recurso suelo, aunque unas más que otras, dependiendo de la rusticidad de la especie como la: capacidad de rebrote que posean, la resistencia a sequía y fuego, sobrevivencia en suelos pobres; capacidad natural de regeneración y el sistema radicular con raíz pivotante o abundancia de raíces secundarias.

De acuerdo a estos criterios, se encontró diversidad de especies vegetales en el área, que se han desarrollado naturalmente y que presentan características de ser buenas fijadoras de suelo. Dentro de las arbóreas, en el área de vegetación natural se nota: San Andrés, Zope, Zapotillo, Tatascamite y Capulín Macho. En los cafetales podemos identificar: Mezcal o Mezcalón, Aguacate Mico, Zapotillo, Manzana Rosa y una Ulmaceae (*Aphanante monoica*). Ver Fotos 6, 7, 10 y 12.

El San Andrés es la especie que más abunda en la parte alta del Cerro Pelón y la que ha desarrollado más altura es el Zope. En general, las especies arbóreas más parecen arbustivas por la altura que alcanzan.

Como especies arbustivas, en el área de vegetación natural hay: Espino Blanco, Cera vegetal, Guayaba, Manzanita, Huele de Noche, Coyuntura de Pollo, Sangre de Cristo. Dentro del cafetal no se identificaron arbustos con características fijadoras de suelo.

En cuanto a herbáceas, en el área de vegetación natural se identificó: Oreganillo, Escobilla, Zacate Jaraguá, Cinco Negritos, Cuajatinta y Grama común. En los cafetales no se encontraron especies herbáceas dado que la limpia previa a la cosecha del café las elimina.

En la zona donde se depositó material arrastrado por el flujo de lodo, frente a la quebrada “Jardín”, sector que Rico (en este documento) define como “Cono de deyección”, hay una colonización por especies pioneras, predominando el Tabacón (*Waigranda caracasana*). Esta especie se caracteriza por ser invasora de espacios abiertos y necesita mucho sol para que sus semillas germinen. Esta especie es típica de las primeras etapas de una sucesión secundaria, es una heliófita efímera. Otra especie que ha crecido en esta zona es el Guisquilite (*Amaranthus spinosus*), además la escobilla (*Sida acuta*). Ver fotografía 11.

5.4 CONCLUSIONES

Los siguientes puntos son, a juicio del Consultor, los elementos más relevantes:

1. La vegetación natural existente en el Cerro Pelón ha protegido a la ciudad de Berlín, en vista que no se han dado deslizamientos.
2. La vegetación que se ha desarrollado en el Cerro Pelón, desde el punto de vista ecológico, pertenece a una sucesión Primaria.
3. Existe una adecuada densidad de las especies arbóreas y arbustivas nativas en el Cerro Pelón, al igual que una buena regeneración de las mismas.
4. Los problemas de deslizamientos no se producen en el área donde hay cobertura vegetal natural, sino más bien, en las zonas cultivadas de café, básicamente en el Cerro La Palma, que alimenta la quebrada El Gallinero.
5. Los deslizamientos se han producido por cultivar café en áreas de mucha pendiente y con pocas obras de conservación de suelos.
6. No se han respetado los drenajes naturales de las distintas quebradas, eliminándose la vegetación natural y luego reemplazado por café en los límites del cauce.
7. La densidad del cultivo de café, tanto en la zona media como de altura esta dentro los rangos técnicos recomendados. En la parte alta, la sombra de cafetales tiene mayor densidad que el rango máximo técnicamente recomendado.
8. Conociendo los antecedentes de zona susceptible a los deslizamientos, no se puede considerar el manejo de la vegetación natural del Cerro Pelón para fines productivos, sino únicamente para protección.
9. Para facilitar y asegurar que la vegetación natural se desarrolle, el manejo deberá estar orientado, principalmente, a proteger la zona de los incendios y evitar introducir especies exóticas.

5.5 BIBLIOGRAFIA

- Centro de Meteorología e Hidrología, 1993. Almanaque Salvadoreño. Dirección General de Recursos Naturales Renovables, Ministerio de Agricultura y ganadería. El Salvador. 99 pags.
- Chinchilla, O., F. Vega, 1987. Plan de manejo forestal para el área de bosque de la Hacienda Matagorda, Liberia. Costa Rica. 80 pags.
- Finegan, B., 1995. Bases Ecológicas para la Silvicultura. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza - CATIE. Turrialba, Costa Rica.
- Holdridge, J. R., L. Poveda, 1975. Arboles de Costa Rica. Centro Científico Tropical, San José, Costa Rica. 546 pags.
- Instituto Geografico Nacional, 1985. Diccionario Geográfico de El Salvador. Vol.I. Ministerio de Obras Públicas. San Salvador, El Salvador.
- ., 1992. Hoja Cartográfica Berlín 2456 II. Ministerio de Obras Públicas. San Salvador, El Salvador.
- ., 1979. Fotografías aéreas, L-1, R 193. Berlín. Ministerio de Obras Públicas.
- Lagos, J. A., 1987. Compendio de botánica sistemática. Ministerio de Cultura y Comunicaciones, Viceministerio de Comunicaciones. San Salvador, El Salvador. 317 pags.
- Muñoz, M., A. Pitty, 1995. Guía fotográfica para la identificación de Malezas. Parte I. Centro de Recursos Didácticos, Departamento de Protección Vegetal, Escuela Panamericana Zamorano. Honduras. 124 pags.
- Neira, M., F. Martínez, 1968. Terminología Forestal. Instituto Forestal de investigaciones y Experiencias, Ministerio de Agricultura. Madrid.
- Secretaria de Reconstrucción Nacional., nd. Pre-diagnóstico del Municipio de Berlín, Departamento de Usulután. Presidencia de la República. San Salvador, El Salvador.
- Souane, T., nd. Manual de Dendrología del Bosque Latifoliado. Programa forestal Honduras-Cánada, Proyecto de desarrollo Del Bosque Latifoliado. Honduras. 485 pags.
- Tossi, J., 1978. Mapa de Zonas de Vida de EL Salvador. Dirección General de Recursos Naturales Renovables, Ministerio de Agricultura y Ganadería. San Salvador, El Salvador.

6

Control de Torrentes

6.1 INTRODUCCION

6.1.1 GENERALIDADES

El 29 de octubre de 1998, la tormenta tropical MITCH provocó una serie de cambios hidráulicos y deslizamientos en la red de drenaje que de los cerros Pelón y Las Palmas fluyen hacia la ciudad de Berlín. En esta fecha se registró alrededor de 130 mm. de precipitación en dos(2) horas de duración, y lo más impactante de este fenómeno fue la ocurrencia de deslizamientos en masa con el consecuente proceso de arranque y arrastre de materiales gruesos (rocas, árboles, lodo). Este fenómeno luego produjo azolvamiento del sistema de drenaje urbano de la ciudad y la inundación, por estar localizada en gran parte del cono o lecho de deyección de las quebradas torrenciales.

6.1.2 PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

En el área denominada cerro Pelón y las Palmas, en las proximidades de la ciudad de Berlín, a raíz del huracán Mitch ocurrieron procesos complejos de erosión hídrica, favorecidos por la existencia de suelos inestables en laderas de fuerte pendiente cultivados con café, asociados al régimen pluviométrico irregular, a la remoción del suelo, estructuras geológicas, etc. Estos son algunas de las condicionantes que inciden durante la ocurrencia del fenómeno torrencial, y favorecen, a través de la ampliación y profundización de las quebradas con alto potencial de arrastre, la amenaza a las comunidades asentadas en las riveras de estos cauces, al azolvamiento del drenaje de aguas lluvias y daños a calles, pasajes y barrios; acelerado el proceso erosivo en laderas y calles que se dirigen hacia las fincas Santa Inés, Termópilas y otras en la zona. Dadas estas circunstancias, se ha requerido elaborar el diagnóstico físico conservacionista, que permita determinar las causas y efectos del proceso torrencial y tener las bases técnicas para proponer un plan de obras de control de torrentes tendientes a minimizar los impactos negativos hacia la ciudad.

ALCANCES DEL DIAGNOSTICO

- * Definir los elementos hidrológicos e hidráulicos de las quebradas para facilitar el cálculo y diseño de las obras de control de torrentes.
- * Caracterizar las condiciones pluviográficas de la zona e interrelacionarla con otros factores para estimar el rendimiento hídrico de la zona.
- * Identificar en el campo los parámetros críticos como pendientes, fuentes de arrastre de material grueso y suelto, deslizamientos de taludes y socavación de márgenes, para facilitar el cálculo y diseño de las obras de control torrencial.
- * Presentar los resultados del diagnóstico al COEM y autoridades locales.
- * Sugerir medidas de carácter preventivo antes de la puesta en marcha o ejecución de las obras de control torrencial propuestas.

6.2 CARACTERISTICAS FISICAS DE LAS QUEBRADAS

6.2.1 PRECIPITACIÓN

El promedio anual de lluvia es de 1,788 mm, presentándose una precipitación máxima en junio y septiembre con 346 y 404 mm respectivamente. Se registra una precipitación mínima en enero con 1 mm (ver cuadro 1). Los terrenos del área en estudio presentan una permeabilidad de moderada a lenta y la capacidad de retención de agua de moderada a buena, el drenaje superficial e interior es moderado; existe un relieve accidentado el cual se asocia a causas de origen antrópico y naturales, que facilita los grandes volúmenes de escorrentía superficial en los meses de junio y septiembre, principalmente a nivel de las quebradas El Jardín, La Oscurana y El Tercer Ciclo, que resulta en los consecuentes problemas de deslizamientos en masa, ocurridos en las laderas de fuerte pendiente y a la vez ocurrencia de erosión longitudinal y transversal de los cauces (ver foto 1 y 2).

VARIACIONES ESPACIALES DE LA PRECIPITACION

La pluviosidad en la zona experimenta algunas variaciones en relación con la parte baja correspondiente a la desembocadura del Río Santa Anita en el Río Lempa, con 1427 mm.

VARIACIONES TEMPORALES

La precipitación experimenta algunas variaciones entre un año y otro; el ejemplo típico lo constituye el año 1998 comparado con 1999. En el año 1998 se presentó el huracán tropical denominado Mitch que ocasionó serios problemas en el área correspondiente al presente estudio.

VARIACIONES ANUALES

Las cantidades mayores de precipitación a nivel del área en estudio ocurren frecuentemente con períodos de retorno de 8 a 10 años; esto se puede comprobar (revisar la fig. 1).

INTENSIDADES DE PRECIPITACION

En la zona en estudio, específicamente en Berlín, es frecuente el registro de precipitaciones de 62 a 98 mm en 60 minutos de duración. Dichas intensidades están clasificadas en el rango de altas y dan lugar a crecidas rápidas y violentas con tiempos de concentración cortos en la red de drenaje de la zona (ver cuadro 1).

6.2.2 MORFOMETRIA

Las características geométricas de las cinco (5) quebradas en estudio: El Hoyón, El Jardín, La Oscurana, El Tercer Ciclo y el Gallinero son susceptibles de ser expresadas en forma numérica, tales como: Area, Perímetro, forma, pendiente media de los cauces, pendiente media de los terrenos, densidad de drenaje, curvas hipsométricas, perfiles longitudinales y tiempos de concentración. La interpretación de los parámetros morfométricos permite realizar una caracterización de las microcuencas de estas quebradas y facilitan una mejor explicación y entendimiento del comportamiento del régimen hidrológico del área. Al asociarse con los registros pluviográficos se pueden desarrollar modelos, con el cual se estiman las características hidrológicas y torrenciales.

6.2.3 DESCRIPCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS

Microcuenca de la quebrada El Gallinero

- * Area de la micro-cuenca, $A = 78 \text{ Has (0.78 Km}^2\text{)}$.
- * Perímetro de la micro-cuenca; $P = 5.8 \text{ Km}$
- * Coeficiente de compactación o de forma, $Ke = 0.28 P/\sqrt{A} = 1.84$
- * Elevación máxima, $H_1 = 1400 \text{ m.s.n.m.}$
- * Elevación mínima, $H_2 = 1000 \text{ m.s.n.m.}$
- * Longitud del cauce principal, $Lc = 2.65 \text{ Km} = 2650 \text{ m}$
- * Densidad de drenaje, $Dd = Lt = 3.39 \text{ Km/Km}^2$

- * Longitud total de curvas de nivel; $L = 7900 \text{ m}$
- * Intervalo entre curvas de nivel, $E = 25 \text{ m}$
- * Area de la micro-cuenca, $A = 780.000 \text{ m}^2$
- * Pendiente media del cauce, $P_c = \left(\frac{H_1 - H_2}{L_c} \right) \times 100 = 15\%$
- * Pendiente media de la micro-cuenca, $P_m = \frac{L \text{ (m)} \times E \text{ (m)} \times 100}{A \text{ (m}^2\text{)}} = 25\%$
- * Tiempo de concentración, $T_c = \frac{0.0195 \times (L_c^3)^{0.385}}{AH} = 18 \text{ min}$

Micro-cuenca de la quebrada Tercer Ciclo

- * Area de la micro-cuenca, $A = 140 \text{ Has} = 1.4 \text{ Km}^2$
- * Perímetro de la micro-cuenca, $P = 5.3 \text{ Km}$.
- * Coeficiente de compactación o forma, $K_c = 0.28 \times P/(A = 1.26$
- * Elevación máxima, $H_1 = 1425 \text{ m.s.n.m.}$
- * Elevación mínima, $H_2 = 1000 \text{ m.s.n.m.}$
- * Longitud del cauce principal, $L_c = 2.66 \text{ Km}$.
- * Densidad de drenaje, $D_d = L_t/A = 3.51/1.4 \text{ Km}^2 = 2.51 \text{ Km/Km}^2$
- * Longitud total de curvas de nivel, $L = 1,400,000 \text{ m}$
- * Intervalo entre curvas de nivel, $E = 25 \text{ m}$
- * Area de la micro-cuenca, $A = 1,400.00 \text{ m}^2$
- * Pendiente media del cauce, $P_c = ((H_1 - H_2)/L_c) \times 100 = 16\%$
- * Pendiente media de la micro-cuenca, $P_m = \frac{L \times E \times 100}{A} = 24\%$
- * Tiempo de concentración, $T_c = 0.0195 (L_c^3)^{0.385} / \Delta H = 17 \text{ min.}$

Micro-cuenca de la quebrada La Oscurana

- * Area de la micro-cuenca, $A = 35 \text{ Has} = 0.35 \text{ Km}^2$
- * Perímetro de la micro-cuenca, $P = 3 \text{ Km}$.

- * Coeficiente de compactación o forma, $K_c = 0.28 \times P/(A = 1.42$
- * Elevación máxima, $H_1 = 1300$ m.s.n.m.
- * Elevación mínima, $H_2 = 1015$ m.s.n.m.
- * Longitud del cauce principal, $L_c = 1$ Km. = 1000 m
- * Densidad de drenaje, $D_d = L_t/A = 2.86$ Km/Km²
- * Longitud total de curvas de nivel, $L = 6000$ m
- * Intervalo entre curvas de nivel, $E = 25$ m
- * Area de la micro-cuenca, $A = 350.000$ m²
- * Pendiente media del cauce, $P_c = \left(\frac{H_1 - H_2}{L_c} \right) \times 100 = 28.5\%$
- * Pendiente media de la micro-cuenca, $P_m = \frac{L \times E \times 100}{A} = 43\%$
- * Tiempo de concentración, $T_c = 0.0195 (L_c^3)^{0.385} / \Delta H = 7$ min.

Micro-cuenca de la quebrada El Jardín

- * Area de la micro-cuenca, $A = 33$ Has = 0.33 Km²
- * Perímetro de la micro-cuenca, $P = 3.6$ Km.
- * Coeficiente de compactación o forma, $K_c = 0.28 \times P/(A = 1.77$
- * Elevación máxima, $H^1 = 1280$ m.s.n.m.
- * Elevación mínima, $H_2 = 1015$ m.s.n.m.
- * Longitud del cauce principal, $L_c = 1.6$ Km = 1600 m.
- * Densidad de drenaje, $D_d = L_t/A = 2.15/0.33$ Km² = 6.51 Km/Km²
- * Longitud total de curvas de nivel, $L = 4250$ m
- * Intervalo entre curvas de nivel, $E = 25$ m
- * Area de la micro-cuenca, $A = 330.000$ m²
- * Pendiente media del cauce, $P_c = \left(\frac{H_1 - H_2}{L_c} \right) \times 100 = 17\%$
- * Pendiente media de la micro-cuenca, $P_m = \frac{L \times E \times 100}{A} = 32\%$
- * Tiempo de concentración, $T_c = 0.0195 (L_c^3)^{0.385} / \Delta H = 11$ min.

Micro-cuenca de la quebrada El Hoyón

- * Area de la micro-cuenca, $A = 24 \text{ Has} = 0.24 \text{ Km}^2$
- * Perímetro de la micro-cuenca, $P = 3.05 \text{ Km.}$
- * Coeficiente de compactación o forma, $K_c = 0.28 \times P/(A = 1.74$
- * Elevación máxima, $H_1 = 1250 \text{ m.s.n.m.}$
- * Elevación mínima, $H_2 = 825 \text{ m.s.n.m.}$
- * Longitud del cauce principal, $L_c = 1.4 \text{ Km.} = 1400 \text{ m}$
- * Densidad de drenaje, $D_d = L_t/A = 5.83 \text{ Km/Km}^2$
- * Longitud total de curvas de nivel, $L = 4100 \text{ m}$
- * Intervalo entre curvas de nivel, $E = 25 \text{ m}$
- * Area de la microcuenca, $A = 240.000 \text{ m}^2$
- * Pendiente media del cauce, $P_c = \left(\frac{H_1 - H_2}{L_c} \right) \times 100 = 30\%$
- * Pendiente media de la micro-cuenca, $P_m = \frac{L \times E \times 100}{A} = 43\%$
- * Tiempo de concentración, $T_c = 0.0195 (L_c^3) / (\Delta H)^{0.385} = 8 \text{ min.}$

CURVA HIPSOMETRICA

Esta permite obtener la mediana de la elevación, a partir de los porcentajes acumulados del área existente entre las curvas de nivel de cada microcuenca.

PERFIL LONGITUDINAL

Este permite mayores criterios para determinar el incremento de la velocidad de la escorrentía superficial.

6.2.4 CRECIDAS MÁXIMAS E INUNDACIONES

Las pendientes de las laderas en las quebradas de la zona son muy pronunciadas, y por lo tanto, en la época de mayor precipitación, le confieren a éstas una gran fuerza torrencial con el consiguiente arrastre de materiales sólidos a la parte baja. Estos materiales son arrancados de las maderas de las

quebradas y otros son transportados debido a deslizamientos en masa de los terrenos cultivados con café. Las quebradas tienen características torrenciales en la época lluviosa, cuyas vertientes son reducidas, una precipitación de 62 a 98 mm/hora que descargue en su cuenca, puede producir crecidas de consideración, repentinas y de corta duración. Por lo antes planteado y con el propósito de diseñar las obras de control de torrentes se ha considerado de gran importancia la determinación de las crecidas máximas que facilitan el establecimiento o definición de los caudales de diseño.

CUADRO 1
CANTIDADES DE LLUVIA DE PRECIPITACION

MES	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL
NORMALES, MM	1	0	7	46	205	246	202	261	404	247	56	13	1788
ANUALES MAX.	17	36	102	91	308	543	494	470	679	567	248	77	2475
DURACION, MIN.	4	10	15	20	30	45	60	90	120	150	180	270	360
INTENSIDAD, mm/hr. MAXIMA	265.2	184	140	121	98	74	62	45	34	29	25	19	14

6.2.5 CLASIFICACIÓN HIDROLOGICA DE LOS SUELOS

Desde el punto de vista hidrológico, el cálculo de las crecidas máximas se basa en una metodología que permite hacer una interrelación entre el suelo, la cobertura, la infiltración y la lámina de precipitación caída.

El método utilizado se denomina (SCS-USDA)² y permite la caracterización hidrológica del grado de protección que la cobertura ofrece al suelo a nivel de las micro-cuencas de las quebradas en estudio.

SECCIONES TRANSVERSALES TÍPICAS

En forma directa se levantó secciones transversales típicas para cada quebrada en las cuales se notaba, en forma clara, las huellas dejadas por las crecidas, y al mismo tiempo, se obtuvo el ancho superior e inferior de las mismas, así como la diferenciación de los materiales del suelo.

6.3 ESTIMACION DE CRECIDAS MAXIMAS

MICROCUCENCA EL GALLINERO

NUMERO DE COBERTURA PONDERADO, NCp

No	Uso Actual	Area (Has)	Condición Hidrológica	Tipo de suelo	NC	Area (%)	NCp
1	Cafetales	58	Regular	B	60	74	44
2	Pasto natural con matorral	10	Regular	C	79	13	10
3	Deslizamientos	3	Mala	D	89	4	4
4	Caminos de tierra	2	Mala	D	87	3	3
5	Poblados	5	Mala	D	92	6	6
	TOTAL	78				100	67

* Infiltración Potencial, $S = 2540 - 25.4 \cdot NCp$, $S = 12.5 \text{ cm} = 5 \text{ pulg.}$

* Tiempo de concentración, $T_c = 0.0195 (Lc^3)^{0.385} = 18 \text{ min} = 0.3 \text{ horas}$

* Tiempo de recesión, $Tr = \frac{Lc^{0.8} \times (S + 1)^{0.7}}{735 \times Pc^{0.5}} = \frac{2650^{0.8} \times (5+1)^{0.7}}{735 \times 15^{0.5}} = 0.67 \text{ hr}$
 $= 40 \text{ min}$

* Precipitación efectiva, Pe , en este caso se toman láminas de lluvia registradas en la estación de Berlín, en este caso: $Pe(25) = 9.5 \text{ cm}$, $Pe(50) = 10.4 \text{ cm}$

* Lámina de escorrentía efectiva, $Q_e = (Pe - 0.2S)^2$
 $Pe + 0.8S$

$Pe(25) = (9.5 - 0.2 \times 12.5)^2 = 2.51 \text{ cm} = 25.1 \text{ mm}$
 $9.5 + 0.8 \times 12.5$

$Q_e(50) = (10.4 - 0.2 \times 12.5)^2 = 3.06 \text{ cm} = 30.6 \text{ mm}$
 $10.4 + 0.8 \times 12.5$

* Tiempo Pico, $T_p = T_r + T_c$, $T_p = 0.82$ horas

* Tiempo base, $T_b = 2.67 \times T_p$, $T_b = 2.19$ horas

* Caudales de crecida máxima, $Q_p = \frac{1.14 \times Q_e \times A}{T_r}$

$Q_p (25) = \frac{1.14 \times 25.1 \times 78}{0.67} = 3331 \text{ l/s} = 3.33 \text{ m}^3/\text{seg.}$

$Q_p (50) = \frac{1.14 \times 30.6 \times 78}{0.67} = 4061 \text{ l/s} = 4.06 \text{ m}^3/\text{seg}$

- * Crecida máxima obtenida en la quebrada El Gallinero, utilizando el método Area - Pendiente, y la sección transversal 2-2, localizada a 2 Km aguas de Berlín, la sección presenta un ancho de 43.8 m, altura de crecida máxima de 0.90 m y una velocidad del flujo es 1 m/seg., originándose un caudal,
- $Q = A \times V$, $Q = 4.8 \text{ m} \times 0.90 \text{ m} \times 1 \text{ m/seg} = 4.32 \text{ m}^3/\text{seg}$
- el cual es bastante similar a $4.06 \text{ m}^3/\text{seg}$.

MICROCUCENCA DE LA QUEBRADA TERCER CICLO

NUMERO DE COBERTURA PONDERADO, NCp

No	Uso Actual	Area (Has)	Condición Hidrológica	Tipo de suelo	NC	Area (%)	NCp
1	Cafetales	105	Regular	B	62	75	46
2	Pasto natural con matorral	20	Regular	C	80	14	11
3	Deslizamientos	2	Mala	D	89	1	0.89
4	Caminos de tierra	5	Mala	D	88	4	3.5
5	Poblados	8	Mala	D	92	6	5.5
	TOTAL	140				100	67

* Infiltración potencial, $S = \frac{2540}{NCp} - 25.4$; $S = 12.5 \text{ cm} = 5 \text{ pulg.}$

* Tiempo de concentración, $T_c = 0.0195 (Lc^3)^{0.385} = 17 \text{ min} = 0.28 \text{ horas}$
AH

* Tiempo de recesión, $Tr = \frac{Lc^{0.8} \times (S + 1)^{0.7}}{735 \times Pc^{0.5}} = \frac{2660 \times 0.8 \times (5+1)^{0.7}}{735 \times 16^{0.5}} = 0.65 \text{ horas}$

* Precipitación efectiva, $Pe (25) = 9.5 \text{ cm}$, $Pe (50) = 10.4 \text{ cm}$

* Lámina de escorrentía efectiva, $Q_e = \frac{(Pe - 0.25)^2}{Pe + 0.85}$

$$Q_e (25) = \frac{(9.5 - 0.2 \times 12.5)^2}{9.5 + 0.8 \times 12.5} = 2.51 \text{ cm} = 25.1 \text{ mm}$$

$$Q_e (50) = \frac{(10.4 + 0.2 \times 12.5)^2}{10.4 + 0.8 \times 12.5} = 3.06 \text{ cm} = 30.6 \text{ mm}$$

* Tiempo pico, $T_p = Tr + \frac{T_c}{2}$, $T_p = 0.79 \text{ horas}$

* Tiempo base, $T_b = 2.67 \times T_p$, $T_b = 2.11 \text{ horas}$

* Caudales de crecida máxima; $Q_p = 1.14 \times Q_e \times A$

No	Uso Actual	Área (Hrs)	Tiempo de Tr	Área (Hrs)	Qp
1	Cármenes	140	0.65	25.1	6163 l/s = 6.16 m ³ /seg.
2	Paseo natural con material	20	0.65	30.6	7513 l/s = 7.51 m ³ /seg
3	Deslizamientos	2	0.65	30.6	7513 l/s = 7.51 m ³ /seg
4	Cármenes de tierra	2	0.65	30.6	7513 l/s = 7.51 m ³ /seg
5	Pobladors	8	0.65	30.6	7513 l/s = 7.51 m ³ /seg
6	TOTAL	140	0.65	30.6	7513 l/s = 7.51 m ³ /seg

- * Crecida máxima por el método área-pendiente, utilizándose la sección transversal 1-1, localizada a 450 m aguas arriba de Berlín, la sección tiene un ancho 5m, altura de crecida máxima 1m y velocidad del flujo 1.6 m/seg, originándose un caudal,
 $Q = A \times V$, $Q = 5 \times 1 \times 1.6 = 8 \text{ m}^3/\text{seg.}$, similar a $7.51 \text{ m}^3/\text{seg.}$

MICROCUCENCA DE LA QUEBRADA LA OSCURANA

NUMERO DE COBERTURA PONDERADO, NCp

No.	Uso Actual	Area (Has)	Condición Hidrológica	Tipo de suelo	NC	Area (%)	NCp
1	Cafetales	26	Regular	B	62	74	46
2	Pasto natural con matorral	5	Regular	C	80	14	11
3	Deslizamientos	1	Mala	D	89	3	3
4	Caminos de tierra	1	Mala	D	88	3	3
5	Poblados	2	Mala	D	92	6	6
	TOTAL	35				100	69

- * Infiltración potencial, $S = \frac{2540}{69} - 25.4$, $S = 11.4 \text{ cm} = 4.56 \text{ pulg.}$

- * Tiempo de concentración, $T_c = 0.0195 \times \frac{(Lc^3)^{0.385}}{AH} = 7 \text{ min} = 0.12 \text{ horas}$

- * Tiempo de recesión, $Tr = \frac{Lc^{0.8} \times (S + 1)^{0.7}}{735 \times Pc^{0.5}} = 0.21 \text{ horas}$

No.	Uso Actual	Area (Has)	Condición Hidrológica	Tipo de suelo	NC	Area (%)	NCp
1	Cafetales	26	Regular	B	62	74	46
2	Pasto natural con matorral	5	Regular	C	80	14	11
3	Deslizamientos	1	Mala	D	89	3	3
4	Caminos de tierra	1	Mala	D	88	3	3
5	Poblados	2	Mala	D	92	6	6
	TOTAL	35				100	69

- * Precipitación efectiva, $Pe (25) = 9.5 \text{ cm}$, $Pe (50) = 10.4 \text{ cm}$

- * Lámina de escorrentía efectiva, $Q_e = \frac{(Pe - 0.2S)^2}{Pe + 0.8S}$

$$Q_e(25) = \frac{(9.5 - 0.2 \times 11.4)^2}{9.5 + 0.8 \times 11.4} = 2.79 \text{ cm} = 27.9 \text{ mm}$$

$$Q_e(50) = \frac{(10.4 - 0.2 \times 11.4)^2}{10.4 + 0.8 \times 11.4} = 3.37 = 33.7 \text{ mm}$$

* Tiempo pico, $T_p = T_r + \frac{T_c}{2}$, $T_p = 0.27$ horas

* Tiempo base; $T_b = 2.67 \times T_p$, $T_b = 0.72$ horas

* Caudales de crecida máxima, $Q_p = \frac{1.14 \times Q_e \times A}{T_r}$

$$Q_p(25) = \frac{1.14 \times 27.9 \times 35}{0.21} = 5305 \text{ l/s} = 5.30 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$Q_p(50) = \frac{1.14 \times 33.7 \times 35}{0.21} = 6403 \text{ l/s} = 6.40 \text{ m}^3/\text{seg}$$

- * Crecida máxima comprobada por el método área - pendiente, utilizándose la sección transversal a 250 m aguas arriba de Berlín, la sección tiene un ancho de 6m, altura de crecida máxima 0.75 m y velocidad del flujo 1.55 m/s, lo que da lugar a un caudal:
 $Q = A \times V$, $Q = 6 \times 0.75 \times 1.55 = 7 \text{ m}^3/\text{seg}$. Parecido a $6.40 \text{ m}^3/\text{seg}$.

MICROCUCENCA DE LA QUEBRADA EL JARDIN

NUMERO DE COBERTURA PONDERADO, NCp

No.	Uso Actual	Area (Has)	Condición Hidrológica	Tipo de suelo	NC	Area (%)	NCp
1	Cafetales	20	Regular	B	63	61	38
2	Pasto natural con matorral	5	Regular	C	81	15	12
3	Deslizamientos	4	Mala	D	90	12	11
4	Caminos de tierra	1	Mala	D	89	3	3
5	Poblados	3	Mala	D	92	9	8
	TOTAL	33				100	72

* Infiltración potencial, $S = \frac{2540}{NCp} - 25.4 \text{ m} = 9.88 \text{ cm} = 3.95 \text{ plg}$

* Tiempo de concentración, $T_c = 0.0195 \times (Lc^3)^{0.385} = 0.18 \text{ horas}$

No.	Uso Actual	Área (Has)	Condición Hidrológica	Tipo de suelo	NC	Área (%)	NCp
1	Cafetales	1.5	Regular	B	85	12	30
2	Pasto natural con matorral	4	Regular	C	81	17	14
3	Deslizamientos	1	Mala	D	90	2	4
4	Caminos de tierra	2	Mala	D	89	8	7
5	Poblados	2	Mala	D	92	8	8
TOTAL		24			92	100	75

* Tiempo de recesión, $Tr = \frac{Lc^{0.8} \times (S + 1)^{0.7}}{735 \times Pc^{0.5}} = 0.37 \text{ horas}$

* Precipitación efectiva, $Pe(25) = 9.5 \text{ cm}$, $Pe(50) = 10.4 \text{ cm}$

* Lámina de escorrentía efectiva, $Q_e = \frac{(Pe - 0.25)^2}{Pe + 0.8S}$

* $Q_e(25) = \frac{(9.5 - 0.2 \times 9.88)^2}{9.5 + 0.8 \times 9.88} = 3.25 \text{ cm} = 32.5 \text{ mm}$

* $Q_e(50) = \frac{(10.4 - 0.2 \times 9.88)^2}{10.4 + 0.8 \times 9.88} = 3.87 \text{ cm} = 38.7 \text{ mm}$

* Tiempo pico, $T_p = Tr + \frac{T_c}{2}$, $T_p = 0.46 \text{ horas}$

* Tiempo base, $T_b = 2.67 \times T_p$, $T_b = 1.23 \text{ horas}$

* Caudales de crecida máxima, $Q_p = \frac{1.14 \times Q_e \times A}{Tr}$

$Q_p(25) = \frac{1.14 \times 32.5 \times 33}{0.37} = 3304 \text{ l/s} = 3.30 \text{ m}^3/\text{seg}$

$Q_p(50) = \frac{1.14 \times 38.7 \times 33}{0.37} = 3935 \text{ l/s} = 3.93 \text{ m}^3/\text{seg}$

* Crecida máxima comprobada por el método área-pendiente, utilizándose la sección transversal a 400 m aguas arriba de Berlín, la sección tiene un ancho de 5 m, altura de crecida máxima 0.75 m y la velocidad del flujo 1.10 m/seg, da lugar a un caudal de $Q = A \times V$, $Q = 4.12 \text{ m}^3/\text{seg}$, cercano a $3.93 \text{ m}^3/\text{seg}$.

MICROCUCENCA DE LA QUEBRADA EL HOYON

NUMERO DE COBERTURA PONDERADO, NCp

No.	Uso Actual	Area (Has)	Condición Hidrológica	Tipo de suelo	NC	Area (%)	NCp
1	Cafetales	15	Regular	B	63	62	39
2	Pasto natural con matorral	4	Regular	C	81	17	14
3	Deslizamientos	1	Mala	D	90	5	4
4	Caminos de tierra	2	Mala	D	89	8	7
5	Poblados	2	Mala	D	92	8	8
	TOTAL	24				100	72

* Infiltración potencial, $S = \frac{2540}{NCp} - 25.4$, $S = 9.88 \text{ cm} = 3.95 \text{ pulg}$

* Tiempo de concentración, $Tc = 0.0195 \times \frac{(Lc^3)^{0.385}}{AH} = 0.13 \text{ horas}$

* Tiempo de Recesión, $Tr = \frac{Lc^{0.8} \times (S + 1)^{0.7}}{735 \times Pc^{0.5}} = 0.25 \text{ horas}$

* Precipitación efectiva, $Pe (25) = 9.5 \text{ cm}$, $Pe (50) = 10.4 \text{ cm}$

* Lámina de escorrentía efectiva, $Qe = \frac{(Pe - 0.2S)^2}{Pe + 0.8S}$

$$Qe (25) = \frac{(9.5 - 0.2 \times 9.88)^2}{9.5 + 0.8 \times 9.88} = 3.25 \text{ cm} = 32.5 \text{ mm}$$

$$Qe (50) = \frac{(10.4 - 0.2 \times 9.88)^2}{10.4 + 0.8 \times 9.88} = 3.87 \text{ cm} = 38.7 \text{ mm}$$

* Tiempo pico, $Tp = Tr + Tc$, $\frac{Tp}{2} = 0.31 \text{ horas}$

* Tiempo base, $Tb = 2.67 \times Tp$, $Tb = 0.83 \text{ horas}$

* Caudales de crecida máxima, $Q_p = \frac{1.14 \times Q_e \times A}{T_r}$

$$Q_p (25) = \frac{1.14 \times 32.5 \times 24}{0.25} = 3557 \text{ l/s} = 3.55 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$Q_p (50) = \frac{1.14 \times 38.7 \times 24}{0.25} = 4235 \text{ l/s} = 4.23 \text{ m}^3/\text{seg}$$

* Crecida máxima comprobada por el método área-pendiente, utilizándose la sección transversal 2-2, localizada a 250 m aguas arriba de la bóveda que atraviesa la carretera de Berlín hacia Mercedes Umaña, ésta tiene un ancho de 6 m, altura de crecida máxima 0.80 m, velocidad del flujo 1m/seg, resultando un caudal de $Q = A \times V$, $Q = 6 \times 0.8 \times 1 = 4.80 \text{ m}^3/\text{seg}$, bastante cercano a $4.23 \text{ m}^3/\text{seg}$.

6.4 RESUMEN DE CRECIDAS Y ESCORRENTIA SUPERFICIAL

En el cuadro 12 se muestran los volúmenes y láminas de escorrentía superficial. Se puede apreciar que las láminas aportadas mediante la ocurrencia de precipitaciones para períodos de retorno de 25 y 50 años a nivel de las cinco (5) microcuencas son bastante similares.

CUADRO 12
CRECIDAS Y ESCORRENTIA SUPERFICIAL

MICRO-CUENCAS	AREAS (Has)	CRECIDAS 25 años	Qp (M3/seg) 50 años	T horas	Tb horas	Ve, M3		He, mm	
						25 años	50 años	25 años	50 años
El Gallinero	78	3.33	4.06	0.82	2.19	13.127	6.004	17	20
Tercer Ciclo	140	6.16	7.51	0.79	2.11	23.396	28.523	17	20
La Oscurana	35	5.3	6.4	0.27	0.72	6.869	8.294	20	24
El Jardín	33	3.3	3.93	0.46	1.23	7.306	8.701	22	26
El Hoyon	24	3.55	4.23	0.31	0.83	5.304	6.320	22	26

Crecidas máximas, $Q_p = (\text{m}^3/\text{seg})$.

Períodos de retorno, T_r (25 y 50 años).

Tiempo pico, T_p (horas).

Tiempo base, T_b (horas), $T_b = 2.67 \times T_p$.

$$\text{Volumen de escorrentía, } V_e \text{ (m}^3\text{)} = \frac{T_b \times Q \times 3600}{2}$$

$$\text{Lámina de escorrentía: } H_e \text{ (mm)} = \frac{V_e \text{ (m}^3\text{)} \times 1000}{A \text{ (m}^2\text{)}}$$

HIDROGRAMAS DE ESCORRENTIA SUPERFICIAL

Los hidrogramas permiten visualizar, en forma gráfica, el comportamiento de las crecidas máximas en los cauces principales de las quebradas, en el tiempo o período en el cual se presentan. La quebrada El Tercer Ciclo es la que aporta las mayores crecidas con 6.16 y 7.51 m³/seg para períodos de retorno de 25 y 50 años respectivamente.

SEDIMENTACION

En las laderas de fuerte pendiente de las cinco (5) micro-cuencas en estudio, la escorrentía superficial es uno de los principales agentes de la erosión hídrica y el medio particular del arranque y transporte del material en masa deslizado. Este proceso es de gran impacto en el presente estudio por el hecho que permite cuantificar los volúmenes de arrastre.

La estimación de la producción de sedimentos a nivel de micro-cuencas se obtuvo utilizando el método MUSLE (ver foto 4 y 5).

Micro-cuenca	Superficie (ha)	Pendiente (%)	Longitud (m)	Factor de erosión (t/ha/año)	Producción de sedimentos (t/año)
1	1.2	15	100	0.1	120
2	1.5	20	120	0.2	300
3	1.8	25	150	0.3	540
4	2.0	30	180	0.4	720
5	2.2	35	200	0.5	1100

CUADRO 13
HIDROGRAMA DE ESCORRENTIA SUPERFICIAL
MICROCUCENCA EL GALLINERO

RELACION DE TIEMPOS (T/Tp)	Tiempo T (horas)	Relación Descargas (q/qr)	Descarga Q (25) Tr = 25 años (m³/seg)	Descarga Q (50) Tr = 50 años (m³/seg)
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.20	0.16	0.08	0.27	0.32
0.40	0.33	0.28	0.93	1.12
0.60	0.49	0.60	2.00	2.40
0.80	0.66	0.89	2.96	3.56
1.00	0.82	1.00	3.33	4.00
1.20	0.94	0.92	3.06	3.68
1.40	1.15	0.75	2.49	3.00
1.60	1.31	0.56	1.86	2.24
1.80	1.48	0.42	1.39	1.68
2.00	1.64	0.32	1.06	0.28
2.20	1.80	0.24	0.79	0.96
2.40	1.97	0.18	0.59	0.72
2.60	2.13	0.13	0.43	0.52
2.80	2.29	0.10	0.33	0.40
3.00	2.46	0.08	0.27	0.32
3.50	2.87	0.04	0.13	0.16
4.00	3.28	0.02	0.06	0.08
4.50	3.69	0.01	0.03	0.04
5.00	4.10	0.00	0.00	0.00

CUADRO 14
HIDROGRAMA DE ESCORRENTIA SUPERFICIAL
MICROCUENCA TERCER CICLO

RELACION DE TIEMPOS (T/Tp)	Tiempo T (horas)	Relación Descargas (q/qr)	Descarga Q (25) Tr = 25 años (m ³ /seg)	Descarga Q (50) Tr = 50 años (m ³ /seg)
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.20	0.16	0.08	0.49	0.60
0.40	0.32	0.28	1.72	2.10
0.60	0.47	0.60	3.69	4.51
0.80	0.63	0.89	5.48	6.68
1.00	0.79	1.00	6.16	7.51
1.20	0.95	0.92	5.66	6.90
1.40	1.11	0.75	4.62	5.63
1.60	1.26	0.56	3.44	4.20
1.80	1.42	0.42	2.59	3.15
2.00	1.58	0.32	1.97	2.40
2.20	1.74	0.24	1.48	1.80
2.40	1.90	0.18	1.11	1.35
2.60	2.05	0.13	0.80	0.98
2.80	2.21	0.10	0.62	0.75
3.00	2.37	0.08	0.49	0.60
3.50	2.76	0.04	0.25	0.30
4.00	3.16	0.02	0.12	0.15
4.50	3.55	0.01	0.06	0.07
5.00	3.95	0.00	0.00	0.00

CUADRO 15
HIDROGRAMA DE ESCORRENTIA SUPERFICIAL
MICROCUEENCA LA OSCURANA

RELACION DE TIEMPOS (T/Tp)	Tiempo T (horas)	Relación Descargas (q/qr)	Descarga Q (25) Tr = 25 años (m³/seg)	Descarga Q (50) Tr = 50 años (m³/seg)
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.20	0.05	0.08	0.42	0.51
0.40	0.11	0.28	1.48	1.79
0.60	0.16	0.60	3.18	3.84
0.80	0.22	0.89	4.72	5.69
1.00	0.27	1.00	5.30	6.40
1.20	0.32	0.92	4.88	5.89
1.40	0.38	0.75	3.97	4.80
1.60	0.43	0.56	2.97	3.58
1.80	0.49	0.42	2.23	2.69
2.00	0.54	0.32	1.69	2.05
2.20	0.59	0.24	1.27	1.54
2.40	0.65	0.18	0.95	1.15
2.60	0.70	0.13	0.69	0.08
2.80	0.76	0.10	0.53	0.64
3.00	0.81	0.08	0.42	0.51
3.50	0.94	0.04	0.21	0.26
4.00	1.08	0.02	0.11	0.13
4.50	1.21	0.01	0.05	0.06
5.00	1.35	0.00	0.00	0.00

CUADRO 16
HIDROGRAMA DE ESCORRENTIA SUPERFICIAL
MICROCUCENCA EL JARDIN

RELACION DE TIEMPOS (T/Tp)	Tiempo T (horas)	Relación Descargas (q/qr)	Descarga Q (25) Tr = 25 años (m³/seg)	Descarga Q (50) Tr = 50 años (m³/seg)
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.20	0.10	0.08	0.26	0.31
0.40	0.18	0.28	0.92	1.09
0.60	0.28	0.60	1.98	2.34
0.80	0.37	0.89	2.94	3.47
1.00	0.46	1.00	3.30	3.90
1.20	0.55	0.92	3.04	3.59
1.40	0.64	0.75	2.47	2.92
1.60	0.74	0.56	1.85	2.18
1.80	0.83	0.42	1.39	1.64
2.00	0.92	0.32	1.06	1.25
2.20	1.01	0.24	0.79	0.94
2.40	1.10	0.18	0.59	0.70
2.60	1.20	0.13	0.43	0.51
2.80	1.29	0.10	0.33	0.39
3.00	1.38	0.08	0.26	0.31
3.50	1.61	0.04	0.13	0.16
4.00	1.84	0.02	0.07	0.08
4.50	2.07	0.01	0.03	0.04
5.00	2.30	0.00	0.00	0.00

CUADRO 17

HIDROGRAMA DE ESCORRENTIA SUPERFICIAL

MICROCUCENCA EL HOYON

RELACION DE TIEMPOS (T/Tp)	Tiempo T (horas)	Relación Descargas (q/qr)	Descarga Q (25) Tr = 25 años (m³/seg)	Descarga Q (50) Tr = 50 años (m³/seg)
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.20	0.06	0.08	0.25	0.34
0.40	0.12	0.28	0.99	1.18
0.60	0.19	0.60	2.13	2.54
0.80	0.25	0.89	3.16	3.76
1.00	0.31	1.00	3.55	4.23
1.20	0.37	0.92	3.27	3.89
1.40	0.43	0.75	2.66	3.17
1.60	0.50	0.56	1.99	2.37
1.80	0.56	0.42	1.49	1.78
2.00	0.62	0.32	1.14	1.35
2.20	0.68	0.24	0.85	1.01
2.40	0.74	0.18	0.64	0.76
2.60	0.81	0.13	0.46	0.55
2.80	0.87	0.10	0.35	0.42
3.00	0.93	0.08	0.28	0.34
3.50	1.08	0.04	0.14	0.17
4.00	1.24	0.02	0.07	0.08
4.50	1.39	0.01	0.03	0.04
5.00	1.55	0.00	0.00	0.00

CUADRO 18
ESTIMACION DE LA CANTIDAD DE SEDIMENTO³/ARRASTRADO

MICROCUENCAS	CAUDALES LIQUIDOS, QL (m³/seg).		VOLUMEN DE ESCORRENTIA SUPERFICIAL, Ve (m³).		APORTE POTENCIAL DE SEDIMENTO, Y (Ton/Ha/año).	
	25 años	50 años	25 años	50 años	25 años	50 años
El Gallinero	3.33	4.06	13.127	16.004	20	25
Tercer Ciclo	6.16	7.51	23.396	28.523	20	24
La Oscurana	5.3	6.4	6.869	8.294	82	101
El Jardín	3.3	3.93	7.306	8.701	46	56
El Hoyon	3.55	4.23	5.304	6.320	82	100

$$Y = 11.8 \times (Ve \times QL)^{0.56} \times K \times LS \times C \times P$$

Producción de sedimentos², Y (Ton/Ha/año).

Volumen de escorrentía Superficial, Ve (m³).

Caudal líquido o crecidas máximas, QL (m³/seg).

Factor de erosionabilidad del suelo, K = 0.34

Factor topográfico de longitud e inclinación de las laderas de las microcuencas, LS.

$$LS = \frac{(B)^{0.6} \times (Pl)^{2.4}}{22.19}$$

Coeficiente de longitud de laderas, B = 80 - 100

Pendiente de las laderas de las micro-cuencas, Pl = 25, 24, 43, 32 y 43%.

Factor de cobertura vegetal, C = 0.42.

Factor de prácticas de conservación de suelos, P = 0.35

³ No existen estaciones experimentales que permitan cuantificar en forma directa la pérdida de suelo.

⁴ Ecuación universal de la pérdida de suelo (MUSLE)

RENDIMIENTO HIDRICO⁵

Este parámetro permite hacer una caracterización hidrometeorológica del área en estudio, a la vez, zonificar cultivos en estas áreas específicas, facilitando la interpretación de las relaciones entre la precipitación y la escorrentía. El cálculo de este parámetro se realizó usando la estación pluviográfica de Berlín con registros desde 1966 a 1992 (ver cuadro 1).

Sector hidrográfico en estudio, $A = 310$ Has (3.10 Km^2)

Precipitación media anual, $Pa = 1788$ mm,

Precipitación media mensual, $Pr = 149$ mm = 178 lt/seg/Km^2 .,

Evaporación media anual, $Ea = 1661$ mm,

Evaporación media mensual, $Er = 138$ mm = 165 lt/seg/Km^2 ,

Coefficiente de evapotranspiración, $Ec = 0.8$.

Coefficiente de escorrentía, $Ce = 0.52$.

Evapotranspiración Real, $Etr = Er \times Ec$, $Etr = 165 \times 0.8 = 132 \text{ lt/seg/Km}^2$

Caudal promedio específico, $qp = Ce \times (Pr - Etr)$, $qp = 24 \text{ lt/seg/Km}^2$

Caudal promedio mensual a la salida del sector hidrográfico, $Qp(\text{lt/seg})$.

$Qp = A \times qp$, $Qp = 3.10 \text{ Km}^2 \times 24 \text{ lt/seg/Km}^2 = 74 \text{ lt/seg} = 0.074 \text{ m}^3/\text{seg}$.

Rendimiento hídrico promedio, $Rh(\%) = \frac{Qp \times 100}{Pr} = 13.5\%$

Estación seca correspondiente a (nov., dic, enero, febrero, marzo, abril).

Cantidad total de precipitación, $h = 123$ mm (6 meses).

$Pr = 21$ mm = 25 lt/seg/Km^2

$Er = 137$ mm = 164 lt/seg/Km^2

$Etr = Ec \times Er$, $Etr = 0.8 \times 164 = 131 \text{ lt/seg/Km}^2$

En este caso, $Pr - Etr$ es menor que cero por ser mayor la evapotranspiración en la época seca, por tanto no hay ningún aporte de caudales.

⁵ Constituida por cuatro (4) microcuencas: El Gallinero, Tercer Ciclo, La Oscurana y El Jardín; y El Hoyon separada de éstas.

Estación lluviosa, correspondiente a (mayo, junio, julio, agosto, septiembre, octubre).

Cantidad total de precipitación, $h = 1565 \text{ mm}$ (6 meses).

$$Pr = 261 \text{ mm} = 312 \text{ lt/seg/Km}^2$$

$$Er = 140 \text{ mm} = 167 \text{ lt/seg/Km}^2$$

$$Etr = Ec \times Er, Etr = 0.8 \times 167 = 134 \text{ lt/seg/Km}^2$$

$$Pr - Etr = 178 \text{ lt/seg/Km}^2$$

$$Qp = Ce \times (Pr - Etr), Qp = 0.52 \times 178 = 93 \text{ lt/seg/Km}^2$$

$$Qp = A \times qp, Qp = 3.10 \text{ Km}^2 \times 93 \text{ lt/seg/Km}^2 = 288 \text{ lt/seg} = 0.29 \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$Rh (\%) = \frac{Qp \times 100}{Pr} = 30\%$$

Los resultados obtenidos en lo referente a este parámetro confirman que el sector hidrográfico en estudio, con un rendimiento hídrico del 30%, presenta características torrenciales que por las condiciones de relieve alto y la irregularidad de su régimen hidrológico, inyecta una alta probabilidad de ocurrencia de crecidas torrenciales, así como el transporte de materiales sólidos, relevantes deslizamientos y desprendimientos en masa.

6.5 DESLIZAMIENTOS Y DERRUMBES

Las pendientes de las laderas son muy pronunciadas y en la época de mayor concentración de la precipitación, adquiere una gran fuerza torrencial con la presencia de deslizamientos en su fase activa; siendo este último fenómeno muy evidente en gran parte del Cerro Pelón y Las Palmas. Por lo tanto, si no se toman en un corto y mediano plazo las medidas de ingeniería necesarias, el peligro va incrementándose; a la vez se presentan en el área derrumbes debido al desgaste de la base de los taludes. Se observa un aumento del volumen de material sólido que causa azolvamiento en el sistema de drenaje urbano de Berlín (ver foto 6 y 7).

6.6 AREAS Y SECTORES CRITICOS

Dentro de las áreas y sectores críticos encontrados en el área en estudio se tiene:

- * Parte alta del Cerro Pelón y Las Palmas.

- * Sectores medios y altos de las quebradas: El Hoyón, El Jardín, La Oscurana, Tercer Ciclo y El Gallinero.
- * Pasaje Atlacatl, sector de la Colonia El Jardín, Calle del Instituto a Mercedes Umaña.
- * Tramo crítico de la quebrada El Gallinero en la entrada a Berlín.
- * Tramo crítico de Calle de Berlín hacia la Finca Termópilas y Santa Inés, (ver foto 8).

6.7 CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

En lo referente a trabajos de estabilización, se requiere de una propuesta que obedezca a una planificación integral, dentro de estas microcuencas. Vistos los problemas dentro de las mismas como: crecidas torrenciales, sedimentaciones, deslizamientos y derrumbes potenciales; se hace necesario realizar un proyecto de corrección y sistematización que abarque los aspectos fundamentales y colaterales, como la expansión urbana de la Ciudad de Berlín que presenta un crecimiento habitacional desordenado, (ver foto 9 y 10).

El presente diagnóstico ha permitido aportar los elementos básicos de carácter hidráulico e hidrológico para calcular y diseñar las obras de control torrencial.

RECOMENDACIONES

Dentro de los trabajos de estabilización y protección se pueden mencionar:

- * Corregir las cuencas de recepción de las quebradas.
- * Estabilizar las laderas con peligro de deslizamiento.
- * Corregir la garganta y lecho de deyección de los torrentes en el área en estudio.
- * Considerar la planificación del futuro desarrollo urbanístico que se emprenda en la zona.
- * Escalonamiento con diques de retención y contención en tramos críticos de las quebradas.
- * Proporcionar las bases técnicas para el diseño de un sistema efectivo de aguas lluvias.
- * Proponer las obras necesarias para el control de deslizamientos y derrumbes.

6.8 BIBLIOGRAFIA

- BOURNE W. C., 1946. Investigación Preliminar de las Posibilidades de Conservación del Suelo del Agua de El Salvador. Servicio Cooperativo Inter-Americano de Salud Pública, San Salvador.
- FERNANDEZ, D. C., 1994. Manual de Manejo y Conservación de Suelos y Aguas. MAGFAD. Universidad Estatal a Distancia (UNED). EUNED. Costa Rica.
- GROVER A. Q., 1996. Recuperación de Tierras en el Proyecto COTA GAITA San Juan del Oro, Ayacucho - Bolivia.
- HATTINGER H., 1979. Algunos Aspectos sobre corrección de Torrentes con fines de Conservación. Universidad de Los Andes - Facultad de Ciencias Forestales. Mérida, Venezuela.
- LINSLEY R. K. & J.B. FRANZINI, 1984. Ingeniería de los Recursos hidráulicos. CECSA, México.
- MICHAELSEN T. & L.E. HEYMANS, 1975. Evaluación de las Estructuras y de las medidas de control de Torrentes del Distrito Forestal de Metapan. DGRNR-MAG.
- PACHECO V., et. al, 1993. Recuperación de Tierras en el proyecto norte, Chuquisaca. ITCA. FIDA. Bolivia.
- RAZURI L.R., 1982. Estructura de Conservación de Suelos y Aguas. Riego y Drenaje. Mérida, Venezuela, CIDIAT.
- SCHWAB, G. O., et. al., 1990. Ingeniería de Conservación de Suelos y Aguas. Limusa, México.
- ZAYAS RODRIGUEZ, N.A., et. al, 1989. Propuesta de Diseño de Estructuras para la Corrección de Torrentes en la zona sureste del Volcán de San Salvador. Tesis UPES. San Salvador.