CAMILO GALLEGO ARIAS

# Trincho en guadua, y su optimización con enfoque bioingenieril para el control de la erodabilidad hídrica en el Ecoparque los Alcázares

Universidad Católica de Manizales | Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Especialización en Prevención, Atención y Reducción de Desastre

**Índice**


1. Introducción…….
2. Planteamiento del Problema……
3. Objetivos……...
   3.1 Objetivo General……..
   3.2 Objetivos Específicos……
4. Justificación…….
5. Marco Teórico……..
   5.1 Gestión del riesgo, variabilidad climática y mecanismos de adaptación…….
   5.2 Bioingeniería de suelos…….
      5.2.1 Efectos positivos sobre los recursos Naturales…….
      5.2.2 Beneficios Productivos……..
      5.2.3 Drenaje Superficial……..
      5.2.4 Los filtros vivos……
      5.2.5 Los trinchos vivos……
         5.2.5.1 Trinchos de pared simple en Guadua……...
         5.2.5.2 Trincho de pared doble…….
         5.2.5.3 Trincho en V…….
         5.2.5.4 Trincho Mixto……...
         5.2.5.5 Trinchos para laderas……
         5.2.5.6 Trinchos de madera……...
   5.3 Método Observacional……...
   5.4 Guadua angustifolia (Guadua)…….
      5.4.1 Clasificación botánica……
         5.4.1.1 Composición botánica……..
      5.4.2 Estado de Madurez……..
      5.4.3 Propiedades……...
      5.4.4 Sistemas de Propagación……..
      5.4.5 Conceptos Técnicos De Aprovechamiento……..

**5.5 *Clericida sepium* (Matarratón)…….**
**5.6 *Chusquea* (Chusque)…….**
**5.7 *Trichanthera gigantea* (Cajeto, Quiebrabarrigo, Nacedero)……**
**5.8 *Chrysopogon zizanioides* (Vetiver)……**
**5.9 Erosión Hídrica……**
**5.10 Pérdida de suelo por erosión……..**
**5.10.1 Factor R: Erosividad de las lluvias……..**
**5.10.2 Factor K: erodabilidad del suelo……..**
**5.10.3 Factor L: Longitud de la pendiente…….**
**5.10.4 Factor S: Gradiente de la pendiente……**
**5.10.5 Factor C: Manejos de cultivo……**
**5.10.6 Factor P: Practicas de conservación……..**
**5.11 Adecuación de áreas inundables sociedad hidráulica Zenu…..**
**5.12 Diseño de Canal Abierto……...**
**5.12.1 Geometría del canal…….**
**5.12.2 Elementos geométricos de una sección de canal……..**
**5.12.3 Flujos en canales abiertos…….**
**5.12.4 Estado de Flujo…….**
**5.12.5 Vertedero Hidráulico……**
**5.12.6 Flujo a través de un vertedero…….....**
**6. Entorno Ambiental…….**
**6.1 Geología…….**
**6.2 Clima……...**
**6.3 Sitio de estudio Ecoparque Alcázares Arenillo……..**
**6.4 Antecedentes obras del Sector……...**
**6.5 Información pluviométrico……**
**7. Trabajo de Campo……..**
**7.1 Aplicación de ecuación universal de erosión USLE……**
**7.2 Diseño estructural……...**
**7.2.1 Obra Convencional…….**
**7.2.2 Obra con Bioingeniería (Trinchos)…….**

**7.2.3 Pre-dimensionamiento de obras hidráulicas……**

**8. Conclusiones……**

**9. Bibliografía…….**

## Índice de Tablas y Graficas


**A.** Degradación de los suelos en Colombia IDEAM 2000 http://www.idea.unal.edu.co/public/docs/Degradacion_Tierras_Colombia.pdf

**B.** Métodos empleados para la restauración de los suelos erosionados

**C.** Tabla Partes de una guadua (Descripción y utilización) http://web.catie.ac.cr/guadua/usos.htm

**D.** Tabla de ecuación universal de erosión (USLE)

**E.** Tabla para Factor K Erodabilidad del suelo

**F.** Tabla Valores de LS en la zona cafetera

**G.** Tabla Valores cobertera vegetal Factor C

**H.** Grafica promedio mensual de pluviosidad de 2004 al 2014 en la zona Nor – Occidental de Manizales

**I.** Red de Estaciones Hidrometeorológicas para Prevención de Desastres de Manizales. Estación Meteorológica Alcázares e Ingeominas.

**J.** Comportamiento Pluviométrico Estaciones Ingeominas y Alcázares (Periodo enero 2004 a diciembre 2014). IDEA Manizales.

**K.** Índice Modificado de Fournier (Periodo enero 2004 a diciembre 2014)

**L.** Índice de intensidad de las lluvias El30 (Periodo enero 2004 a diciembre 2014)

**M.** Correlación entre IFM y El30

**N.** Tabla Factores de Seguridad Indirectos mínimos Fuente: Norma Sismo Resistente Colombiana NSR-10

**O.** Tabla Valores del Coeficiente Fa, Tabla A.2.4-3 NSR-10 (Tabla A.2.4-3) Fuente: Norma Sismo Resistente Colombiana NSR-10 En zonas de roca con RQD mayores a 50 se trabaja con el valor de amax calculado acorde a la NSR-10.

**P.** Tabla Valores de reducción para análisis pseudoestático en taludes (Tabla H.5.2-1) Fuente: Norma Sismo Resistente Colombiana NSR-10

**Q.** Tabla Resumen Características Geotécnicas Cenizas Volcánicas Fuente: Estudio de Suelos Aquaterra Ingenieros Consultores

**R.** Tabla Resumen Características Geotécnicas Suelo Residual Fuente: Estudio de Suelos Aquaterra Ingenieros Consultores

**S.** Tabla Resumen propiedades geotécnicas materiales utilizados en los análisis de estabilidad con parámetros indirectos. Fuente: Estudio de Suelos Aquaterra Ingenieros Consultores

**T.** Tabla A.2.4-1 Clasificación del perfil del suelo Fuente: Norma sismo resistente Colombiana (NSR-10)

**U.** Tabla de clasificación del perfil del suelo Fuente: Estudio de Suelos, Aquaterra Ingenieros Consultores

**V.** Grafica de análisis de estabilidad general retro, en condiciones estáticas, NAF inferido. Fuente: Propia

**W.** Grafica de análisis de estabilidad local retro, en condiciones estáticas, NAF inferido. Fuente: Propia

**X.** Grafica de análisis de estabilidad local retro en condiciones seudo estáticas, NAF inferido. Fuente: Propia

**Y.** Grafica de análisis de estabilidad local proyectado en condiciones estáticas, NAF inferido.

**Z.** Grafica de análisis de estabilidad local proyectado en condiciones seudo estáticas, NAF inferido. Fuente: Propia

**AA.** Tabla de factores de seguridad obtenidos Fuente: Propia

**BB.** Cálculo del caudal para la zona de estudio.

**CC.** Chequeo dimensiones del vertedero

**DD.** Chequeo dimensiones de la zanja Fuente: propia.

**EE.** Análisis de precios unitarios (APU`s) 2015 Instituto Nacional de Vías (INVIAS) Gavión

**FF.** Análisis de precios unitarios (APU`s) 2015 Instituto Nacional de Vías (INVIAS) Trinchos

## Índice de Imágenes y Fotografías


1. Trincho de retención, modelo de adaptación. A escala, Laboratorio de Hidráulica UNAL. Foto Santiago Zuluaga Arroyave
2. Erosión Hídrica Planta Luis Prieto. CHEC SA ESP
3. Aguas de escorrentía en la corona de la ladera, Vereda el Escobal Municipio de Pacora (Caldas), Foto: José Horacio Rivera Posada
4. Jardines Colgantes de Babilonia http://www.nationalgeographic.es/documentSetting/photos/large/E1L1ARJF-1XHI-5HW3FEOMMATI.jpg
5. Terrazas y ruinas centrales de Machu Picchu http://www.pbase.com/bmcmorrow/image/99610092
6. Aspecto actual de los canales artificiales que excavaron los antiguos zenúes para controlar las inundaciones, y que modifican el paisaje de una extensa región en las llanuras del Caribe colombiano. San Marcos, Sucre. http://admin.banrepcultural.org/museo-del-oro/sociedades/zenu/sistema-hidraulico
7. Vereda Balmoral, municipio de Filadelfia – Caldas Foto: José Horacio Rivera
8. Fotografía aérea del barrio los Alcázares y Ecoparque. CORPOCALDAS
9. Materiales parentales que obran como basamento de los suelos derivados de cenizas volcánicas. Foto: Andrés Felipe Ríos
10. Canalización de agua superficial mediante trincho vivo en cauce de drenaje natural. Corporación Eco ambientes http://corporacion-ecoambientes.webgarden.es/
11. Foto aérea, inundaciones en Chía, Juan Carlos Vargas, El Tiempo 2011.
12. Mapa Vocación de Uso de las Tierras – 2012 IGAC
13. Sector Sierra Morena Manizales, Área sub-urbana de la ladera. Foto Camilo Gallego
14. Cultivo de café sin sombrío. Montenegro (Quindío) Foto Camilo Gallego
15. Estructuras esenciales canales de desviación revestidos de piedra http://ecolamancha.wordpress.com/2007/11/27/

16. Relación entre el paisaje y las estructuras construidas, Jean-Marie Tjibaou Cultural Centre http://javicantero.wordpress.com/category/arquitectura/
17. Vetiver bioingeniería muros contención jarillones ríos canales taludes. Venezuela http://tachira.quebarato.co.ve/san-cristobal/vetiver-bioingenieria-muros-contencion-jarillones-rios-canales-taludes-venezuela__81E953.html
18. Efecto de la vegetación arbórea y arbustiva sobre la resistencia al cortante tangencial de los suelos. Horacio Ribera 2007
19. Vivienda de la señora Marlene Rojas. Estructuras de estabilización de talud alto, complementadas con estacas vivas de nacedero y cobertura densa de maní forrajero. Barrió Miravalle, Corregimiento de Pavas, Municipio La Cumbre (Valle del Cauca), José Horacio Rivera Posada.
20. Drenaje superficial. Ecoparque Alcázares Arenillo. Foto: Juan Carlos de los Ríos. 2009
21. Partes de un talud. http://helid.digicollection.org/en/d/Jh0206s/4.5.html
22. Filtros vivos Rio claro - Balmoral Octubre 2008, José Horacio Rivera Posada.
23. Diferentes tipos de filtros vivos
24. Trinchos de pared simple en Guadua con enrocado. Ecoparque Alcázares – Arenillo. Foto: Juan Carlos de los Ríos. 2009
25. Trincho en guadua de pared doble
26. Trincho en guadua forma V. Ecoparque Alcázares – Arenillo. Foto: Juan Carlos de los Ríos. 2009
27. Trinchos vivos con reforestación de frailejones, vegetación de paramo. Vereda el desquite, Letras. Foto Andrés Felipe Ríos
28. Vista lateral de trinchos de guadua. Palmares del recreo Armenia (Quindío) http://www.fonade.gov.co/geotec/proyectos/main/cuadro.php?archivo_w=F63-000-0035_3_4.jpg&archivo_txt_w=../informes/tmp/F63-000-0035_3_4.txt&nombre_w=PALMARES%20DEL%20RECREO&ubicacion_w=Armenia-Quind%C3%83%C2%ADo
29. Bosque de Guaduales. Montenegro (Quindío) 2012. Foto Camilo Gallego

30. Puente peatonal en arco de estructura en guadua construido en la ciudad de Medellín (SENA Quindío)
31. Matarraton http://abc.finkeros.com/mata-raton-gliricidia-sepium/
32. Chusque Ecoparqué Alcázares Arenillo Camilo Gallego 2014
33. Nacedero o Quiebrabarrigo Imagen Bruce Cook http://www.tropicalforages.info/key/Forages/Media/Html/Trichanthera_gigantea.htm
34. Rio Marinilla Antioquia (Vetiver - Ing. Uriel Salazar G.) http://www.vetiver.com.co/index.php/obras-ejecutadas
35. Movimiento en Masa. Desembocadura de la quebrada el Cus en el Río Guacaica. Foto: Andrés Felipe Ríos
36. Canales del Zenu fotos aéreas de Sebastián Schrimpff (Foto Rudolf) 2008, (c) Banco de la República, Colombia. https://www.flickr.com/photos/museodeloro/4626054378/in/set-72157624104558016/
37. Puente de Agua de Magdeburgo en Alemania http://pop-picture.blogspot.com/2013/11/los-3-puentes-de-agua-mas.html
38. Centro de laboratorio de hidráulica, Canal rectangular, Universidad EAFIT (Medellín) http://www.eafit.edu.co/servicios-en-linea/laboratorios/Paginas/centro-laboratorios.aspx#.UzPKC-N5PNs
39. Elementos geométricos de secciones del canal, Hidráulica de los canales abiertos Ven Te Chow
40. Descarga a través de un vertedero, Principios y aplicaciones del riego, Israelsen Hansen, Editorial Reverte
41. Vertedero Rectangular con contracción, Principios y aplicaciones del riego, Israelsen Hansen, Editorial Reverte
42. Vertedero triangular de 90°, Principios y aplicaciones del riego, Israelsen Hansen, Editorial Reverte

**43.** Ubicación de Manizales en el mapa de Colombia
http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Colombia_-_Caldas_-_Manizales.svg
**44.** Afloramiento del miembro sedimentario del Complejo Quebradagrande (Lodolitas negras), hacia la cabecera de la Quebrada denominada Antenas de Caracol. (CORPOCALDAS).
**45.** Punto de intervención Ecoparque Alcázares
**46.** Biodiversidad Faunística de la Zona
**47.** Quebrada La Francia
**48.** Lugar de estudio de fauna y flora silvestre
**49.** Zona de Excursionismo y Campismo
**50.** Torre mirador en guadua
**51.** Puente existente en madera utilizado para cruzar la quebrada la Francia.
**52.** Ortofotomapa de Manizales (IGAC)
**53.** Ubicación espacial del Ecoparque Alcázares Arenillo. Imagen Santiago Zuluaga
**54.** Ecoparque Alcázares Arenillo 1944
**55.** Ecoparque Alcázares Arenillo 1990
**56.** Ecoparque Alcázares Arenillo 2003
**57.** Gaviones Ecoparque Alcázares – Arenillo. 2009
**58.** Muro en gaviones y conformación del talud Ecoparque Alcázares – Arenillo. 2009
**59.** Filtro principal y varias espinas Ecoparque Alcázares – Arenillo. 2009
**60.** Lleno y conformación de los filtros con el material de las excavaciones Ecoparque Alcázares – Arenillo. 2009
**61.** Canal en concreto ciclópeo Ecoparque Alcázares – Arenillo. 2009
**62.** Cárcava Ecoparque Alcázares – Arenillo. 2009
**63.** Canal de agua lluvia Ecoparque Alcázares – Arenillo. 2009
**64.** Filtros laterales al canal principal Ecoparque Alcázares – Arenillo. 2009
**65.** Localización general zona de estudio en restitución. Fuente: Restitución topográfica- Estudio de Suelos Aquaterra Ingenieros Consultores
**66.** Topografía de la zona de estudio. Fuente: Restitución topográfica- Estudio de Suelos Aquaterra Ingenieros Consultores

**67.** Geología de la zona de estudio Fuente: Estudio de Suelos, Aquaterra Ingenieros Consultores
**68.** Detalle de gavión revestido por una capa de concreto simple Fuente: Propia
**69.** Detalle de geotextil de 5cm de espesor en el trasdós del muro Fuente: Propia
**70.** Imagen esquemática con la configuración típica de los drenes horizontales Fuente: Propia
**71.** Vista en planta y perfil esquemático de un trincho de pared delgada con vertedero Fuente: Propia
**72.** Detalle en perfil de los trinchos propuestos Fuente: Propia
**73.** Detalle en fachada de los trinchos propuestos, (Sección A ) Fuente: Propia
**74.** Detalle en fachada de los trinchos propuestos (Sección C y D) Fuente: Propia
**75.** Ecuación para el dimensionamiento del vertedero de pared simple. Fuente: http://artemisa.unicauca.edu.co/~hdulica/2
**76.** Esquema zanja colectora rectangular. Fuente: Propia

## Prologo

El suelo, soporte de vida vegetal y animal, interface entre la atmósfera, la litósfera y la biósfera, lugar de transformaciones y transferencias de los componentes esenciales de los ecosistemas, es uno de los recursos más importante del patrimonio natural. Junto al agua, aire, fauna y flora, constituyen los recursos vitales para la supervivencia y bienestar de la humanidad; El cual sufre de una degradación tan antigua como el planeta, gobernado por leyes naturales y que puede ser acelerado por la mano del hombre, poniendo en peligro su propia existencia y la estabilidad de las obras construidas por el mismo, la erosión.

1. Trincho de retención, modelo de adaptación. A escala 1:10, Laboratorio de Hidráulica UNAL. Foto Santiago Zuluaga Arroyave

La importancia del suelo, radica en que este constituye la superficie donde el ser humano puede cultivar sus alimentos más básicos. Al mismo tiempo, es en el suelo donde naturalmente crecen las plantas y vegetales consumidas por los eslabones secundarios de la cadena o los animales herbívoros. Para que los vegetales crezcan es importante que el suelo cuente con riego frecuente (tanto natural como artificial).

Además, el suelo no sólo es importante para el ser humano en lo que respecta a la producción alimenticia sino que también tiene que ver con la posibilidad de establecer viviendas o construcciones más complejas. Para eso, el suelo tiene que ser firme, estable y seguro.

# 1. Introducción

Varias personas desinteresadas, entidades ambientales, universidades y académicos, desde hace algunos años se han dado a la tarea de diseñar y aplicar diferentes tipos de obras civiles para el control de las aguas de escorrentías y los diferentes problemas de erosión característicos y comunes en nuestra geografía Andina.

Así mismo se han diseñado obras de bioingeniería complementarias a las Obras (civiles), No sólo el uso del concreto en obras de estabilidad ha garantizado la sustentación de estas; tampoco el uso de materiales muy elaborados ha solventado totalmente los problemas que se tienen con la erosión de taludes y el control de la acción del agua sobre el terreno, así como las acumulaciones de agua superficiales, sub-superficiales y niveles freáticos altos, todos estos problemas comúnmente encontrados en nuestra geografía montañosa, fueron resueltos hace cientos, o, mejor aún miles de años atrás, con obras sencillas y materiales nativos de la región, básicamente con la bioingeniería imitamos a la naturaleza, sin mayores impactos negativos, contrarrestando los procesos degradativos del terreno y restableciendo los equilibrios preexistentes del sitio.

Los desprendimientos de suelo, reptación, hundimientos, avalanchas, son clasificaciones de algunos movimientos por remoción en masa, sin embargo, cada uno tiene una naturaleza distinta, causas diversas y variedad de detonantes; para este último se destaca los materiales con baja cohesión o poco consolidados, los procesos topográficos, zonas con pendientes muy pronunciadas donde se supera el ángulo de reposo de un material, los procesos climáticos, cuando existen precipitaciones frecuentes o un régimen de lluvias elevado y los procesos antrópicos, que se refieren a la acción del hombre sobre el medio ambiente.

Como podemos ver en la imagen 2 una cárcava de tipo remontante, formada en suelos derivados de cenizas volcánicas. Se observa en la parte alta del terreno, la altura del talud que indica todo el material removido hacia el río Chinchiná, luego del evento

catastrófico. En la parte baja, se presenta el Río Chinchiná y posteriormente, la Planta de Tratamiento Luis Prieto

2. Deslizamiento Planta Luis Prieto Octubre 2011 Manizales (Caldas)

Para estos procesos se utiliza la bioingeniería de suelos, la cual se refiere a la prevención y control de erosión, protección y estabilización de taludes, y problemas de movimientos masales (deslizamientos), mediante la construcción de estructuras totalmente vivas, usando diferentes partes de las plantas, tales como: raíces, fustes y ramas principalmente.

La bioingeniería es considerada como algo único en el sentido que las partes de las plantas sirven como elementos mecánicos a la estructura principal en los sistemas de protección de laderas. Estas estructuras, se convierten en refuerzo, drenajes hidráulicos y barreras para contener la erosión y los movimientos masales.

La soluciones bioingenieriles, las cuales manejan un concepto integral del fenómeno degradativo a la luz de las relaciones roca – suelo - topografía – clima – vegetación – infraestructura y hombre, permitiendo llegar a un diagnóstico preciso en cuanto a la relación causa efecto del problema; y a partir de allí ir eliminando en forma prioritaria la mayor parte de la vulnerabilidad y el riesgo, hasta conducir a soluciones rápidas, sencillas, eficientes, no perecederas y de costos muy bajos.

Para la recuperación del suelo se utilizan los recursos que se tienen en el sitio de las obras, las cuales pueden ser realizadas por la misma comunidad, mediante programas de socialización, sensibilización y capacitación. Lo anterior permite crear en ellos "sentido de pertenencia", para que las protejan y de esta forma prevengan la ocurrencia de nuevos eventos degradativo.

En general la utilización de vegetación para estabilización de pendientes dependerá en gran medida de las condiciones climáticas, así por ejemplo los países mediterráneos son menos vulnerables que los tropicales húmedos, puesto que en los últimos, las precipitaciones son intensas y prolongadas, aumentando los riesgos de deslizamientos masivos, inclusive cuando las pendientes hayan sido bien diseñadas construidas con factores de seguridad apropiados. Los campos de aplicación de las técnicas de bioingeniería son muy variados, y con ellas se obtienen resultados altamente satisfactorios.

En Colombia, se presentan materiales parentales diversos, que dan origen a suelos diferentes en constitución física, química y biológica, estos factores influyen de una u otra forma en el tipo de proceso degradativo y conducen a que las soluciones no siempre sean las mismas, sino, que el éxito de ellas solo sea posible si se parte de un buen inventario y diagnóstico que permita tener en cuenta todos estos parámetros hasta determinar la relación causa – efecto del evento catastrófico.

En la imagen 3 podemos observar un socavamiento de la vía, provocado por la falta de un sistema de canalización de aguas de escorrentía.

3. Aguas de escorrentía en la corona de la ladera, Vereda el Escobal Municipio de Pacora (Caldas), José Horacio Rivera Posada

## 2. Planteamiento del problema

La transformación fisicoquímica del suelo es inherente a las modificaciones de los factores climáticos regionales y globales, producidos por eventos atmosféricos cíclicos (naturales), que alteran la intensidad pluviométrica y por consiguiente su capacidad de resiliencia a la pérdida de suelo. Las soluciones bioingenieriles manejan un enfoque integral ecosistémico (Biótico, Abiótico y Antrópico), y a partir de allí contrarrestar los efectos de la vulnerabilidad y la amenaza con estrategias sencillas, eficientes y a bajo costo.

Desde tiempos remotos el hombre ha tenido la necesidad de modificar su entorno en función de la sostenibilidad, como lo podemos evidenciar en las siguientes imágenes, construcciones de terrazas en Machu Pichu, utilización de sauces para la estabilización de diques durante la dinastía Ming en China, la construcción de jardines colgantes en Babilonia para controlar el flujo de agua hacia los arroyos (Ver imágenes 4 y 5).

4. Jardines Colgantes de Babilonia

5. Terrazas y ruinas centrales de Machu Picchu

Otras técnicas de Bioingeniería provienen de la época medieval, en la que los únicos elementos constructivos que existían eran las piedras y la madera. La sujeción de deslizamientos, caminos y terrenos erosionados por arroyos, aludes y cárcavas se efectuaba con estos materiales y su combinación con plantas vivas.

En Colombia al centro de las Llanuras del Caribe, la Depresión Momposina recibe anualmente las aguas de los ríos Magdalena, Cauca y San Jorge que bajan desde las cordilleras. Con la inundación que la anega durante ocho meses al año llega también un fértil depósito de sedimentos. Hoy la gente sufre, año tras año, la pérdida de sus viviendas, enseres, cosechas y ganado, pero en épocas prehispánicas los zenúes aprovecharon las aguas y el limo poniéndolos a su favor. En un largo proceso, que alcanzó su mayor auge entre el 200 a.C. y el 1000 d.C., transformaron el paisaje mediante un ingenioso sistema de control de aguas.

El sistema hidráulico formado por una gigantesca red de canales y camellones elevados, alcanzó a cubrir 500.000 hectáreas en la cuenca del río San Jorge y 150.000 alrededor del río Sinú.

El mecanismo principal del sistema consistió en mantener estables los cursos de los ríos y caños, bordeados de islotes artificiales donde se levantaban las viviendas. Perpendiculares a estos cursos, los zenúes cavaron canales hasta de cuatro kilómetros de largo con 10 metros de separación entre sí, por donde el agua de la creciente vertía hacia ciénagas más bajas. Allí la corriente era frenada con canales cortos y entrecruzados, de 30 a 70 metros de largo, para cubrir grandes áreas dedicadas al cultivo.

En estas extensiones, hasta de 2.000 hectáreas habilitadas para la agricultura, al bajar el nivel de las aguas los canales mantenían una reserva de humedad para el tiempo seco. Los sedimentos ricos en nutrientes eran recogidos en los lechos de los canales y transportados hasta el tope de los campos elevados para fertilizarlos y alistarlos para ser cultivados. Algunos sectores eran dedicados a un solo producto mientras que otros sostenían diversas especies: coca (*Erythroxylum sp*.), maíz (*Zea mays*), batata (*Ipomoea batata*), ahuyama (*Cucurbita maxima*), ají (*Capsicum sp*.), calabaza (*Cucurbita mixta*), yuca (*Manihot esculenta*) y muchas frutas. Una compleja y estricta organización social y política permitió que durante 1.300 años sucesivas poblaciones zenúes adecuaran el paisaje y mantuvieran limpios los canales para albergar una numerosa población sin deterioro del medio ambiente también se ha evidenciado estas técnicas (Ver Imagen 6).

6. Aspecto actual de los canales artificiales que excavaron los antiguos zenúes para controlar las inundaciones, y que modifican el paisaje de una extensa región en las llanuras del Caribe colombiano. San Marcos, Sucre.

Entre el 2002 y el 2003 se realizaron una serie de intervenciones en el municipio de Argelia (Valle del Cauca), pionero en la restauración de áreas degradadas severamente. Este trabajo se realizó entre la fundación CIPAV (Centro para la Investigación en sistemas sostenibles de producción Agropecuaria) y la corporación Eco-ambientes, con fondos provenientes de la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca CVC. Ya son varias las áreas recuperadas tanto por el CIPAV, como por la corporación Eco-ambientes, lo que sin duda, representa una gran alternativa ambiental y financiera para que los municipios recuperen áreas erosionadas, en zona de ladera tropical (Ver Imagen 7).

7. Vereda Balmoral, municipio de Filadelfia – Caldas Foto: José Horacio Rivera

Manizales siempre han representado una paradigma en el desarrollo de la ciudad, por un lado la belleza que brindan una serie de paisajes y detalles urbanos apreciablemente subjetivos, pero, por otro lado surgen problemas con las construcciones en alta pendiente, pequeños deslizamientos en los patios de las casas que tienen taludes sin ningún tratamiento, humedades aparentemente imposibles de tratar, fácilmente se puede afectar al vecino en el proceso constructivo, edificios de alto estrato ubicados en zonas de altísima pendiente que indiscutiblemente no son aptas para tales desarrollos, para luego literalmente tener que remendar las laderas circundantes porque el terreno no está soportando para tales sobrecargas.

También podemos dirigir nuestra mirada a las vías construidas a media ladera y que siempre han representado una amenaza para los habitantes de esta zona como para los que la transitan; todo debido a los deslizamientos de tierra que se presentan (generalmente en las mismas partes), y que afectan directamente la Infraestructura e indirectamente el tráfico vehicular que es ahora a grandes rasgos tan indispensable.

De una u otra forma los deslizamientos de tierra, sismos y cualquier evento catalogado como adverso o desastroso es aparentemente inevitable, así que bajo esa premisa se deberían preparar las personas y entidades encargadas de prevenir y atender los desastres, pero vemos con nostalgia como hasta ahora apenas se viene fortaleciendo el tema. Así básicamente se desarrolla Manizales igual a otras ciudades, teniendo que

afrontar y luchar contra la construcción ilegal que puede que en una geografía plana no represente problemas (sólo hasta que llegue un sismo), pero en una zona de laderas de altas pendientes el peligro es inminente y el menor descuido se vuelve desastre

El Ecoparque Alcázares Arenillo está ubicado al occidente de la ciudad en el barrio Alcázares, el cual tiene una extensión total de 70,55 ha, El ecoparque limita al norte con el barrio Alcázares y al sur con la vereda el Arenillo. En este Eco-parque se encuentra la quebrada La Francia que lamentablemente tiene un foco de contaminación alto por problemas de vertimientos y aguas servidas, el agua se presenta opaca, con espuma, sin transparencia y con olores característicos por los residuos arrojados a esta.

Dicho sector presentaba problemas avanzados de erosión, debido a la infiltración de aguas, ya que en sector existen más de 17 nacimientos; históricamente se ha dicho que este problema de deslizamientos en el sector se debe a un escarpe de tipo tectónico, y la otra Hipótesis se basa en un escarpe de tipo erosivo, Principalmente debido al escarpe de Chipre (Ver imagen 8).

8. Fotografía aérea del barrio los Alcázares y Ecoparque. CORPOCALDAS

# 3. Objetivos

## 3.1 Objetivo general:

- Diseñar un trincho en guadua, mediante el estudio de los factores ambientales del sector, para el control de la erodabilidad hídrica en el Ecoparque los Alcázares.

## 3.2 Objetivos específicos:

- Aplicar la ecuación universal de pérdida de suelo por erosión, que establecen Wischmeier y Smith (USLE), para predecir la pérdida anual de suelo, en el sitio de estudio.

- Realizar una recopilación de diferentes plantas tanto rastreras como arbustivas, nativas y foráneas del sector y su compatibilidad con el ambiente y el trincho en guadua y su comportamiento para la regulación de las aguas superficiales.

- Realizar un estudio pluviométrico de la zona de intervención mediante datos históricos del sector y determinar la capacidad de las obras hidráulicas complementarias.

- Realizar un diseño comparativo convencional de obra civil para el mismo terreno y determinar los costos de construcción para cada tipo de obra teniendo en cuenta el factor de seguridad.

## 4. Justificación

Las condiciones ambientales en la ciudad de Manizales no son las más favorables para la conservación del suelo, ya que presenta altas pendientes, suelos permeables y de diferentes condiciones hidráulicas lo cual repercute de manera negativa a la conservación del suelo, sumado a esto las altas precipitaciones se convierte en un factor detonante para eventos erosivos.

La amenaza por deslizamientos en Caldas y Manizales es la más importante debido a la frecuencia y magnitud con que se presentan, en especial durante temporadas de lluvias intensas con efectos sociales, económicos y ambientales enumerados de la siguiente manera:

I. Miles de muertos, heridos y damnificados. Cuantiosas pérdidas materiales
II. Destrucción de viviendas, vías, redes de servicio público y otras obras de infraestructura
III. Perdida de extensas áreas de cultivos o de potreros dedicados a la ganadería en áreas rurales.
IV. Daños ambientales de consideración (degradación de suelos contaminación de fuentes hídricas por aportes de material de arrastre, afectación de bosques y áreas protegidas.

A manera de ejemplo, en la ciudad de Manizales desde 1960 al 2000 más de 250 personas murieron como consecuencia de la ocurrencia de deslizamientos y más de 5000 viviendas fueron severamente afectadas. Además en la misma ciudad solamente en el año 1993 se calcularon pérdidas de 3,7 millones de dólares en cuencas urbanas y rurales, debido a la ocurrencia o incremento de procesos de erosión superficial y deslizamiento.

En conclusión, el recurso natural mayormente afectado y degradado en la ciudad de Manizales es el recurso suelo, por la ocurrencia de eventos naturales.

Según lo anterior se puede deducir que las aguas superficiales son el punto neurálgico ya que aquellas aguas que no tienen un nivel de infiltración en el suelo por lo cual discurren libremente a través de la ladera, causan la erosión hídrica, por tal motivo es necesario canalizar, direccionar y controlar dichos flujos y minimizar su impacto en la pérdida de cohesión de las partículas de suelo, en la imagen 9 podemos evidenciar una erosión hídrica.

9. Materiales parentales que obran como basamento de los suelos derivados de cenizas volcánicas. Planta Luis Prieto.
Foto: Andrés Felipe Ríos

Generalmente como respuesta a dicho fenómeno se utilizan obras civiles aportando muy pocos beneficios ambientales por su agresividad al terreno y al paisaje, sus altos costos y su necesario mantenimiento.

Para esta problemática una solución viable son los trinchos en guadua que son barreras transversales construidas en un cauce con el propósito principal de impedir el arrastre de materiales y ayudar a disipar las aguas en causes secundarios.

Las guaduas a utilizar en los trinchos deben ser material sano, sin rajaduras o ataques de insectos o de hongos e impregnadas con asfalto, el diámetro de las guaduas oscilara entre 15 y 25 cm para guaduas horizontales y verticales de cada trincho, teniéndose en cuenta que las guaduas horizontales conserven el mismo diámetro para cada trincho.

Los extremos de las guaduas en los trinchos serán cortados en los nudos conservándose la cubierta protectora de los mismos evitando colocar guaduas con extremos huecos.

La impregnación asfáltica se hará con una mezcla en ACPM al 50% cubriendo los extremos de las guaduas que estén en contacto con el aire en una longitud de 20 cm y las guaduas horizontales y verticales y las enterradas se impregnaran en toda la longitud que estará en contacto directo con tierra, más 20 cm por fuera de la superficie. La impregnación podrá realizarse con brocha o por inmersión.

De acuerdo a su construcción podemos evidenciar los beneficios de los canales en trinchos de guadua, bajos costos de construcción y mantenimiento, aportes ambientales para hábitat de vida silvestre y mejoramiento de la calidad del agua y estética del lugar, aumento a través del tiempo de la fuerza de las raíces de las plantas, para incrementar la estabilidad estructural del terreno y la compatibilidad con sitios ambientalmente susceptibles a los movimientos en masa o lugares con acceso limitado.

Mediante el análisis del comportamiento del canal (Ver grafica 10) pretendemos prever las posibles falencias y ventajas de las diferentes formas geométricas tanto del canal como del vertedero y la utilización de distintas plantas para la regulación del caudal a tratar.

10. Canalización de agua superficial mediante trincho vivo en cauce de drenaje natural. Corporación Eco ambientes.

# 5. Marco Teórico

## 5.1 Gestión del riesgo, variabilidad climática y mecanismos de adaptación

El cambio climático es una variación en el clima que persiste durante décadas o períodos más prolongados, que surge de causas naturales o de actividades humanas. Así ha sido definido el término por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés).

El cambio climático está íntimamente ligado al calentamiento global, pero no son sinónimos. El calentamiento global es un aumento en la temperatura de la atmósfera debido al incremento desmedido de emisiones de gases de efecto invernadero. Según el IPCC, en los últimos 150 años la temperatura del planeta ha aumentado 0,6° C en promedio, y se prevé que al año 2100 el aumento de temperatura sea entre 2 y 3º C más.

El calentamiento global ha tenido un impacto en el cambio climático, afectando la circulación de vientos y océanos, y produciendo cambios en los regímenes de lluvias.

Por otra parte, variabilidad climática es un término diferente de cambio climático, pues en algunos contextos se asegura que el cambio climático se debe exclusivamente a efectos producidos por acciones humanas (antropogénicas). La variabilidad climática hace referencia a eventos climatológicos extremos en los que temperatura, presión atmosférica, humedad y precipitación, fluctúan por encima o por debajo de sus valores promedios. El fenómeno de variabilidad climática más conocido es el Niño – Niña (ENSO). Por lo general el Niño afecta al Caribe colombiano con épocas de sequía y la Niña con épocas de abundantes lluvias, sin embargo su presentación es tan irregular como sus consecuencias, según diferentes subregiones.

En Colombia tuvimos como referencia la ola invernal del año 2010 y 2011, la cual ha cambiado el rumbo de la política ambiental y del riesgo del país, transformado la visión de los colombianos sobre las posibles consecuencias del cambio climático, e inevitablemente ha alterado el plan de gobierno de este cuatrienio, y en consecuencia el Plan Nacional de Desarrollo como su principal instrumento (Ver imagen 11).

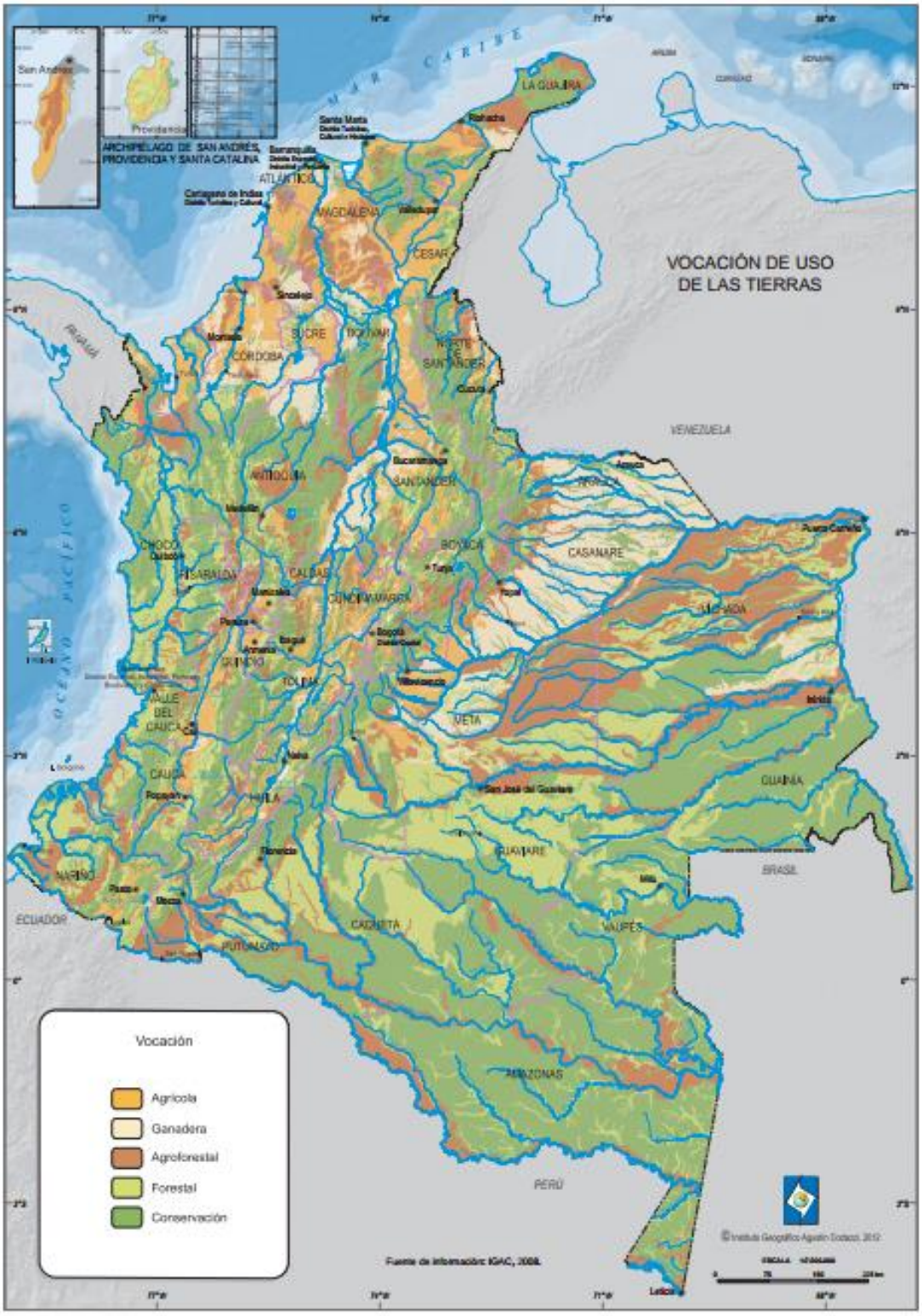
11. Foto aérea, inundaciones en Chía, Juan Carlos Vargas, El Tiempo 2011.

Los esfuerzos en ayuda humanitaria, rehabilitación y reconstrucción, la redistribución de los recursos, y la necesidad de replantear las estrategias de prevención en algunos sectores para evitar consecuencias adversas ante futuros eventos de origen natural, son algunos ejemplos de ello.

La emergencia invernal afecto, 2,35 millones de personas, 341.000 viviendas, 751 vías, 807.609 hectáreas, 813 centros educativos y 15 centros de salud. Los recursos para atender estas y otras consecuencias del invierno se han estimado en 26 billones de pesos: 5% atención, 21% rehabilitación, y 74% para obras de recuperación, reconstrucción y prevención.

La ola invernal, más que una catástrofe, constituye una oportunidad para corregir errores y prevenir futuros desastres. Para que esta adversidad se convierta en una oportunidad, es necesario realizar un diagnóstico exhaustivo de la gestión ambiental y del riesgo del país, e identificar las modificaciones necesarias para atender las consecuencias recientes y prevenir o disminuir las futuras. En otras palabras, entender mejor nuestra geografía, conocer mejor nuestros riesgos e intervenirlos.

Colombia es un país con una excepcional riqueza y diversidad natural y cultural. Esta ha sido la base sobre la cual la Nación y sus regiones han construido sus estrategias de desarrollo, como lo podemos observar en el mapa temático “Vocación de uso de las tierras” del IGAC (Ver Imagen 12)

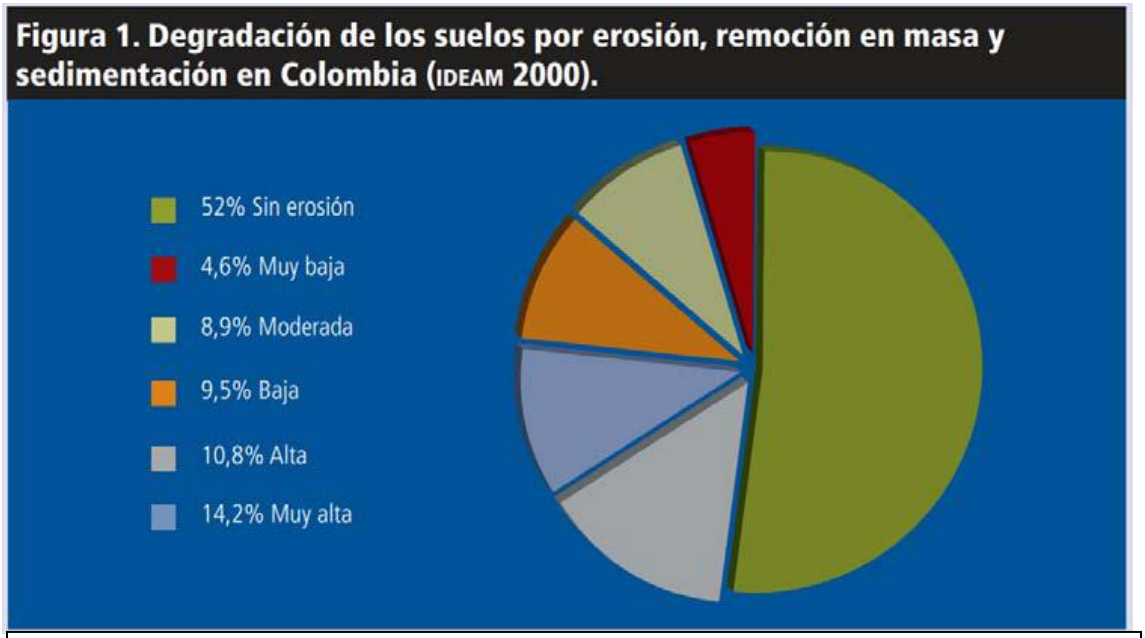



12. Vocación de Uso de las Tierras – 2012 IGAC

Los recursos naturales (el suelo, el agua, los bosques, los recursos hidrobiológicos, los minerales, los hidrocarburos, el paisaje, etc.). Han sido utilizados y explotados para generar crecimiento económico y bienestar social. Si bien es cierto que un mayor crecimiento económico ha contribuido de manera significativa a mejorar el ingreso y el bienestar de los colombianos en las últimas décadas, este también ha estado acompañado de un marcado deterioro ambiental y de la acentuación de problemas como la deforestación, la pérdida de biodiversidad y la contaminación del agua y del aire.

Muchos son los procesos y fenómenos que expresan la degradación de las tierras. Algunos son de tipo físico y se refieren a la pérdida de coberturas vegetales, suelos y aguas por deforestación, erosión o desertificación y otros incluyen procesos bioquímicos que afectan su calidad en velocidades variables, como la pérdida paulatina de fertilidad de suelos, la eliminación de materia orgánica y de microorganismos, compactación o lixiviación de nutrientes.

En la tabla A podemos observar la presencia de la erosión en los suelos del país y su grado de severidad




A. Degradación de los suelos en Colombia IDEAM 2000

En tales procesos se entrecruzan varias prácticas equivocadas de uso de la tierra:

I. Quemas que afectan las coberturas vegetales y los organismos edáficos, realizadas para incrementar temporalmente la disponibilidad de nutrientes.
II. Tala de bosques para aumentar la frontera agrícola.
III. Sobrepastoreo.
IV. Uso indiscriminado de plaguicidas de síntesis artificial para combatir plagas y enfermedades
V. Utilización excesiva de fertilizantes solubles.
VI. Arado permanente de la tierra, dejando el suelo desnudo y expuesto a las radiaciones solares.
VII. Desperdicio de aguas para riego, drenajes deficientes y uso de aguas salinas a uso de maquinaria agrícola pesada en condiciones no adecuadas de humedad edáfica.
VIII. Monocultivos limpios en áreas pendientes.
IX. Eliminación de cercas vivas y de protección arbórea a nacederos.

El número y la magnitud de los desastres vinculados con fenómenos naturales han aumentado vertiginosamente en el mundo, durante los últimos treinta años, el número de desastres se multiplicó por cinco y el valor de las pérdidas que originaron se multiplicó por quince.

En América Latina y el Caribe, la segunda región más afectada del mundo durante los últimos cuarenta años, los desastres se triplicaron en número y las pérdidas económicas se multiplicaron por once; el mayor número de desastres estuvo vinculado con fenómenos climáticos.

Un botón de muestra: la más reciente ola invernal en Colombia dejó un total de 2’350.207 personas afectadas, según reportó el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

El crecimiento de los desastres no se debe tanto a la naturaleza como al fuerte aumento de las vulnerabilidades creadas por el hombre por estas dos grandes razones:

I. El deterioro de las condiciones sociales, económicas y ambientales de amplias franjas de la población
II. La baja gobernabilidad sobre el territorio, especialmente en los países en desarrollo.

En síntesis, se reconoce que el crecimiento de los riesgos y desastres es producto de problemas no resueltos en el modelo de desarrollo imperante (la misma causa estructural que origina el cambio climático). Se vislumbra entonces un aumento mundial en la incidencia de las inundaciones, las tormentas, los deslizamientos, las avalanchas, las sequías, los incendios forestales, los déficits de alimentos, de energía y de agua para consumo y para la agricultura, así como el aumento de epidemias, entre otros.

De todas maneras, las tendencias actuales de crecimiento de los riesgos y de los desastres y los pronósticos sobre los efectos del cambio climático indican de manera irrefutable que los riesgos vinculados con la variabilidad y con el cambio climático van a convertirse en una de las mayores preocupaciones de la humanidad, muy particularmente en los centros urbanos.

En Colombia los riesgos siguen creciendo como podemos ver en la imagen 13, entre otras razones por:

I. Los elevados niveles de pobreza y de marginalidad existentes
II. La creciente concentración de la propiedad del suelo urbano y rural
III. La escasez de alternativas de soluciones de vivienda segura y económicamente accesibles para los más pobres
IV. El desarrollo ilegal y desordenado de las ciudades
V. El uso inapropiado del suelo y de los recursos naturales
VI. El alto deterioro ambiental

13. Sector Sierra Morena Manizales, Área sub-urbana de la ladera. Foto Camilo Gallego

Los últimos años, por el aumento de la migración hacia las ciudades, fenómeno originado primordialmente por el conflicto interno, y la corrupción que ha facilitado, entre otros, que se construyan asentamientos humanos en sitios de alto riesgo, como los de amortiguación de crecientes o en laderas inestables.

El Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres (SNPAD) cuenta con bases legales e institucionales entre las más avanzadas del continente para la reducción de riesgos. No obstante, para los últimos gobiernos nacionales en especial para el anterior (2006 – 2010) y, por tanto, para los municipales y departamentales, la prevención de riesgos y desastres dejó de ser un tema importante, como lo había sido anteriormente. Por ello, con excepción de lo que se está haciendo en unas pocas ciudades, este sistema está casi desaparecido y lo poco que de él queda está centrado casi exclusivamente en los preparativos y respuesta a emergencias y desastres. Se requiere recuperar y fortalecer este Sistema a nivel nacional y local.

Tan solo a raíz de las enormes consecuencias de la pasada temporada invernal, el gobierno actual ha reconocido la necesidad de una gestión preventiva de los riesgos. Algo que la comunidad espera que dichos anuncios se vuelvan realidad. Porque la tendencia no se ha corregido. El presidente tuvo que urgir a los alcaldes para que se ejecuten las necesarias obras de mitigación, pues aunque Colombia Humanitaria ha desembolsado 7,1 billones de pesos, solo se han ejecutado 5,4 billones.

Pero ante todo, se necesita que el SNPAD, así como el Sistema Nacional Ambiental, el Sistema Nacional de Planificación y el Sistema Nacional de Cambio Climático, próximo a crearse desde hace varios años, integren el tema de la gestión ambiental y el cambio climático con el de la gestión de riesgos y desastres y que utilicen la cuenca como unidad de gestión.

El principio de solución a estos problemas está vinculado ante todo con el nivel de conciencia y de cultura de la prevención de los tomadores de decisión públicos-privados y de la ciudadanía en general, ya que los especialistas o allegados a la problemática de los riesgos, y otros actores sociales han tenido la oportunidad de analizar muchas de las verdaderas causas del desastre resultante de la pasada temporada invernal:

I. Colombia es considerada uno de los grandes deforestadores a nivel global. Según el Presidente, que no se comprometió con una cifra exacta, son cerca de 300 mil hectáreas o algo más al año.
II. El río Magdalena es uno de los mayores productores de sedimentos en el mundo. El país sigue esperando medidas eficaces para solucionar esta situación.
III. El cambio de tecnología cafetera, que implicó la eliminación del sombrío para elevar la productividad del café, tuvo un gran impacto sobre la producción de agua y de alimentos, sobre la flora y la fauna y un aumento de la erosión en las zonas cafeteras, como podemos ver en la imagen 14.

14. Cultivo de café sin sombrío. Montenegro (Quindío) Foto Camilo Gallego

Pero surge la paradoja de cómo enfrentar esta situación, a partir de esta pregunta nace el término “adaptación” el cual se refiere al proceso mediante el cual una comunidad, actividad o ecosistema se ajusta para vivir mejor en su entorno. La adaptación al cambio climático puede ser un acto espontáneo o planificado.

Las personas, las empresas, los gobiernos y la propia naturaleza con frecuencia se adaptan a los impactos del cambio climático sin necesidad de ayuda externa. Sin embargo, en muchos casos las poblaciones necesitan planificar cómo han de reducir al mínimo los efectos negativos y aumentar al máximo los beneficios de los efectos positivos. Una adaptación planificada puede iniciarse antes, durante o después del comienzo de las consecuencias reales.

Por su parte, mitigación es una intervención humana para reducir las fuentes o mejorar los sumideros de gases de efecto invernadero. La mitigación incluye de manera primordial los sectores de energía, transporte, industria, vivienda, silvicultura y agricultura. Por otro lado, los actores inmersos en la adaptación representan una amplia variedad de intereses sectoriales, incluidos la agricultura, el turismo y el ocio, la salud humana, el abastecimiento de agua, la gestión costera, la planificación urbanística y la conservación de la naturaleza.

La adaptación es necesaria para proteger decenas de millones de personas pobres y marginadas que, por causa del cambio climático, están en peligro de perder sus vidas o sus medios de sustento. Por esa razón es prioritario implementar medidas enfocadas en las necesidades y prioridades de la población más vulnerable. También es importante considerar que cualquier proyecto de desarrollo debe ser “resistente al clima”, es decir debe ser adaptado, para que sea más sostenible en el tiempo.

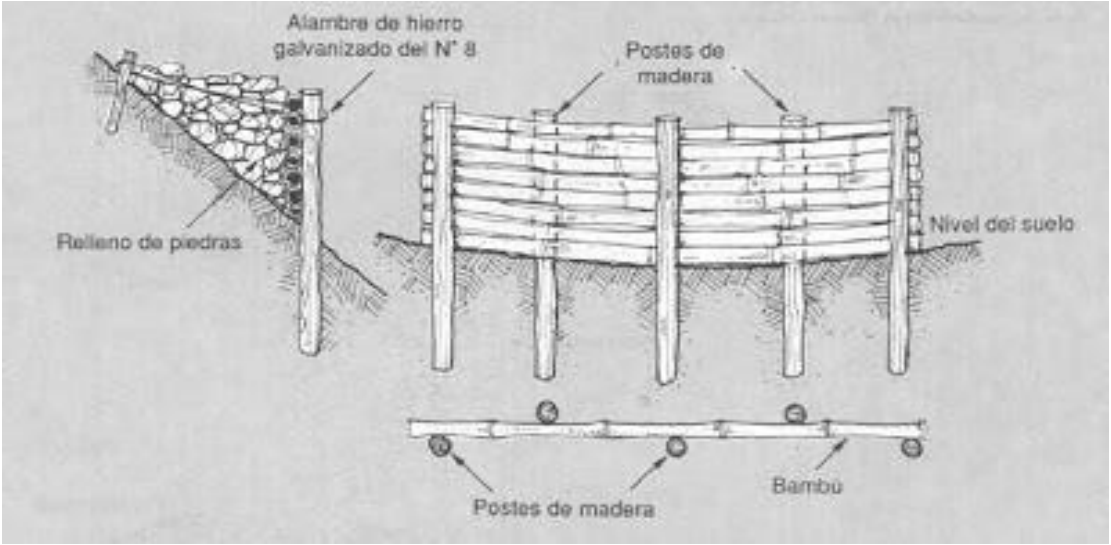
Los enfoques de adaptación más conocidos, son la adaptación basada en comunidades y la adaptación basada en ecosistemas. A su vez las medidas de adaptación pueden ser de múltiples tipos, incorporar varios sectores y contemplar distintos enfoques.

## 5.2 Bioingeniería de suelos

Las técnicas de Ingeniería Biológica se empezaron a registrar en la época medieval, en la que los únicos elementos constructivos que existían eran las piedras y la madera. La sujeción de deslizamientos, caminos y terrenos erosionados por arroyos, aludes y cárcavas se efectuaba con estos materiales y su combinación con plantas vivas.

A finales del siglo XVIII, se tiene constancia de las primeras obras publicadas. Esto permite establecer el origen de estas técnicas en la Europa Alpina, particularmente en Austria y Suiza. En el año 1.886, se publicó una obra recopilatoria titulada “Estabilización de las Riberas de nuestros Ríos y Desprendimientos de Tierras” (Robert Lauterburg). La aparición de nuevas técnicas y materiales, sobre todo el hormigón, hizo que las técnicas de Ingeniería Biológica quedaran relegadas al ámbito rural y forestal de la zona centroeuropea y perdieran relevancia a favor de estas últimas.

En la década de los años 30 del siglo XX, Europa Occidental sufrió una de sus crisis económicas más graves. Esto permitió que muchas de las técnicas de bioingeniería se rescataran debido a su bajo costo. En 1936, se creó en Alemania un centro oficial para investigación en Ingeniería Biológica. En una época de fuerte recesión, los deslizamientos, la erosión de los torrentes, las avalanchas y los aludes necesitaban técnicas artesanales baratas, con materiales disponibles in situ, de manera inmediata y a un coste mínimo como lo podemos observar en la imagen 15.




15 Estructuras esenciales canales de desviación revestidos de piedra

A partir de 1.980, en los países centroeuropeos, gracias a los progresos de las ciencias naturales y al conocimiento de las bases biotécnicas, se realizaron unas sustanciales mejoras en los métodos, con elección de materiales vivos más adecuados. Con ello, estas técnicas se volvieron más eficientes y se han desarrollado nuevos métodos de mayor eficacia. Hoy en día existe una variedad de métodos que pueden solucionar la mayoría de los problemas de afianzamiento de taludes y riberas que puedan presentarse.

Buena parte de la innovación tecnológica contemporánea contempla al medio ambiente, la ecología y la sostenibilidad como preocupaciones principales. La construcción es uno de los sectores más implicados, por lo que está formulando propuestas que afectan tanto a los materiales, elementos y sistemas, como al diseño y la concepción.

Algunos de los caminos iniciados con este objetivo son el zoomorfismo y la bioarquitectura, que recurren a los seres vivos como fuente de inspiración. La naturaleza proporciona modelos solventes porque hace más de 500 millones de años que aplica los principios de economía, eficacia, adaptación y sostenibilidad.

Sin embargo, la naturaleza como modelo produce efectos contrarios a los deseados cuando se substituye la aplicación de sus principios por la analogía formal. Por ello se han investigado algunos casos que ilustran ambos caminos y se presentan algunas claves para distinguirlos.

La evolución de la tecnología y de la cultura en general a lo largo del siglo XX ha conducido a la necesidad de considerar sus implicaciones para el medio ambiente y la sostenibilidad (A. Cuchí, 2005). Con objeto de reducir el impacto ambiental, la escasez de recursos disponibles y evitar el agotamiento de la capacidad de los sistemas naturales para absorber la contaminación, es preciso aplicar la llamada estrategia de las 4R: reducir, reutilizar, reciclar y rehabilitar (B. Edwards, 2005).

Uno de los caminos iniciados es el del biomimetismo. Consiste en la observación de los seres vivos, que llevan más de 500 millones de años evolucionando en equilibrio con su medio natural sin comprometer la continuidad general del sistema.

Los modelos que proporciona la naturaleza no suelen ser aplicables directamente a la industria porque son el resultado de una evolución muy lenta destinada a mejorar la supervivencia y la reproducción. Para conseguir estos objetivos, los seres vivos se basan en unos principios tales como el ahorro energético, el reciclaje, la optimización de las formas, la economía de materiales locales asequibles, la adaptación al medio o la sostenibilidad.

Aunque los objetivos no sean los mismos, estos principios sí que son aplicables a la construcción para ahorrar materiales y energía, obtener soluciones más eficientes y sostenibles, reducir el costo o mejorar del comportamiento y la durabilidad, como nos muestra la imagen 16.

16 Relación entre el paisaje y las estructuras construidas, Jean-Marie Tjibaou Cultural Centre

La Bioingeniería tiene como fin prevenir y controlar los procesos erosivos, proteger y estabilizar taludes, mitigar procesos degradativos del suelo, contrarrestar problemas de movimientos masales, drenaje de aguas superficiales y Sub-Superficiales; todo esto posible mediante la construcción de estructuras vivas y biodegradables, y con unos costos razonables

La Bioingeniería proviene del término alemán “Ingenieurbiologie”, traduciéndose en castellano como Ingeniería Biológica o Bioingeniería. Esta disciplina constructiva persigue objetivos técnicos, ecológicos, estéticos y económicos, utilizando sobre todo materiales vivos y comunidades vegetales. Estos se consiguen aprovechando los múltiples rendimientos de las plantas y utilizando técnicas constructivas de bajo impacto ambiental.

Es importante hacer los estudios respectivos para implementar las obras de Bioingeniería, garantizando su correcta absorción por el entorno donde se implementa, todos los métodos de bioingeniería se planean, conociendo ciertas condiciones del terreno en general, niveles freáticos, capas y niveles de tierra que muestran su capacidad portante, diseñar las obras para los caudales correctos y que estas no desborden, también se ha de tener en cuenta las especies vegetales a utilizar, teniendo en cuenta condiciones Técnicas, Ecológicas, Geológicas, Geográficas, Económicas y Estéticas.

Los tipos de obras físicas de bioingeniería son asociadas con material vegetal como árboles, arbustos, arvenses y pastos, empleadas para un manejo integral de carácter preventivo y correctivo de los procesos erosivos severos, tales como las terracetas y caminos de ganado en laderas, las cárcavas, las remociones en masa del suelo y los derrumbes de las orillas de ríos y quebradas.

La bioingeniería se basa en la construcción de estructuras vivas que emplean diferentes plantas pioneras como el vetiver (Ver imagen 17), de rápido crecimiento y adaptadas a suelos empobrecidos y saturados por la humedad; algunas de ellas pueden utilizarse como forraje para el ganado. Las obras de bioingeniería presentan un carácter singular debido a que las partes de las plantas (raíces y tallos) sirven como elementos de la estructura principal en el sistema que protege los suelos.

17. Vetiver bioingeniería muros contención ¡arillones ríos canales taludes. Venezuela

Estas soluciones rápidas, sencillas, eficientes, no perecederas y de muy bajo costo, se convierten en refuerzo mecánico, drenaje hidráulico y barrera natural para contener la erosión y las remociones en masa del suelo.

Durante las últimas dos décadas, la bioingeniería ha recobrado importancia por su eficiencia en el control de la erosión, por las posibilidades que ofrece para diseñar estructuras seguras y agradables en el aspecto estético y porque inciden directamente sobre la reducción de riesgos para la población humana, la infraestructura pública y privada (vías, viviendas, puentes) y sobre los mismos predios rurales debido a la prevención de desastres naturales.

### 5.2.1 Efectos positivos sobre los recursos Naturales

Debido al uso de árboles y plantas de diferentes hábitos de crecimiento, las obras de bioingeniería hacen su aporte a la preservación de los recursos naturales al acoger las múltiples funciones esenciales de los árboles que se utilizan, porque interceptan el agua y disipan su energía que ocasiona la erosión, se convierten en un refuerzo mecánico, brindan estabilidad al suelo, capturan energía mediante el proceso de fotosíntesis y enriquecen el suelo a través de su sistema radicular, que extrae y traslada nutrientes de las capas más profundas del suelo, lo fijan temporalmente y lo devuelven a la capa vegetal a partir de la renovación permanente de la hojarasca, además hacen parte de la biodiversidad y el paisaje. Igualmente los árboles y las plantas proporcionan hábitats para la fauna aérea, terrestre y para los organismos del suelo.

Las raíces de las plantas aumentan la resistencia cortante del suelo, en forma directa por reforzamiento mecánico e indirectamente por la extracción del agua del suelo por transpiración (Waldron, 1977). El refuerzo mecánico se manifiesta en un aumento considerable en la componente cohesiva, debido al peso de la vegetación y la interacción suelo y raíces (O´Loughlin y Ziemer, 1982), como vemos en la imagen 18.

18. Efecto de la vegetación arbórea y arbustiva sobre la resistencia al cortante tangencial de los suelos. Horacio Rivera 2007

Para la buena restauración de un movimiento en masa se debe tener una buena determinación de la inestabilidad para no cometer errores como:

I. Distribución desordenada del terreno
II. Socavamiento de la pata de la ladera
III. Tala y arranque de los árboles, por creencias populares de ser pesados y altos. (Lo del peso de los árboles, es más una creencia que un sustento científico).
IV. Aumento de la superficie especifica del suelo y su capacidad de infiltración.
V. Perfilado y denudación de la ladera.

Las soluciones bioingenieriles provee una serie de ventajas tales como:

I. Se organiza e involucra a la comunidad en las soluciones, mediante su sensibilización, concienciación y capacitación, construcción de las obras por ellas mismas, creación del sentido de pertenencia, para que las protejan, les den mantenimiento y ratifiquen si fuera necesario.
II. Costos bajos y mantenimiento a largo plazo más bajo que los métodos tradicionales (Mantenimiento bajo de las plantas luego de establecidas)
III. Beneficios ambientales para hábitat de vida silvestre, mejoramiento de la calidad del agua y estética.
IV. Aumento a través del tiempo de la fuerza de las raíces de las plantas, para incrementar la estabilidad estructural del terreno.
V. Compatibilidad con sitios ambientalmente susceptibles a los movimientos en masa o lugares con acceso limitado.

### 5.2.2 Beneficios Productivos

En la finca y las regiones ganaderas, se recuperan áreas degradadas (vías de acceso, obras públicas) debidas a problemas erosivos, aumentando el área productiva, generando mucho empleo rural y disminuyendo notoriamente los costos (entre tres y cuatro veces más económico), al compararlos con las soluciones convencionales de la ingeniería civil (Ver Imagen 19).

19. Estructuras de estabilización de talud alto, complementadas con estacas vivas de nacedero y cobertura densa de maní forrajero, Corregimiento de Pavas, (Valle del Cauca), José Horacio Rivera Posada

La bioingeniería permite recuperar terrenos que fueron destinados a la ganadería y que debido al pisoteo ejercido por el ganado y a los diferentes tipos de erosión son improductivos, por lo tanto, a través de ella, es posible realizar mejores prácticas para la conservación del suelo, hacer aislamientos para recuperar bosques y sobre todo, convertir zonas improductivas y con altas pendientes, en bancos de forraje de corte y acarreo para la alimentación animal (Bancos Mixtos de Forraje).

De igual forma, las áreas recuperadas con bioingeniería en zonas ganaderas, permiten la formación posterior de sistemas agroforestales y silvopastoriles que en algunos casos hacen posible el retorno del ganado a dichos lugares.

Estos son algunos desafíos y restricciones que impone la gestión integral del riesgo basada en la bioingeniería en el ámbito Regional y Nacional:

I. Problemas erosivos que por su origen, magnitud y riesgo de desastre requieran obras de ingeniería convencional en zonas densamente pobladas.
II. Ausencia de mano de obra disponible en zonas afectadas y de material vegetal específico para la solución del problema.
III. Desconocimiento de este tipo de soluciones en las comunidades, empresas, e instituciones ambientales y territoriales para las cuales las únicas soluciones provienen generalmente de la ingeniería civil.
IV. La implementación errónea o deficiente por una asesoría inadecuada, situación que infortunadamente sucede en muchos casos.
V. La utilización incorrecta de las obras de bioingeniería que ante todo son una solución para prevenir, mitigar y estabilizar los terrenos, y no solamente para contener los deslizamientos y la erosión severa.

Estos son algunos pasos básicos para la realización de obras de bioingeniería:

I. Conocer la información pertinente sobre los antecedentes del problema especialmente por el tipo de suelos, el régimen climático, si existen fallas geológicas así como la historia de manejo de los lotes afectados.
II. Realizar un diagnóstico que busque el origen de los problemas donde será necesario verificar todas las fuentes de agua en el área, identificando las superficiales o de escorrentía y las sub-superficiales (profundas) que se pueden encontrar hasta a tres metros de profundidad aproximadamente.
III. En esta verificación deben tenerse en cuenta las redes de acueducto y alcantarillado así como los drenajes o ausencia de los mismos en las vías. Casi siempre estos problemas se relacionan con saturación del terreno por alguna fuente de agua. Este trabajo es especializado y requiere orientación de expertos.
IV. Realizar un inventario de especies vegetales disponibles y adecuadas en la zona de acuerdo a las siguientes características: crecimiento rápido y buen desarrollo de las raíces, entre otras, para seleccionar el material vegetal a utilizar según la disponibilidad en la región. Se combinan plantas de cobertura del suelo con arbustos y árboles de rápido crecimiento.

V. Evitar el impacto directo en el área de trabajo ocasionado por la gente de la región y los animales. Igualmente debe prevenirse la continuidad en el deterioro de la base de la ladera.

VI. Proteger la vegetación y las coberturas existentes de la entrada de animales y sellar grietas y compactar el suelo para evitar

| Métodos empleados para la restauración de los suelos erosionados | |
|---|---|
| Métodos | Sistemas - Obras - Practicas |
| Obras de Bioingeniería | Sistemas de drenajes mediante filtros vivos en espina de pescado |
| | Trinchos vivos escalonados con o sin vertedero |
| | Terrazas vivas |
| | Disipadores simples de energía y escalinatas |
| | Manejo técnico de carreteras y corredores ribereños |
| Practicas preventivas de uso del suelo | Reconversión de los sistemas productivos y manejo de arvenses |
| | Restauración de fuentes hídricas y corredores ribereños |

B. Métodos empleados para la restauración de los suelos erosionados

### 5.2.3 Drenaje Superficial

El objetivo principal del drenaje superficial es mejorar la estabilidad del talud reduciendo la infiltración y evitando la erosión. El sistema de recolección de aguas superficiales debe captar la escorrentía, tanto del talud como de la cuenca de drenaje arriba del talud y llevar el agua a un sitio seguro, lejos del talud que se va a proteger.

El agua de escorrentía debe, en lo posible, desviarse antes de que penetre el área del deslizamiento o se infiltre en dirección al talud (Ver imagen 20). Por otro lado, el agua de las lluvias que cae directamente sobre la superficie del talud, debe ser evacuada lo más rápidamente posible, evitando al mismo tiempo que su paso cause daños por acción de la erosión, almacenamiento e infiltración. Las filtraciones de agua pueden ser causa de deslizamientos y del desencadenamiento de procesos de erosión superficial. Estas pueden proceder de las capas inferiores del subsuelo, o de la infiltración en la cabecera del talud que se moviliza por su interior buscando una zona de material de menor conductividad hidráulica.

20. Drenaje superficial. Ecoparque Alcázares Arenillo. Foto: Juan Carlos de los Ríos. 2009

Las filtraciones de origen superficial pueden controlarse a través de la construcción de zanjas de drenaje en las zonas críticas, como la cabecera del talud. Por su parte las filtraciones profundas se controlan con la construcción de drenes horizontales o la instalación de tuberías perforadas introducidas en el talud, que interceptan y reconducen el agua hacia los extremos para su evacuación.

Los drenajes superficiales son de gran importancia en el control de aguas, se encargan de evacuar el agua procedente de las escorrentías superficiales y el efecto de descarga de las aguas de los drenajes profundos, permitiendo al agua procedente de estos ser transportada lejos del talud. La escorrentía superficial se puede instalar en U o en V, las condiciones más importantes a tener en cuenta son:

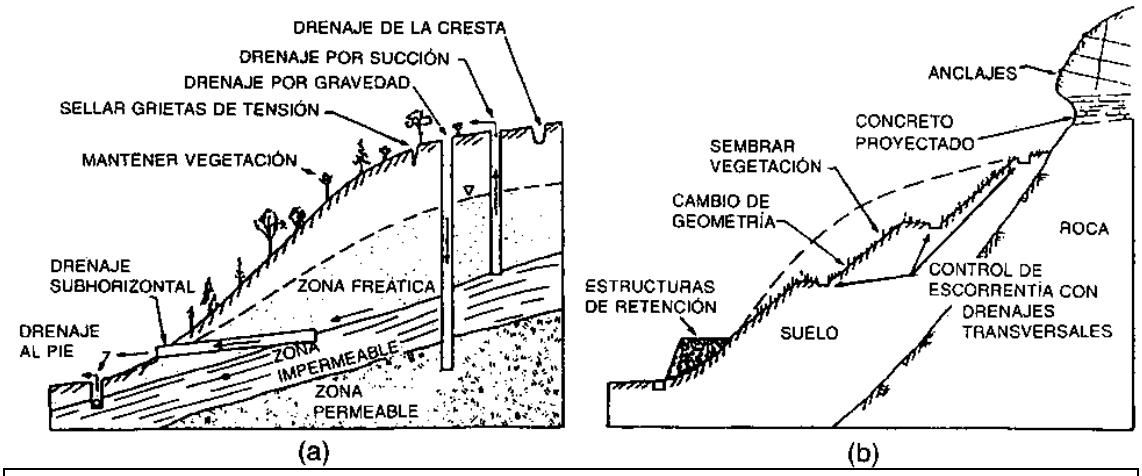
I. Área y tipo de la cuenca de recepción

II. Intensidad de la Lluvia

III. Pendiente y Longitud del talud que se desea drenar

IV. Condiciones del Terreno en Superficie y el Sustrato

V. Naturaleza y Extensión de la Vegetación Los drenajes superficiales se pueden ubicar en: La cara del Talud, En la cresta y Pie del Talud (En La corona del talud) y Zanjas a Media Ladera (Ver Imagen 21).




21. Partes de un talud.

### 5.2.4 Los filtros vivos

Consisten en la construcción de zanjas en espina de pescado, en sentido de la pendiente del terreno de 0,5 a 1 m de profundidad. Estas zanjas se llenan con varios tendidos (3 a 4) de guaduas jóvenes (menores de dos años de edad) para que rebroten fácilmente, o con ramas vivas de quiebrabarrigo, mataratón, leucaena entre otras, tendidas a todo lo largo y en el sentido de la pendiente. La longitud de la guadua y las ramas vivas pueden ser de 1 a 3 m dependiendo de la irregularidad del terreno, las cuales se colocan unas a continuación de otras en forma ininterrumpida hasta el drenaje natural bien protegido.

La finalidad de estos filtros es la de sacar del terreno lo más rápidamente posible los excesos de agua saturantes y dejarlo en una condición de capacidad de campo que impida su desplazamiento ladera abajo. A la vez el material vivo rebrota y aumenta el amarre, anclaje y cohesión del terreno.

Existen fórmulas para determinar el espaciamiento entre drenajes, como la formula general de Hooghoudt (Pizarro 1978), que consiste en:

$$L^2 = 8K2\ HD/R + 4K1H2/R$$

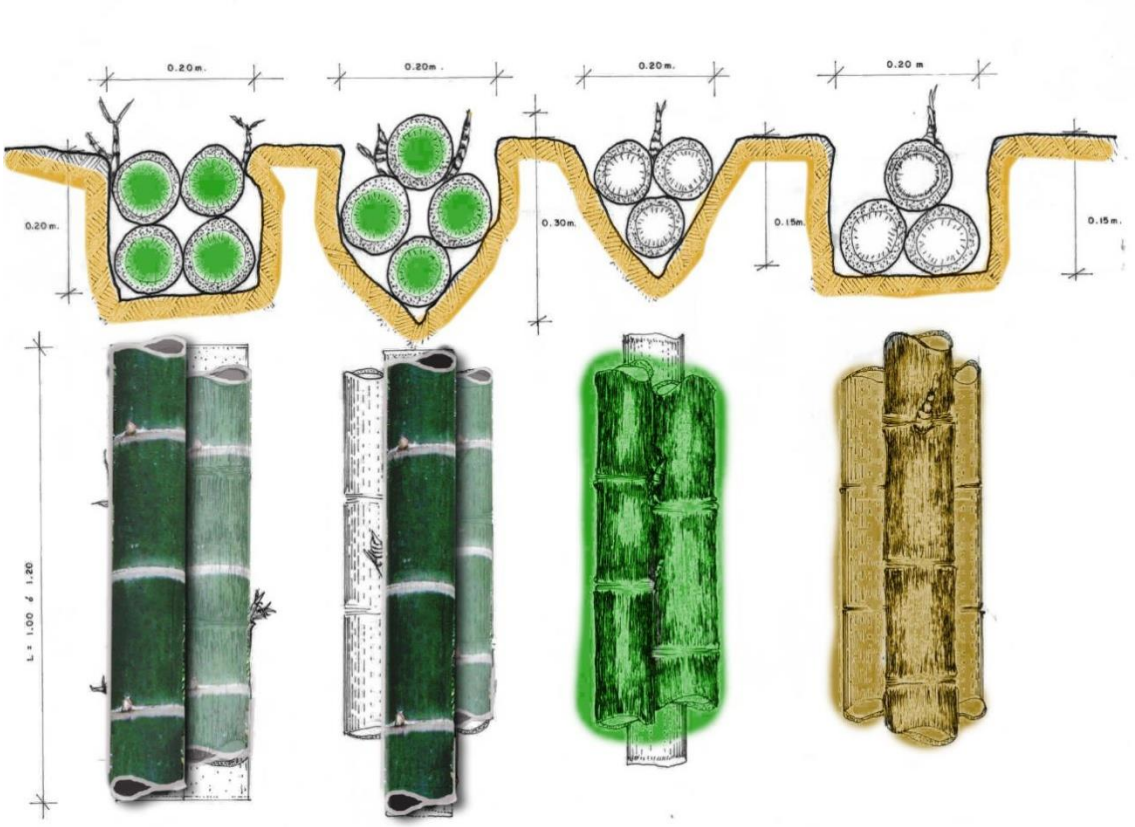
Siendo:

L: espaciamiento entre drenajes (m)
R: percolación (m/día)
K1: permeabilidad del estrato situado sobre los drenajes (m/día)
K2: permeabilidad del estrato situado bajo los drenajes (m/día)
H: altura de la capa freática en su punto medio, respecto al nivel de los drenajes (m)
D: espesor equivalente de Hooghoudt, que depende de L, D (espesor del estrato a través del cual se mueve el agua y r (radio de los drenajes).

El primer sumando 8K2 hd/R se refiere al movimiento del agua por debajo de los drenajes, y el segundo, 4K1h2/R, al movimiento por encima.

En zonas de ladera y especialmente en aquellos sitios irregulares y totalmente inestables, es preferible hacer un sistema de drenajes en forma empírica, buscando los afloramientos de agua o donde se está acumulando, los cuales son detectados fácilmente ya sea utilizando un barreno o caminando, ya que por lo general son los lugares más blandos dentro del terreno. Por lo general los movimientos masales se presentan en épocas lluviosas y en lugares donde no se cuenta con información básica para el establecimiento más técnico de un sistema de drenajes, siendo necesario dar soluciones inmediatas y sencillas para evitar que el proceso continúe ladera arriba y hacia los lados, poniendo en peligro el resto de la finca o su infraestructura, como vemos en las imágenes 22 y 23.

22. Filtros vivos Rio claro - Balmoral Octubre 2008, José Horacio Rivera Posada




23. Diferentes tipos de filtros vivos

### 5.2.5 Los trinchos vivos

Los trinchos son estructuras, de carácter temporal, ejercen control de fondo de una cárcava o de un cauce semipermanente con el fin de permitir el establecimiento de la cobertura vegetal. Es importante lograr la adecuada localización y el correcto dimensionado del vertedero con el fin de controlar los procesos de sedimentación y socavación que se genera por su presencia. Las clases de trinchos más utilizados se describen a continuación:

#### 5.2.5.1 Trinchos de pared simple en Guadua

Se utiliza para corregir surcos o cárcavas de poca profundidad y tramos iníciales de líneas de drenaje. Su carácter temporal, en la zona de tratamiento, hace que se proyecte para controlar la erosión y fijar suelos, mientras se recupera la vegetación, que es en última la que lleva a estabilizar la zona. Su altura máxima recomendable a la base del vertedero es de 60 cm. Intercalados con los elementos verticales se acostumbra sembrar estacas de árboles nacederos. Se proyecta para el tiempo necesario de la revegetalizacion de la zona y cuenta con un vertedero central como se muestra en la imagen 24 se presenta una vista frontal del trincho en madera. El trincho está construido con elementos horizontales, que pueden ser de madera o guadua, soportados por elementos verticales anclado mínimo a 80 cm de profundidad, separados entre sí 1m. Los elementos horizontales van amarrados a los verticales con alambre galvanizado.

24. Trinchos de pared simple en Guadua con enrocado. Ecoparque Alcázares – Arenillo. Foto: Juan Carlos de los Ríos. 2009

Se nivela el terreno por medio de una zanja que coincide con la bioestructura. Para construir un trincho regular; se excavan hoyos separados 1m, que sirven para incar los elementos verticales, los cuales serán bien asegurados por un relleno bien apisonado.

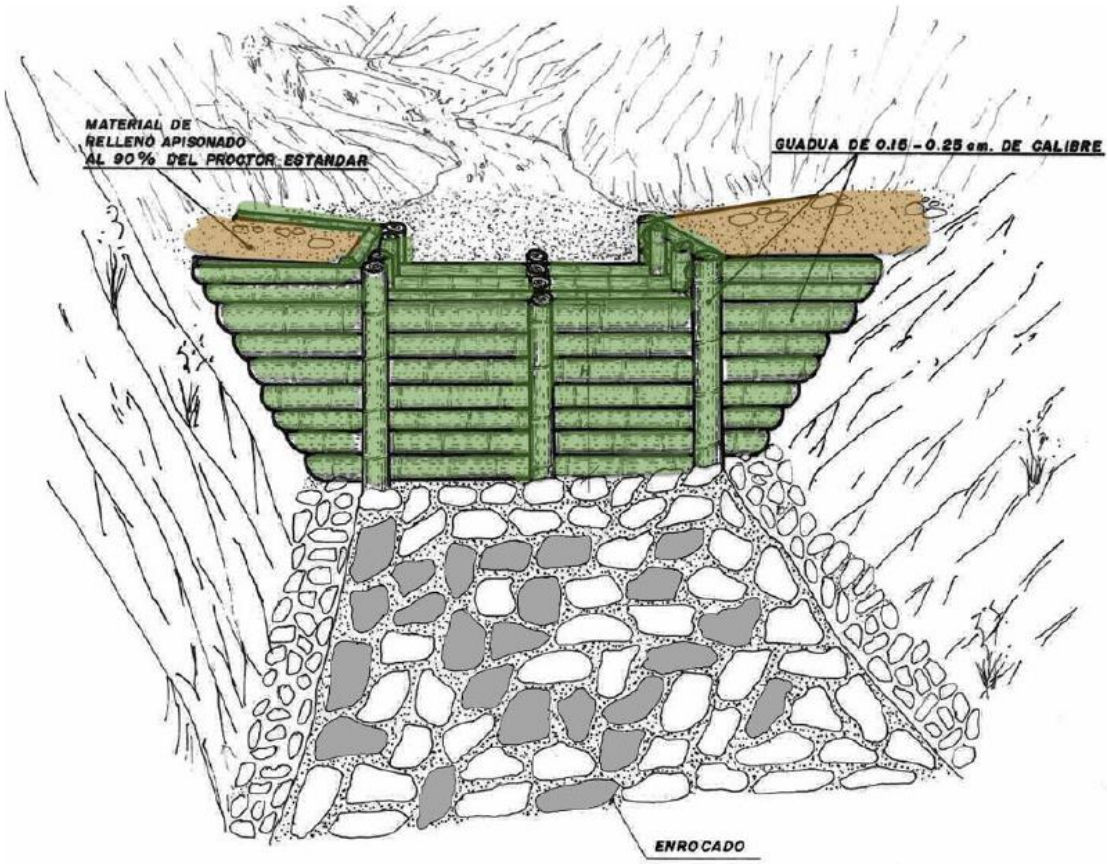
Posteriormente se colocan uno a uno los elementos horizontales amarrados a los verticales con alambre galvanizado. Paralelo a la construcción se realiza el relleno de capas horizontales, el cual queda con un desnivel por la línea de máxima pendiente mínimo del 4%. Se coloca un enrocado con ligante de concreto en la zona de descarga adelante del trincho, para evitar su socavación.

Cuando no se realiza el relleno se protege el trincho con una tela de costal de fique para evitar la pérdida de finos y así lograr su colmatación.

#### 5.2.5.2 Trincho de pared doble

Consiste en la construcción de dos trinchos de pared simple, paralelos y separados 50 cm, localizados transversalmente a la línea del drenaje, rellenos con suelo bien apisonado y con un vertedero.

Los trinchos de pared doble se construyen de forma similar a los de pared simple. La figura 25 presenta el corte de pared doble. Aguas abajo del vertedero se construye enrocado.




25. Trincho en guadua de pared doble

Para la construcción del trincho de pared doble se nivela el terreno por medio de una zanja que coincide con el ancho de la estructura, con el fin de conseguir un trincho regular. Se construyen dos trinchos de pared simple y a medida que se colocan los elementos horizontales, se ejecuta el relleno entre los trinchos en capas horizontales bien apisonadas, se colocan arras de alambre en forma de templetes trenzados a los tercios de la altura de los trinchos.

Se coloca un enrocado con ligantes de concreto en la zona de la descarga del vertedero, adelante del trincho.

#### 5.2.5.3 Trincho en V

Consiste en la construcción de trinchos de pared simple, uno a continuación del otro, localizados en posición convergente 60º respecto al eje de la línea del drenaje a cada lado. Los elementos horizontales contaran con una inclinación al centro del drenaje de mínimo 25%. Estos elementos van soportados por elementos verticales separados 50 cm hasta conseguir la altura del trincho, cuidando de incar dos maderos verticales en el inicio de cada trincho.

La altura del trincho, es de 50 cm (Ver Imagen 26). Se nivela el terreno por medio de una zanja que coincide con los alineamientos y la pendiente de la estructura con ancho de 30 cm, con el fin de conseguir una estructura estable y segura. Se construyen los dos trinchos de pared simple, orientados con la línea del drenaje.

26. Trincho en guadua forma V. Ecoparque Alcázares – Arenillo. Foto: Juan Carlos de los Ríos. 2009

#### 5.2.5.4 Trincho Mixto

Construido con piedra acomodada y madera; se utiliza para corregir surcos, cárcavas de poca profundidad y líneas de drenaje. La decisión de construir trinchos combinados depende de la disponibilidad de los materiales en la zona. Su finalidad es confinar piedras con material leñoso para permitir la revegetalizacion y lograr la recuperación de una cárcava.

#### 5.2.5.5 Trinchos para laderas

Conforman barreras transversales a las líneas de máxima pendiente, construidas en madera y soportan un relleno apisonado (Ver imagen 27). Por considerarse bioestructuras de carácter provisional, por lo general se proyecta a una vida útil de un año y tiene como finalidad principal el figar el suelo y estimular la presencia de vegetación en un área tratada. La altura máxima recomendable es de 80 cm.

27. Trinchos vivos con reforestación de frailejones, vegetación de paramo. Vereda el desquite, Letras. Foto Andrés Felipe Ríos

#### 5.2.5.6 Trinchos de madera

Están compuestos por elementos horizontales que pueden ser de guadua o de madera rolliza (entre los elementos de la base pueden colocarse palos nacederos), los cuales son soportados por elementos verticales con diámetros iguales a los horizontales previamente incados al terreno, como mínimo a 80 cm de profundidad y con una altura de 60 cm por encima del nivel del terreno separados entre sí, siguiendo las curvas de nivel, de un metro. Los elementos horizontales se amarran con alambre galvanizado de 3 mm de diámetro y tensado con grapas. La imagen 28 muestra tratamiento con trincho de guadua

28. Vista lateral de trinchos de guadua. Palmares del recreo Armenia (Quindío)

Se nivela el terreno con el fin de construir un trincho regular de pared simple, se realiza los ahoyados que permiten incar los elementos verticales posteriormente se colocan los elementos horizontales asegurando a los verticales con alambre galvanizado. Paralelo a la construcción se realiza el relleno en capas horizontales, el cual debe quedar terminado con un desnivel, de tal forma que permita el escurrimiento del agua de exceso.

Este relleno será bien apisonado. Cuando no se realiza el relleno se protege el trincho con costales de fique para evitar pérdida de suelo a través del trincho y así lograr su colmatación.

Cabe resaltar la importancia de combinar los filtros vivos con los trinchos en guadua, ya que los dos hacen una perfecta combinación en el instante de construcción. Ya que al canalizar la escorrentía subsuperficial con los filtros vivos regulamos el caudal y propiciamos el rebrote de la guadua verde que sirve como filtro, y al llegar al vertedero del trincho tenemos un caudal regular con baja presencia de sedimentos, lo cual permite mayor durabilidad a lo largo del tiempo.

## 5.3 Método Observacional

El término "método observacional", parece haber sido acuñado por Terzaghi y Peck en 1948 cuando se publicó por primera vez 'Mecánica de suelos en la práctica de la ingeniería', donde se conoció como "procedimiento observacional".

El método observacional MO fue propuesto por Karl Terzaghi y discutido en un artículo de Ralph B. Peck presentado en la conferencia Rankine en 1969 (publicado en Ventajas y limitaciones del método observacional en la mecánica de suelos aplicada, Geotechnique 19, No. 1, pp. 171-187. 1969.), en un esfuerzo por reducir los costos incurridos durante la construcción, cuando se diseñan estructuras de tierra basadas en la hipótesis más desfavorable, (en otras palabras, las condiciones geológicas, las propiedades de ingeniería del suelo, y así sucesivamente).

En cambio, el diseño se basa en las condiciones más probables en lugar de las más desfavorables. Las deficiencias en la información disponible se complementan con observaciones: mediciones de instrumentación geotécnica (por ejemplo, inclinómetros y piezómetros) y la investigación geotécnica del sitio (por ejemplo, sondeos, trincheras, y un CPT). Estas observaciones ayudan a determinar el comportamiento de la estructura durante la construcción, la cual luego puede ser modificada de acuerdo con los resultados. El método puede ser descrito como "aprender a medida que se avanza".

Durante su conferencia de 1969 Peck anunció: "Si los fenómenos que gobiernan son complejos, o aún no han sido apreciados, el ingeniero puede calcular con cantidades completamente equivocadas y puede llegar a conclusiones peligrosamente incorrectas". Aquí es donde el método de observación es particularmente útil.

El método de observación puede ser descrito de la siguiente manera:

I. Exploración suficiente para establecer al menos la naturaleza general, forma y propiedades de los depósitos, pero sin entrar necesariamente al detalle.
II. Estimación de las condiciones probables y de las desviaciones más desfavorables que se pueden concebir de esas condiciones. En esta estimación la geología tiene un rol mayor.
III. Establecimiento del diseño basado en hipótesis de trabajo del comportamiento anticipado bajo las condiciones de trabajo más probables.
IV. Selección de los aspectos que serán observados a medida que la construcción proceda y cálculos de sus valores anticipados sobre la base de las hipótesis de trabajo.
V. Cálculo de los mismos aspectos bajo las condiciones más desfavorables compatibles con los datos disponibles sobre las condiciones del subsuelo.
VI. Selección anticipada de las acciones por tomar o de la modificación del diseño para las desviaciones predecibles de las observaciones realizadas en comparación a las pronosticadas sobre la base de las hipótesis de trabajo.
VII. Medición de los aspectos que serán observados y evaluación de las condiciones reales.
VIII. Modificación del diseño para ajustarse a las condiciones reales.

### 5.4 *Guadua angustifolia* (Guadua)

La guadua es una especie monocotiledónea perteneciente a la familia Gramineae, género Guadua. Planta leñosa con un sistema de raíces fuerte y abundante conformado por un rizoma o caimán. Es de crecimiento rápido, el tallo es recto y alcanza alturas hasta de 25m. Con diámetros que oscilan entre 10 y 20 cm, en suelos propios para la especie puede tener alturas de 35 m y diámetros de 30 cm su desarrollo definitivo se logra entre los 3 y 6 años.

El tallo es en forma de caña, hueco con nudos y entrenudos que van desde 10 a 40 cm, según su variedad y forma, la corteza es delgada, lisa y brillante. Se caracteriza por la presencia de yemas, lo que permite la reproducción vegetativa en forma continua. Sus ramas le sirven de soporte a las hojas, son llamadas comúnmente riendas y brotan de las yemas de los nudos del tallo, las hojas son simples alternas lanceoladas, de color verde, con textura lisa. (CORPOCALDAS, 2000)

29. Bosque de Guaduales. Montenegro (Quindío) 2012. Foto Camilo Gallego

**Aprovechamiento:** El aprovechamiento tiene que ver con la recolección y extracción de los productos, destinados en su mayoría para el procesamiento industrial o comercialización. Es una práctica silvicultural que favorece el mejoramiento de la regeneración natural y de la composición estructural del guadual, asegurando un rendimiento sostenido. (Cámara de Comercio de Manizales, CORPOCALDAS, 2002)

Intervención de aprovechamiento: consiste en el porcentaje de culmos a extraer dentro del guadual, esto se determina mediante el estudio o plan de manejo y aprovechamiento que se realice al guadual, está relacionado directamente con la densidad del mismo.

**Comercialización:** La comercialización de la guadua comienza desde la fase inicial con la producción de las plántulas; por otro lado la transformación primaria y la transformación de los productos y bienes de consumo durable, permiten incorporar un valor y por consiguiente obtener un precio alto por su venta, mejorando así el ingreso de los productores.

Dada la aceptación de la guadua en el mercado como un producto de gran versatilidad para diferentes usos, facilidad de manejo y resistencia, se dan tres tipos y usos del producto así:

I. El primero corresponde al material para construcción de vivienda y modulares.
II. En segundo renglón es utilizada como materia prima por parte de artesanos y fabricantes de muebles dadas las condiciones de resistencia y dureza de su tallo elaborando gran cantidad de artesanías.
III. Por último el sector agropecuario ha elevado la demanda de sus tallos y la utilizan para un sin número de actividades. (CCM y CORPOCALDAS, 2002)

En la Imagen 30 podemos observar una construcción en guadua

30. Puente peatonal en arco de estructura en guadua construido en la ciudad de Medellín (SENA Quindío)

### 5.4.1 Clasificación botánica

La guadua es una planta leñosa arborescente que pertenece a la familia del bambú, es una gramínea, un pasto gigante; por ser gramínea es familia de la caña de azúcar, del trigo, del arroz que forman nuestro diario vivir.

En el mundo existen alrededor de 1300 especies de Bambú leñosos y herbáceos distribuidos en Asia 63%, 32% en América y 5% en África y Oceanía. En América existen 440 especies de bambú, las más importantes del genero Guadua son aproximadamente 16 especies. En el Brasil existe la más grande extensión de Latinoamérica, donde se albergan el mayor número de especies. (FDI/ Min Agricultura y Desarrollo Rural, 2003)

#### 5.4.1.1 Composición botánica

**El Rizoma:** La guadua pertenece a las rizomatosas de tipo paquimorfo; el rizoma es la base principal del tallo o culmo y asegura su estabilidad, con nudos y entrenudos bajo la superficie de la tierra de donde se desprenden las raíces y raicillas. (FDI/ Min Agricultura y Desarrollo Rural, 2003)

Es comúnmente conocido como el caimán de la guadua, además de ser el órgano almacenador de nutrientes es el elemento apto para la propagación asexual. (FDI/ Min Agricultura y Desarrollo Rural, 2003)

**Las Raíces:** Dependiendo del suelo en que se encuentre pueden alcanzar un grosor de 5 mm, y profundidades hasta de 1.50 m parte de ellas se profundizan y otras se extienden de forma horizontal. (FDI/ Min Agricultura y Desarrollo Rural, 2003)

**El Tallo:** Es de forma cilíndrica y cónica, con entrenudos huecos denominados tabiques y nudos esparcidos de forma transversal que garantizan mayor rigidez, flexibilidad y resistencia de los tallos. El culmo, tallo o Guadua está formado por fibras longitudinales que de acuerdo a su edad (juvenil, hecha, madura) se lignifican, entregándonos una extraordinaria resistencia en la parte maderable y en la cara exterior. (FDI/ Min Agricultura y Desarrollo Rural, 2003)

**Las Ramas:** A diferencia del tallo son macizas, en algunos casos se atrofian y son reemplazadas por unas espinas de 10 o 15 cm, sus ramas son muy especiales, crecen casi solitarias. (FDI/ Min Agricultura y Desarrollo Rural, 2003)

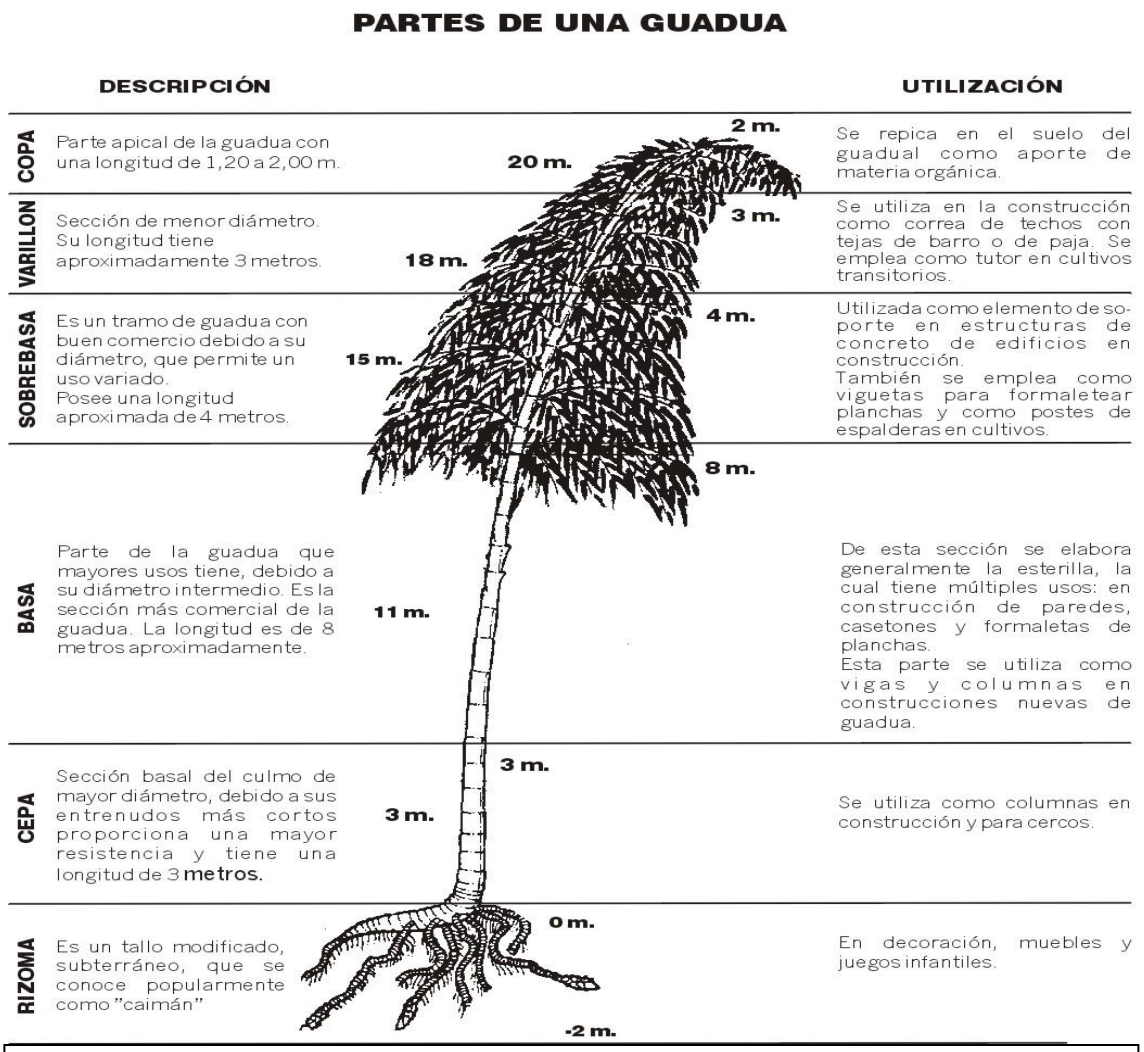
**Las Hojas:** Son de color verde especial, inconfundible en la distancia y en medio de otras plantaciones, sobresale el color de sus hojas, generalmente las hojas tienen la punta muy similar a una lanza, por lo tanto son hojas lanceoladas y lisas. Las hojas aportan a su vez la denominada biomasa de la hoja (en un año 4 kg/m2) transfiriendo nutrientes al suelo y demás plántulas que las rodean. (FDI/ Min Agricultura y Desarrollo Rural, 2003)

Tiene otro tipo de hojas denominadas caulinares que son las que cubren el tallo desde su nacimiento hasta su madurez, son de color café, provistas de pelusillas como sistemas de defensa.

**La Semilla:** Se asemeja a un grano de arroz (es una gramínea) de coloración blancuzca muy clara en su interior y con un café muy claro en su exterior, es de aproximadamente 5 y 8 mm de larga y 3mm de espesor.

**Las Flores:** En cuanto a la flor es muy diminuta se asemeja a una orquídea, de color violáceo o rosáceo, se dice que su color depende de la calidad del suelo donde esta plantada, es una flor de vida muy corta, dura aproximadamente 48 horas, está ubicada en las partes terminales de las ramas superiores y en el primer tercio de la espiga. La flor de la guadua se ha considerado imperfecta por tener las 2 estructuras reproductoras en el mismo culmo. Según estudios apuntan a decir que su floración se da aproximadamente cada 120 años y en bambú ornamental cada 15 años. (Fundación para el desarrollo de la ingeniería/ Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2003).

En la tabla C podemos observar las partes de la guadua y su utilización




C. Tabla Partes de una guadua (Descripción y utilización)

### 5.4.2 Estado de Madurez

Actualmente se estima que el ciclo de vida de un tallo es entre 4 y 7 años, dependiendo de las condiciones del sitio y del manejo. (Fundación para el desarrollo de la ingeniería/ Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2003)

**Brote o Renuevo:** El tiempo estimado desde que emerge hasta que alcanza su máxima altura es de 6 meses. Al cabo de este tiempo, el brote empieza el botar sus hojas caulinares para darle paso a las ramas apicales y así iniciar otro estado de desarrollo.

**Verdes o Biches:** Se caracterizan por su color verde intenso, inicialmente posee ramas, conserva algunas hojas caulinares en su parte inferior y se aprecian claramente las bandas nodales. Esta fase tiene una duración aproximada de un año a un año y medio.

Cuando el tallo se torna verde claro y empieza a presentar manchas blancuzcas en su corteza está iniciando su maduración. (FDI/ Min Agricultura y Desarrollo Rural, 2003)

**Maduración:** Una guadua madura presenta manchas blancas en forma de plaquetas que corresponden a hongos, se inicia la formación de líquenes en los nudos. Esta es la fase de mayor duración (entre 2 y 4 años). La sabiduría popular ha establecido que la madurez de la guadua, genera un sonido fino en el tallo cuando se golpea con una piedra o con el lomo del machete. (FDI/ Min Agricultura y Desarrollo Rural, 2003)

**Sobre maduración:** Se aprecia cuando los tallos están cubiertos por hongos y líquenes en su totalidad, se presentan algunos musgos en los nudos de aspecto gris, blancuzco, próxima a secarse, se estima que esta fase tiene una duración de un año. (FDI/ Min Agricultura y Desarrollo Rural, 2003)

### 5.4.3 Propiedades

**¿Qué la hace tan especial?:** Desde San Ángel en México hasta el sur de Argentina, exceptuando Chile y las Islas del Caribe, la guadua crece en todos los países de América Latina y en buena parte de los países asiáticos. Su uso es tan antiguo que, según el libro ‘Nuevas técnicas de construcción en Bambú’ (1978), en Ecuador se han encontrado improntas de bambú en construcciones que se estima tienen 9.500 años de antigüedad.

Colombia, Ecuador y Panamá son los países en América que registran mayor tradición de uso, de hecho en estas zonas existieron las mayores extensiones de la especie en el continente y sólo como ejemplo, en el siglo pasado en la zona cafetera colombiana se construyeron cerca de 100 poblaciones completas con bareque, según lo reseñan Lucy Amparo Bastidas y Edgar Flores, miembros de La Sociedad Colombiana de Bambú. (Colorado, 2005)

Según Ximena Londoño Pava, Presidente de La Sociedad Colombiana de Bambú, esta especie está dotada y rodeada de condiciones que la hacen ideal para distintos campos de aprovechamiento. Señala por ejemplo, que se trata de un recurso sostenible y renovable porque se automultiplica vegetativamente, es decir, que no necesita de semilla para reproducirse como ocurre con algunas especies maderables.

Tiene además alta velocidad de crecimiento, casi 11 cm de altura por día en la región cafetera y afirma que en sólo 6 meses puede lograr su altura total. Esta condición también representa una enorme riqueza ambiental, ya que la guadua es un importante fijador de dióxido de carbono (CO2).

La particularidad llama la atención de los países industrializados que, según el Protocolo de Kioto, deben disminuir la emisión de gases de efecto invernadero entre el 2008 y el 2012. Estos países ven en la especie una alternativa que podría ayudar a resolver un inquietante problema global y que lo haría, tal vez, a costos más bajos que con otros procesos tecnológicos más complejos. (Colorado, 2005)

Esta especie posee grandes propiedades para la protección de suelos y las aguas. Donde hay guadua hay agua, además es una especie liviana. (Federación Nacional de Cafeteros, 1991)

Su uso facilitó la colonización de lo que hoy se conoce como la zona cafetera. Todo este movimiento de colonos con la introducción del café, la caña, la ganadería, el tabaco y el cacao dieron paso a lo que se conoció como la cultura de la guadua.

Muchos terrenos donde hoy se ven prósperas ciudades y ricas zonas ganaderas en zonas templadas y cálidas del centro de Colombia, eran antes cubiertos por grandes guaduales. (Federación Nacional de Cafeteros, 1991).

### 5.4.4 Sistemas de Propagación

**Reproducción Asexual:** La reproducción asexual o sea a partir de partes de la planta como tallos, ramas, yemas y raíces es la más adecuada y recomendable. (Federación Nacional de Cafeteros, 1991)

Hay varios sistemas de propagación vegetativa, pero los más utilizados son los métodos de chusquín, y por riendas.

Los chusquines, Son rebrotes que salen del rizoma y se observan en forma de retoños o pequeñas plantas; éste debe permanecer por espacio de dos meses en el banco de propagación, o sea en el terreno dedicado al crecimiento de la materia, posteriormente se lleva a bolsa y se deja por espacio de 3 meses para llevarlo al sitio definitivo. En cuanto a las riendas, este sistema de propagación se hace con las ramas laterales que salen de las yemas del tallo, de una rienda salen varias yemas para propagar, se corta el material dejando la yema en la mitad con una porción de rama de 5cm, al lado y lado, este material se siembra también en bolsas para luego llevarlo a sitio definitivo. (Federación Nacional de Cafeteros, 1991)

La sección de tallo: Los resultados con este sistema son del 50% al 80% de prendimiento. Se toman partes de culmo que posean dos o más nudos y dos entrenudos; se hacen perforaciones pequeñas a cada entrenudo y se llenan de agua, posteriormente se siembran de forma horizontal con los orificios hacia arriba. Los acodos consisten en una distancia de 20 a 30cm. y muy cerca al nudo de la rama se hace un corte en forma de anillo, se cubre muy bien humedeciendo permanentemente para propiciar el brotamiento de las yemas (CORPOCALDAS, 2000)

La reproducción In Vitro, se realiza en laboratorio, con tejidos obtenidos de tallos, ramas y chusquines; el objetivo principal es la obtención masiva de plántulas homogéneas. (CORPOCALDAS, 2000).

**Propagación por semillas:** Este método no es fácil ni práctico, debido a que su fructificación es esporádico, son bajo vigor. (CORPOCALDAS, 2000).

### 5.4.5 Conceptos Técnicos De Aprovechamiento

**Ciclo Vegetativo:** Es el tiempo transcurrido desde la aparición del rebrote continuando con todas sus fases vegetativas hasta la inactividad total de la planta o fase de secamiento del tallo. (Sociedad Colombiana del Bambú, 2002)

**Turno:** Es el tiempo transcurrido desde la aparición del rebrote hasta el momento en que es aprovechado como guadua. (Sociedad Colombiana del Bambú, 2002)

**Ciclo De Corte:** Es el tiempo transcurrido entre dos aprovechamientos sucesivos sobre un mismo bosque. Este depende de la posibilidad del guadual. (Sociedad Colombiana del Bambú, 2002)

**Posibilidad:** Es el volumen o número de guaduas que se pueden aprovechar en un periodo determinado buscándose asegurar el máximo rendimiento sostenible. La posibilidad depende del producto deseado, de la composición estructural, de la dinámica en la regeneración natural, del turno, del tiempo de pausa y del área a aprovechar. (Sociedad Colombiana del Bambú, 2002)

**Plan de Manejo Técnico de un Guadual:** El plan de manejo técnico lo constituyen el ciclo de corte, la intensidad de corte y las técnicas de aprovechamiento.

**Técnicas de Aprovechamiento:** Para la extracción de cualquier cantidad de tallos de un guadual, es indispensable obtener la licencia de aprovechamiento y tener en cuenta que los aprovechamientos deben estar supervisados por profesionales competentes.

Una vez conocidas las fases de desarrollo del guadual se procede a realizar muestreos, donde se contabiliza el número de individuos (tallos) por cada fase de desarrollo. Esta labor se efectúa a través de parcelas de muestreo de 10m x 10m x 10m en cuadro.

El número de tallos a entresacar está sujeto a estudios técnicos que determinen la intensidad o índice de corte.

El aprovechamiento de los tallos debe estar dirigido a los maduros, pero dentro de esta fase se deben seleccionar los más avanzados, analizando las características ya mencionadas.

Conociendo el número de guaduas maduras o "Hechas" por hectárea, se puede extraer un porcentaje de este tipo de guaduas. El índice de aprovechamiento generalmente es del 35% de guaduas maduras. Aprovechamientos mayores implican desbalances fisiológicos del guadual y susceptibilidad a volcamientos de rebrotes y guaduas jóvenes ocasionados por borrascas, vientos fuertes, vendavales y tempestades.

La entresaca debe hacerse uniformemente en toda el área del guadual y los cortes de los tallos deben realizarse a la altura del primer o segundo nudo y a ras. Se deben evitar los cortes que dejan una concavidad o "pocillo", la cual favorece depósitos de agua que ocasionan pudriciones de la planta.

Se deben cortar todos los tallos enfermos, secos en pie o secos partidos. La copa con sus ramas y demás partes no utilizables de la guadua se deben repicar y esparcir uniformemente dentro del guadual, pues su descomposición genera materia orgánica.

Cuando la intervención se hace cerca de corrientes o depósitos de agua, debe evitarse arrojar desechos que obstaculicen su libre curso.

El corte de los tallos al amanecer entre las 3:00a.m. y las 5:00a.m. y en menguante, implica obtenerlos con menor contenido de humedad y menores concentraciones de carbohidratos, por lo tanto más resistentes a los ataques de insectos y hongos. Todos los tallos cortados en cualquier fase lunar, se deben dejar dentro del guadual en posición vertical aproximadamente de 20 a 30 días, luego se secan preferiblemente a la sombra.

Los cortes de los tallos se deben hacer a ras del primero o segundo nudo evitando espacios huecos en el tocón que favorezcan depósitos de agua y consecuente pudrición del rizoma. (Sociedad Colombiana del Bambú, 2002)

## 5.5 *Clericida sepium* (Matarraton)

**Descripción**: Esta leguminosa arbórea y perenne alcanza hasta 10 metros de altura con raíces profundas, produce grandes ramas cilíndricas, frondosas arqueadas y plumosas con hojas opuesta y compuestas de color brillante, en una rama bien desarrollada puede llegar a tener hasta 60 hojas compuestas y de 3 a 19 foliolos por hoja. Las flores son rosa púrpura y crecen en grandes cantidades cuando todas las hojas del árbol caen, las vainas son verde claro, de cerca de 10 cm de largo teniendo de 8 a 10 semillas tornándose café oscuro al madurar, la semilla es café claro en forma de disco.

31. Matarraton

**Clima:** Crece bien en condiciones de clima húmedo y cálido, no crece bien con bajas temperaturas, el árbol puede tolerar condiciones de sequías prolongadas aunque esto causa defoliación en las ramas viejas.

**Altitud**: crece bien desde el nivel del mar hasta 1300 metros de altura.

**Usos:** Productor de forraje, el forraje verde es consumido por las vacas, ovejas y cabras por tener una buena palatividad y ser una excelente fuente de proteína, vitamina y minerales, estos animales consumen las hojas, la parte tierna del tallo y la corteza, la proporción de estos en matarraton cosechando cada tres meses.

Usado en niveles bajos el forraje del matarraton sirve para pigmentar la yema de los huevos o la piel de los pollos, también se utiliza el follaje como abono verde en cereales y frutales. Y se caracteriza por producir sombra en los potreros, regula el equilibrio del suelo, el incremento de la aeración, hipercolacion y la regeneración de los suelos pesados. Las flores son utilizadas en la alimentación humana y son una excelente fuente de néctar para las abejas. El matarraton favorece el control de la erosión y la escorrentía por la acción penetrante de las raíces, se consumen las hojas y parte tierna de la corteza.

### 5.6 *Chusquea* (Chusque)

**Identificación:** Bambúes de montaña, con tallos como cañas, sólidos por dentro (no huecos como los tienen muchos de sus parientes). Muchos tienen tallos que se apoyan en la vegetación circundante y forman densos matorrales. Las ramitas con hojas nacen en verticilos alrededor de las cañas. Las hojas son alargadas y con venas paralelas, como en casi todos los miembros de la familia de los pastos.

Los chusques son plantas de rápido crecimiento y muy invasoras (Ver Imagen 32), que forman matorrales impenetrables a orillas de los bosques, a lo largo de cursos de agua y en áreas donde han ocurrido deslizamientos de tierra o se ha talado el bosque. Los matorrales formados por estas plantas pueden ser tan densos, que impiden el crecimiento de árboles y otras plantas.

Los chusques, igual que otras especies de bambúes, sólo florecen una vez hacia el final de su vida y esto sólo sucede cada varias décadas. Toda la población de una región florece y fructifica y luego mueren todas las plantas.

Los momentos en los que en chusque fructifica son especiales para algunas aves que se alimentan de semillas, pues las del chusque les gustan mucho. Entre estas aves se cuentan algunos loritos o pericos de montaña, chisgas y palomas. Algunas de estas aves son tan aficionadas a las semillas del chusque que tienen un estilo de vida nómada, siempre en busca de poblaciones en fructificación de estos bambúes.

Los tallos de chusque, al igual que los de otros bambúes, son usados en construcciones y para elaborar artesanías.

32. Chusque Ecoparqué Alcázares Arenillo Camilo Gallego 2014

## 5.7 *Trichanthera gigantea* (Cajeto, Quiebrabarrigo, Nacedero)

**Origen:** Arroyos, áreas pantanosas y bosques húmedos de América Central y los países del norte de América del Sur

**Descripción:** Arbusto o árbol pequeño de 5 m, hasta 15 m, con una copa redondeada. Las ramas son cuadradas con ángulos redondeados, con las puntas cubiertas de vellosidades. Hojas ovadas a oblongas, sin pubescencia a lo largo de la nervadura, pecíolos 1-5 cm de largo. Inflorescencia es una panícula terminal de 5-15 cm de largo, flores tienen pequeñas brácteas triangulares a 3 mm. Las frutas contienen 35 a 40 semillas.

**Adaptación:** Se adapta bien a los de baja fertilidad, ácidos de pH a 4.5. Mejor pH de 5.5 a 7.0. Suelos moderadamente drenados a muy bien drenados. Tiene una considerable tolerancia a la sombra. Se desarrolla a una altitud de 0-2.000 msnm, a una temperatura de 16 – 30 °C, precipitaciones de 800-3.000 mm/año y no reporta enfermedades o plagas

**Usos:** Se utiliza como forraje, cerca viva y árbol de sombra. También se utiliza para proteger manantiales de agua de la degradación a través de erosión de los bancos.

**Tolerancia:** A la sombra y a suelos húmedos.

**Establecimiento:** En general, a partir de esquejes de 2.2 a 2.8 mm de diámetro, 20 cm de largo y con al menos 2 brotes, seleccionados de la parte basal de los tallos jóvenes. Producen brotes en alrededor de un mes y se pueden plantar en el campo después de unos 50 días, a 0,5 a 1,0 m de distancia y pueden ser plantados en un bloque o como un doble vallado a lo largo de las cercas.

**Manejo:** Responde bien a la aplicación de fertilizantes, especialmente nitrogenados, a pesar de estar adaptado a suelos ácidos infértiles. Se cree que fija nitrógeno en simbiosis con Rhihzobium.

**Limitaciones:** No tolera bajas temperaturas. Crecimiento pobre en estación seca.

Esta especie es nativa y se ha incluido por su valor dentro de los sistemas silvopastoriles, como alternativa para seguir siendo manejadas bajo principios de sostenibilidad

En Colombia el uso más difundido del nacedero se relaciona con el agua. Existen creencias muy arraigadas por tradición oral en campesinos sobre las bondades de este árbol para cuidar o atraer el agua, en especial en aquellos sitios donde este recurso no es abundante. Este uso parece ser el que ha tenido mayor influencia en la amplia distribución de la especie en el país, por esta razón se encuentra en sitios muy diversos a los cuales los campesinos han llevado estacas para sembrar cerca a las quebradas, nacimientos de agua, pozos y diferentes sitios de las fincas (Ríos Katto)

33. Nacedero o Quiebrabarrigo Imagen Bruce Cook

## 5.8 *Chrysopogon zizanioides* (Vetiver)

Vetiver, anteriormente clasificada como *Vetiveria zizanioides* es una planta perenne de la familia de las gramíneas, nativa de la India

**Descripción:** El vetiver puede crecer hasta 1,5 metros, sus tallos son altos, las hojas son largas, delgadas y rígidas. A diferencia de la mayoría de las gramíneas, las raíces del vetiver crecen masivamente de manera vertical y alcanzan una profundidad de hasta 4 metros. Sus semillas no son fértiles, por lo cual es una planta ecológicamente segura. El vetiver está estrechamente relacionado con otras gramíneas fragantes como el Cymbopogon (Cymbopogon citratus) y la citronella (Cymbopogon nardus).

Está siendo ampliamente usada en bioingeniería para control de erosión; fitorremediación de aguas y suelos contaminados por metales pesados, hidrocarburos, agroquímicos, y otros pululantes.

**Distribución y hábitat:** A pesar de que el vetiver es originario de la India, es ampliamente cultivado en los países de las regiones tropicales. Los mayores productores a nivel mundial son Haití, la India, Java y Reunión (Francia).

**Historia:** La medicina ayurvedica considera la raíz de vetiver amarga, refrescante, estomacal y astringente, además de un antídoto contra los venenos, y se recomienda en la sensación de escozor, fiebres biliosas, sudores, sed, úlceras y enfermedades de la sangre. Se ha empleado en perfumería como aceite esencial. Es un reputado medio para ahuyentar polillas y otros insectos. La esencia se usa en la India como linimento contra el reumatismo, por vía externa, y como carminativa y estimulante por vía interna. También en ese país acostumbran a tejer esteras y cestos con la planta, los cuales humedecidos, desprenden un agradable olor que purifica el ambiente.

También tiene una variedad importante en sus usos como lo son:

**Estabilización de taludes:** En los últimos años, se ha convertido en una herramienta confiable para la estabilización de taludes, experiencias en diversos países con climatologías y suelos distintos han comprobado su eficacia en esta materia, se considera la alternativa más moderna y ecológica para este fin.

**Tratamiento de aguas residuales:** Diversas pruebas en Asia han demostrado un alto poder descontaminante y está siendo usada en biorremediacion.

**Control de la Erosión:** Muchos aspectos del vetiver lo convierten en un excelente recurso para controlar la erosión. A diferencia de muchas gramíneas, las raíces del vetiver crecen exclusivamente de manera vertical, alcanzando hasta los 4 metros de longitud. Poseen una alta resistencia a la tensión (equivalente a 1/6 del acero blando,) esto lo convierte en un excelente estabilizador de bordes y terrazas. Cuando se siembra para formar barreras vivas, la cercanía con que crecen las macollas restringe el paso de agua, a la vez que retiene los sedimentos presentes (Ver Imagen 34).
El vetiver forma una barrera o cerco espeso y permanente, barato y fácil de establecer con un mínimo de mantenimiento; su sistema radicular es fuerte y fibroso, penetrando en el suelo hasta más de 5 metros de profundidad; no es invasora ni se convierte en maleza; es resistente al fuego, a las enfermedades, a sequías e inundaciones hasta de 45 días ; tolerante a suelos con niveles de PH entre 3.0 y 12.5; alto nivel de tolerancia a la salinidad, sodicidad, acidez y metales pesados como aluminio, arsénico, cadmio, cobre, cromo, plomo, manganeso, mercurio, níquel y zinc del suelo; crece en una gran variedad de climas, alturas entre 0 y 3600 msnm, y temperaturas entre -15° y más de 45° C. (hasta 60° C ).

El vetiver debe sembrarse en plántulas tipo vivero, con mínimo 3 meses de establecido y un buen desarrollo radicular; con el fin de obtener resultados más prontos y evitar la competencia por la luz con las gramíneas.

La resistencia a la tracción de la raíz del vetiver es de 75 Mpa., equivalente a 1/6 parte de la resistencia del acero blando del mismo diámetro, incrementando considerablemente la resistencia al cortante del suelo en la medida que desarrolla su sistema radicular. El factor de seguridad de un talud estabilizado con la tecnología vetiver, se incrementa en un 40 %.

Estas líneas longitudinales de vetiver del cuerpo del talud y de la corona protegerán de las aguas de escorrentía de las zonas aledañas, actuando sus resistentes tallos como filtros de sedimentación y disipadores de energía y sus profundas raíces de 4 a 5 metros de profundidad, como muros de contención sucesivos y perennes.

34. Rio Marinilla Antioquia (Vetiver - Ing. Uriel Salazar G.)

El Vetiver por sus múltiples cualidades puede establecerse satisfactoriamente en diferentes condiciones agroecológicas y zonas de vida, sin embargo requiere de la suplencia hídrica en el periodo seco del año para promover su desarrollo. En conclusión se puede decir que el vetiver es la especie vegetal con mayor oportunidad a ser empleada en proyectos de bioingeniería.

## 5.9 Erosión hídrica

Se denomina erosión hídrica, a aquella que se produce cuando las partículas del suelo son arrastradas por el agua lluvia. En la naturaleza este es un fenómeno muy común que provoca el nivelamiento de las montañas y la formación de mesetas, llanuras, valles y deltas. Es claro que este caso la erosión es lenta. Pero cuando el hombre con el mal manejo del suelo acelera el proceso, este ya se hace destructivo.

**Procesos de Erosión Hídrica:**

I. **Erosión Pluvial:** Se refiere a la erosión provocada por el impacto de las gotas de lluvia sobre suelos desprovistos de vegetación y los procesos de deslave debidos a su escurrimientos sobre ladera y taludes artificiales

II. **Erosión Fluvial:** La energía del flujo en un cauce natural, torrente de montaña o curso mayor de agua, produce desprendimiento y transporte de los materiales del lecho y las paredes del canal dando lugar a procesos de erosión importantes.

El viejo concepto de erosión hídrica suponía que el proceso se iniciaba siempre cuando el agua que cae no puede infiltrarse en su totalidad en el suelo y se escurre sobre su superficie con una determinada velocidad que depende de la pendiente. Hoy en día debemos modificar este concepto pues se ha establecido que la principal causa de erosión hídrica no es la pendiente, sino el impacto de las gotas de lluvia sobre el suelo desnudo.

Si se observa una pared a cuyo lado tenemos suelo desnudo, se verá que las gotas de lluvia provocan salpicaduras de lodo que ensucian la pared. Hacia el lado que no hay pared, de haber pendiente el agua arrastra las partículas salpicadas. Es decir, que la causa verdadera de la erosión es la lluvia y la pendiente el auxiliar.

Stallings compara a esto con un equipo de peones con pala que cavan y cargan la tierra. Las gotas de lluvia son los son los peones y el camión la pendiente. Los estudios realizados muestran que del suelo movido por la erosión, el 95 % lo es por el impacto de las gotas de lluvia y solo el 5 % lo es por acción del agua corriendo sobre la superficie del suelo.

La acción de la gota de lluvia sobre el suelo puede compararse a una verdadera bomba. Es decir, el primer impacto abre un hoyo, luego la gota explota y se expande hacia afuera y arriba del hoyo y levanta una cantidad de lodo que cuando el suelo es plano se extiende en todas direcciones y cuando el suelo tiene pendiente se desplaza a las partes bajas del campo.

Si el terreno es plano, remueve arcilla, limo y humus, que quedan flotando y se desplazan hacia algunas zonas más o menos bajas del campo. La erosión producida por la pendiente si bien más espectacular no es tan grave como la que produce la gota de lluvia. En efecto para que este tipo de erosión (en pendiente) se produzca es indispensable que el agua se canalice y así adquiera la fuerza suficiente para aflojar las partículas del suelo.

La erosión de las gotas de lluvia ocasiona por una parte en el suelo desnudo un cambio en su estructura superficial, es el clásico planchado del suelo después de una lluvia sobré el suelo arado y rastreado; además pierde fertilidad pues los materiales más livianos, materia orgánica, limo y arcilla son los que dan fertilidad al suelo y los que más fácilmente son levantados y luego arrastrados por la corriente.

De manera que debe quedar claro que la causa real de la erosión hídrica es el impacto de las gotas de lluvia sobre el suelo y la pendiente solo un auxiliar.

Los factores que influyen en el proceso de la erosión hídrica son:

I. **La cantidad e intensidad de la precipitación pluvial:** Si bien en general puede decirse que en las zonas de abundantes precipitaciones anuales es más común el proceso de erosión hídrica, si la lluvia se distribuye uniformemente en el año, el peligro de erosión es menor que en una zona de menor precipitación anual total pero en que las lluvias se concentran con intensidad en determinados períodos.

La intensidad o sea la forma en que cae la lluvia es muy importante; por ejemplo una lluvia de 50 mm, caída en dos horas es más perjudicial que la misma lluvia caída en el transcurso de 24 horas. Esto es debido a que en el primer caso no hay escurrimiento superficial pues el suelo tiene tiempo de absorber (percolar) el agua caída, lo que no ocurre en el otro caso.

II. **El declive y la topografía general del terreno:** Cuanto mayor es la pendiente del terreno, siendo constantes los demás factores, mayor es el grado de erosión. El grado de pendiente se expresa en por ciento. Si decimos que un campo tiene una pendiente del 5 %, ello quiere decir que la diferencia de nivel entre los puntos situados en ambos extremos del campo es de 5 m. por cada 100 de largo del campo. La diferencia de nivel se determina en el campo con un nivel de anteojo, de agua o un teodolito.

A mayor pendiente el daño es mayor por la velocidad que adquiere el agua y que le permite arrastrar más partículas, Los daños son mayores en las pendientes largas y suaves, pues en ellas el agua arrastra las partículas de una mayor superficie.

III. **El tipo de vegetación:** Es decir el tapiz vegetal es sumamente importante pues atenúa el golpe de las gotas de lluvia sobre el suelo, favoreciendo su penetración. En realidad es este el factor principal para evitar la erosión por chapoteo de la lluvia. El tipo de vegetación es muy importante y en general puede decirse que los bosques y los pastoreos son los que mejor atenúan y retienen a las gotas, de las cuales si bien solo una parte llega al suelo (60 % más o menos), esta penetra y filtra bien sin provocar las tan dañinas salpicaduras que abren el camino a la erosión. En el caso de cultivos son más convenientes los bajos como ser los forrajeros y aquellos que cubren más el suelo, por ejemplo trigo y centeno que los que se hacen en hileras distanciadas como ser el maíz, algodón o sorgo. Hay que ponerle un techo al suelo (Stallings).

IV. **La naturaleza del suelo:** En el proceso de erosión influye asimismo la textura y la estructura del suelo. En general los suelos arcillosos son más fácilmente erosionables que los arenosos. Pero si el suelo áspero al ser arcilloso, es poroso y de buena estructura, en el caso de los lateríticos, no es tan serio el peligro de erosión. A mejor estructura y mayor presencia de materia orgánica es menor el proceso de erosión.

En un suelo arenoso es menor el proceso de erosión que en un suelo compactado. Cuando el subsuelo es suelto y arenoso el proceso de erosión es más grave ya que puede profundizar mucho más.

**Forma en que se presenta la erosión hídrica:**

Se conocen tres tipos de erosión hídrica

I. **En lámina o mantiforme:** El suelo es arrastrado en forma de láminas muy delgadas y uniformes. Este tipo de erosión se presenta en suelos con poco declive y es difícil de apreciar a simple vista. A medida que el proceso avanza, la disminución de los rendimientos va acompañada por un cambio de coloración del suelo hacia tonalidades más claras. El proceso de erosión laminar evoluciona hacia el otro tipo de erosión o sea:

II. **En surcos o digital:** En el cual el suelo se va cubriendo de canales y zanjitas que generalmente adoptan la disposición de los dedos de la mano. Es el segundo paso de la erosión, en el cual el agua se encauza por vías de desagüe y en que ya arrastra partículas de suelo. Al labrarse el campo se borran estos canalículos por lo cual a veces pasan desapercibidos.

III. **Zanjiforme:** En esta fase del proceso, los canalículos digitales se transforman en zanjas con hondonadas, a veces verdaderos arroyos que pueden inutilizar un campo.

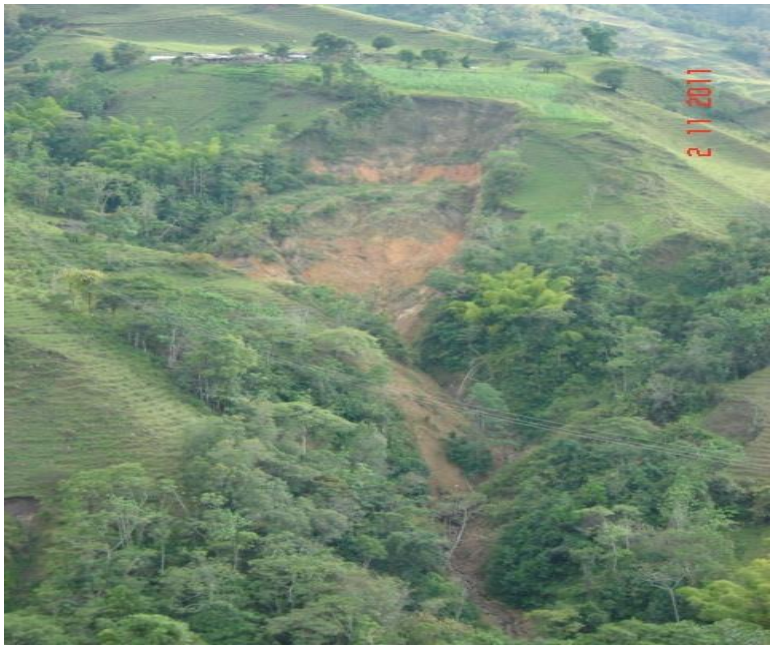
Los factores con que el hombre contribuye para que se produzca la erosión hídrica acelerada son los siguientes:

I. La deforestación irracional, que descubre totalmente el suelo cuando se incorporan nuevas tierras al cultivo.
II. La quema de rastrojos y de campos vírgenes con la destrucción consiguiente de los pastos naturales, el fuego por otra parte destruye la materia orgánica, que es el elemento primario para su cohesión como asimismo la vegetación, elemento atenuador del impacto de las gotas de lluvia, asimismo capaz de frenar la marcha del agua.

III. El sobrepastoreo, o sea la excesiva carga de animales en un campo. La hacienda destruye en este caso el tapiz vegetal, remueve el suelo y modifica la estructura de la parte superior del horizonte A.

IV. Las labranzas irracionales, Que siguen el sentido de la pendiente del campo, facilitando de tal manera el movimiento del agua y el arrastre de las partículas del suelo.

Un caso que cabe resaltar en nuestro contexto es la cuenca Guacaica, la cual presenta una combinación de factores geológicos, geomorfológicos, hidrológicos y climáticos, así como factores antrópicos que hacen que sus procesos denudativos, hidrológicos y evolución natural, sean marcados e intensos, con un detonante especial las fuertes lluvias

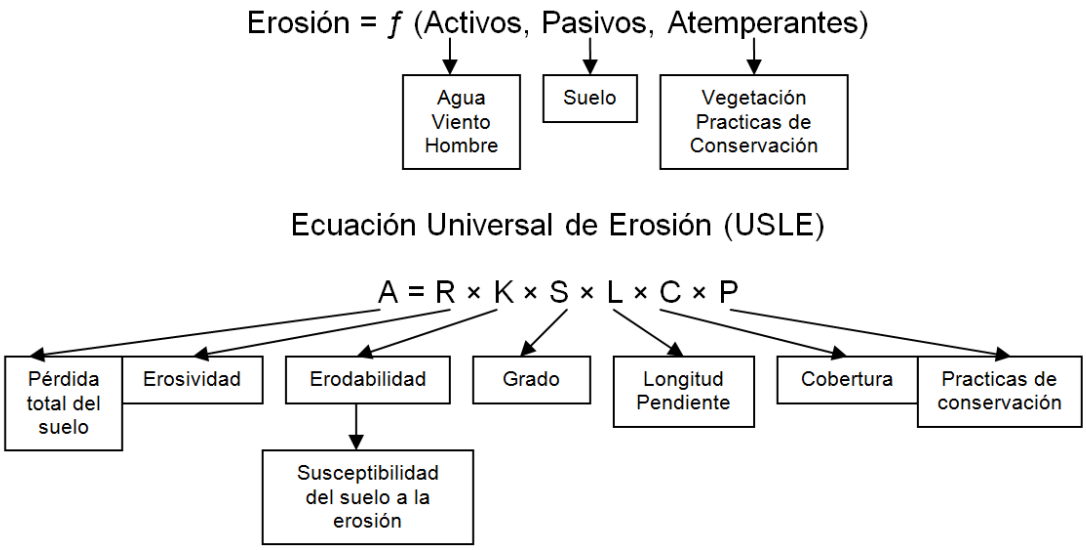



35. Movimiento en Masa. Desembocadura de la quebrada el Cus en el Río Guacaica. Foto: Andrés Felipe Ríos

En la imagen 35 podemos observar un deslizamiento de tipo planar, con una profundidad superficial, con un material de depósito de Caída Piroclástica y Complejo Quebradagrande.

### 5.10 Pérdida de suelo por erosión

La ecuación Universal de pérdida de suelo por erosión, que establecen Wischmeier y Smith (1965), permite la evaluación de las pérdidas de suelo por erosión laminar y en surcos mediante este método matemático (Ver tabla D):




D. Tabla de ecuación universal de erosión (USLE)

Dónde:

A = Pérdida de suelo en Ton ha-1

R = Es el factor Erosividad por lluvia El30: número de unidades del índice de erosión en un periodo considerado, representado por la energía cinética total del aguacero (E), Por intensidad máxima en 30 minutos, el cual mide la fuerza erosiva de un aguacero determinado, expresado en $J.m^2.cm.h^{-1}$

K = Es el factor de erodabilidad del suelo: Es valor de la erosión por unidad de índice de erosión pluvial, para un suelo determinado en barbecho continuo con una pendiente de 9% y una longitud de 22.1 m expresado en t. $m^2$.h.ha.J $^{-1}$.cm $^{-1}$.

S = Factor gradiente de la pendiente. La relación entre las pérdidas de suelo para una pendiente determinada y las pérdidas para una pendiente del 9% del mismo tipo de suelo.

L = Factor longitud de pendiente. La relación entre las pérdidas de suelo para una gradiente determinada y la pérdida para una longitud de 22.1 m del mismo tipo de suelo.

C = Factor cobertura. Relación entre las pérdidas de suelo en un término cualitativo en condiciones específicas y las pérdidas correspondientes para un suelo brechado continúo.

P = Practicas de conservación del suelo. Relación entre las pérdidas de suelo con cultivos a nivel, en fajas y en terrazas y las pérdidas correspondientes a un cultivo en surcos según la pendiente.

Según Wischmeier (1978), la USLE puede utilizarse adecuadamente para:

I. Predecir la pérdida anual de suelo en una pendiente o en un campo con condiciones específicas, para uso de la tierra determinado.
II. Servir como guía en la selección de un sistema de cultivo, manejo y de prácticas de conservación para suelos y pendientes específicos.
III. Predecir las pérdidas de suelo que resultarían por un cambio en los sistemas de cultivo o en los métodos de conservación sobre un campo específico.
IV. Determinar cómo puede afectarse o alterarse las prácticas de conservación para determinar un cultivo más intensivo.
V. Estimar las pérdidas de suelo en áreas con uso de suelo distinto del agrícola.

VI. Obtener estimación de pérdida de suelo para que los conservacionistas determinen las necesidades de conservación.

El modelo USLE ha tenido muchas modificaciones y revisiones en un proceso continuo de investigación, producto de avances científicos, al igual que por una mayor compresión de la realidad de los suelos, lo cual ha generado nombres en la ecuación cono MUSLE y RUSLE (Ostad y Foster, 1975; Renard et al, 1997).

Según Rivera (1997), el modelo tiene que tener validez universal de acuerdo con las funciones de los seis factores propuestos: sin embargo, su aplicación está limitada a estados y países donde la información está disponible para evaluaciones locales de los factores individuales de la ecuación. Los efectos naturales indicados de topografía, cobertura y variables de manejo, son probablemente universales, pero no se ha demostrado que la relación específica para L, S, C y P, derivados de los principales suelos de los Estados Unidos, sea necesariamente correcta para suelos diferentes tales como aquellos de origen volcánico.

### 5.10.1 Factor R: Erosividad de las lluvias

Es el potencial erosivo de la lluvia que afecta el proceso de erosión del suelo. La erosión por gotas de lluvia incrementa con la intensidad de la lluvia. Una suave y prolongada lluvia puede tener la misma energía total que una lluvia de corta duración y más intensa.

Cuando la energía se combina con la intensidad de la lluvia, el resultado es un buen predictor del potencial erosivo (EI: energía/intensidad). “EI” es el valor de la tormenta total por el máximo de intensidad de la tormenta en 30 minutos. El término indica como el desprendimiento de las partículas es combinado con la capacidad de transporte.

Wischmeier y Smith (1965, 1978) encontraron una ecuación de regresión, donde la energía cinética de la lluvia tempestuosa era igual a:

$$Ec = 210{,}2 + log_{10}\, l_{30}$$

Ec = energía cinética de la lluvia en J.m2.cm-1

I30 = intensidad de las lluvias en cm.h-1, o en mm.h-1

Debido a la dificultad para determinar el factor R, ya que debe calcularse la energía cinética y la intensidad de las tormentas en forma aislada y durante un número elevado de años (mínimo 10) y la falta de registros pluviograficos, diversos autores han intentado correlacionar dicho factor con parámetros más fáciles de calcular a partir de datos pluviométricos, índices de erosividad de la lluvia (Gabriels, 1995; Jordán y Bellinfante, 2000).

Entre estos el índice de Fournier IF ha sido ampliamente utilizado; los franceses lo utilizaron en sus colonias africanas tropicales con altas correlaciones al compararlo con el factor EI30 de la USLE (Gómez, 1975).

Gabriels (1997) utilizó el índice de Fournier modificado en Europa para mapas isoerosivos y Sonneveld et al. (1999) citado por Echeverri (2004), establecieron que el IFM, es un mejor estimador de la Erosividad de las lluvias que el factor R de la USLE,

Arnouldos (1980), citado por Morgon (2005), propuso una corrección del IF, en la que se consideran no solo la precipitación mensual del mes más húmedo, sino también la del resto de los meses; este índice modificado se calcula de la siguiente manera:

$$\mathrm{IFM} = \sum_{1}^{12} \frac{\mathrm{p}^2}{\mathrm{P}}$$

Dónde:

IFM = Índice Modificado de Fournier
p = Precipitación mensual (mm)
P = Precipitación anual (mm)
En la zona cafetera, determinando la erosividad de las lluvias mediante el índice de Fournier, encontró una regresión lineal con un coeficiente de determinación de 0.92 altamente significativo entre los índices de Wischmeier y Fournier. (Fedecafé, 1982)

Rivera y Gómez (1991), evaluaron la erosividad anual de las lluvias para la zona cafetera Colombiana por el método de Hudson, y encontraron valores de erosividad desde bajos a altos, entre 5.065 y 13.083 tm.mm.ha-1.año-1.

Según RAMIREZ, (2006) a partir del análisis de regresión lineal entre la precipitación promedio anual y el IFM promedio se encontró alta correlación
r =0.98 y R2 = 0.97 con un nivel de significancia del 5 %.

Esto implica que cuando no se cuente con la información detallada de la precipitación de una determinada zona, y solo se cuente con los registros pluviométricos, a partir de esta expresión matemática calculada por Ramírez (2006), es factible calcular el IFM para cada estación a partir de los registros de precipitación promedio anual.

Para hallar la Erosividad R. Ramírez (2006) encontró una correlación (r=0.84) entre el IFM promedio mensual y el EI 30 promedio mensual hallado por Rivera (1990) para 15 años. Realizo un análisis de regresión lineal, en donde el IFM explico la variación del EI30, en un 70 % (R2 = 0.70) a un nivel de significancia del 5 % y obtuvo la siguiente ecuación.

$$\mathrm{El}_{30} = \sum_{1}^{12} 38{,}4\ (\mathrm{IFM}) + \ 28{,}3$$

Dónde:

EI30 = Erosividad (Rivera 1990)
IFM = Índice de Fournier Modificado (promedio mensual).

Para los cálculos del Factor R, se promediaron las precipitaciones mensuales de 1995-2005 de las estaciones pluviométricas asociadas a la cuenca del río Claro y se obtuvo el índice modificado de Fournier (IFM), luego de obtener (IFM), se aplica la fórmula de erosividad propuesta por Rivera (1990).

### 5.10.2 Factor K: erodabilidad del suelo

Foster (1987), Lal (1988) y Nearing et al. (1989), definen la erodabilidad como una medida de la susceptibilidad del suelo al desprendimiento y transporte de sus partículas, la cual está influenciada por numerosas propiedades tales como textura, estabilidad estructural, contenido de materia orgánica, mineralogía de arcillas y constituyentes químicos.

El factor K representa el grado de resistencia natural que ofrece el suelo a ser erosionado, al actuar sobre estos los procesos erosivos, (Rivera, 1997). Este factor refleja el hecho que diferentes suelos se erosionan a diferentes tasas cuando los demás factores que afectan la erosión son los mismos (Kirby y Morgan, 1984).

La regresión establecida por Wischmeier y Smith (1965) esta expresada por la ecuación:

$$\mathrm{K} = \frac{2{,}1M^{1{,}14}(10^{-4})(12-a) + 3{,}25(b-2) + 2{,}5(c-3)}{100} \times 1{,}2928$$

Dónde:

K = índice de Erodabilidad, expresado en t. ha. Año .MJ -1.mm-1 .ha-1
M = (% de limo + % arena muy fina) (100% - % de arcilla)
a = % de materia orgánica
b = estructura del suelo de 1 a 4, de acuerdo a la siguiente clasificación

I. Granular muy fina y grumo fino (< 1mm)
II. Granular fina y grumo fino (1-2mm)
III. Granular y grumo medio (2-5mm) y granular gruesa (5-10mm)
IV. Granular lisa, prismático, columnar y muy gruesa (>10mm)

c = permeabilidad del perfil de 1 a 6 de acuerdo a la clasificación del USDA – Soil Survey Manual:

I. Rápida a muy rápida
II. Medianamente rápida
III. Moderada
IV. Moderadamente lenta
V. Lenta
VI. Muy lenta

| CODIGO | ERODABILIDAD DEL SUELO, K ($t.ha.MJ^{-1}.mm^{-1}.ha^{-1}$) | CALIFICACIÓN |
|---|---|---|
| 1 | Menor de 0,01 | Natural |
| 2 | 0,01 a 0,02 | Muy bajo |
| 3 | 0,02 a 0,04 | Bajo |
| 4 | 0,04 a 0,06 | Moderado |
| 5 | 0,06 a 0,08 | Alto |
| 6 | 0,08 a 0,10 | Muy alto |
| 7 | 0,10 a 0,15 | Severo |
| 8 | Mayor de 0,15 | Extremadamente severo |

Fuente: Rivera y Gómez (1991b)

E. Tabla para Factor K Erodabilidad del suelo

### 5.10.3 Factor L: Longitud de la pendiente

La longitud de la pendiente se define como la distancia desde el punto de origen del flujo sobre la superficie hasta el punto donde la pendiente disminuye lo suficiente para que ocurra el depósito o hasta el punto de la escorrentía llega a ser concentrado en un canal definido. (Kirby y Morgan, 1984).

Para su cálculo se utiliza la fórmula propuesta por Wischmeier y Smith (1965):

$$L = \left[\frac{ג}{22,1}\right]^{m}$$

Donde,

L = Factor de longitud de la pendiente

ג = Longitud de la pendiente

m = Exponente de la longitud de la pendiente

m. es un exponente que depende del gradiente de la pendiente.

m = 0.5 para pendientes > 5%

m = 0.4 para pendientes entre 5 y 3%

m = 0.3 para pendientes entre 3 y 1%

m = 0.2 para pendientes < 1%

### 5.10.4 Factor S: Gradiente de la pendiente

El factor de inclinación de la pendiente refleja la influencia del gradiente de la pendiente de la erosión. El potencial de la erosión se incrementa con la inclinación de la pendiente.

Para su cálculo se utilizó la ecuación:

$$S = \frac{0{,}43 + 0{,}3s + 0{,}043s^2}{6{,}613}$$

Dónde:

S: es el factor de la pendiente
s: es el grado de la pendiente en %

Este factor es importante en los estudios de erosión, por eso, la determinación de este índice está ligada a la escala de trabajo y son el reflejo directo de la erosionabilidad del suelo a medida que los índices crecen en valor. (Pérez, 2001).

Según Rivera (1997) las variables L y S pueden medirse por separado, pero es conveniente disponer de un factor único LS que represente el efecto de ambas variables en la ecuación:

$$LS = \left[\frac{\lambda}{22{,}1}\right]^m \times \frac{0{,}43 + 0{,}3s + 0{,}043s^2}{6{,}613}$$

| CLASE | VALOR LS | CALIFICACIÓN DE LS |
|---|---|---|
| 1 | Menor de 1,5 | Muy Bajo |
| 2 | 1,5 a 3,0 | Bajo |
| 3 | 3,0 a 5,0 | Moderado |
| 4 | 5,0 a 7,0 | Alto |
| 5 | Mayor de 7,0 | Muy Alto |

F. Tabla Valores de LS en la zona cafetera

### 5.10.5 Factor C: Manejos de cultivo

Este factor representa la relación de pérdida de suelo, a partir de una condición específica de cultivo o cobertera con la pérdida de suelo a partir de un estado de labranza y barbecho continuo para el mismo suelo, pendiente y precipitación anual. (Wischmeier y Smith, 1978).

Según Montenegro y Malagón (1990) la evaluación del factor C es difícil de establecer debido a los múltiples sistemas de cultivo y manejo.

| Tabla de valores cobertura vegetal (C) | |
|---|---|
| **Cultivo y practica** | **Media anual del factor ( c )** |
| **Suelo desnudo** | 1,0 |
| **Bosque o matorral denso** | 0,001 |
| **Pradera herbácea con buenas condiciones** | 0,01 |
| **Pradera sobrepastoreada** | 0,1 |
| **Pradera herbácea** | 0,01-0,025 |
| **Frutales con cobertura vegetal** | 0,01-0,8 |
| **Caña de azúcar** | 0,56 |
| **Café** | 0,01-0,30 |
| **Arbolado denso** | 0,001-0,003 |
| **Arbolado forestal clareado** | 0,041 |
| **Matorral con buena cobertura** | 0,003-0,013 |
| **Matorral ralo y eriales** | 0,20-0,013 |
| **Cultivos anuales y herbáceos** | 0,25 |
| **Pastos** | 0,15 |
| **Cubierta escasa (60%)** | 0,15-0,09 |
| **Cubierta inapreciable** | 0,45 |

G. Tabla Valores cobertera vegetal Factor C

Según Montenegro y Malagón, la evaluación del factor c es difícil de establecer debido a los múltiples sistemas de cultivos y manejo (tabla anterior).

### 5.10.6 Factor P: Practicas de conservación

Se ha considerado como una variable independiente y por lo tanto no incluido en el factor C: El factor de las prácticas de control de erosión, P es la proporción de pérdida de suelo cuando se hace uso de alguna práctica específica, en comparación con la pérdida de suelo cuando se cultiva en laderas (Montenegro y Malagón, 1990).

Las condiciones normales supuestas en la Ecuación universal de pérdida de suelo es suelo desnudo cuando se hace uso de alguna práctica específica, en comparación de la pérdida de suelo teórica en el peor de los casos. (Hudson, 1982).

## 5.11 Adecuación de áreas inundables sociedad hidráulica Zenu

La adecuación de zonas pantanosas mediante la construcción de canales y camellones artificiales, fue una respuesta adaptativa de diversos pueblos prehispánicos de la América tropical. Así aprovecharon la potencial fertilidad de los suelos y la riqueza de la fauna acuática de estas regiones. Esta fue una tecnología desarrollada desde tiempos remotos por lo menos desde el segundo milenio antes de nuestra era y heredada a través del tiempo por grupos diversos quienes la utilizaron según sus propias necesidades y desarrollo interno.

Con 500.000 hectáreas de extensión, las construcciones artificiales prehispánicas de la Depresión Momposina, en las llanuras del Caribe colombiano, conforman la mayor obra hidráulica de América. Con base en la información recogida durante doce años de investigación en el bajo rio San Jorge a través de la fotointerpretación, las excavaciones arqueológicas, el análisis de los materiales recuperados y el estudio de las fuentes documentales de la época de la conquista española se ha podido reconstruir la historia del poblamiento de la zona durante más de dos mil años, asociándolo a cambios ambientales ocurridos a través del tiempo, e identificar a distintos grupos humanos que lo ocuparon.

Así se ha podido establecer que el poblamiento de las zonas inundables del bajo San Jorge fue un proceso gradual desde antes del siglo IX a.C. hasta los siglos X – XII de nuestra era, ligado a la construcción paulatina y al continuo reacondicionamiento del sistema hidráulico.

A los inicios de una época de gran sequía de importancia continental, ocurrida entre los siglos VIII y I a.C., corresponden el canal de drenaje más antiguos detectados hasta el momento en la zona. La existencia de un sistema hidráulico de esta magnitud implica necesariamente que este poblamiento y la construcción de los primeros canales debe remontarse aún más en el tiempo. En los siglos siguientes se realizó un poblamiento progresivo de las llanuras inundables, cuando, después de un corto periodo de mayor

humedad, sobrevino una nueva época seca entre los siglos III y I a.C. A esta época de bajos niveles de inundación corresponde el asentamiento más antiguo hasta ahora investigado en el bajo San Jorge, pequeño caserío fechado en el siglo II a.C. La cerámica excavada en los depósitos arqueológicos ha permitido asociar culturalmente a estos antiguos pobladores. Pertenecientes a la tradición cerámica denominada *Granulosa Incisa,* presenta una marcada similitud con la de Momil y Ciénaga de Oro, asentamientos del bajo rio Sinú, región donde también se realizó un control hidráulico de zonas inundables, en un área de 150.000 hectáreas a lo largo del caño Aguas Prietas y sus tributarios.

Dicho sistema estaba formado por una compleja red de canales artificiales de diversas dimensiones que cumplieron distintas funciones.

Los caños principales de desagüe de la Depresión fueron los ejes del sistema de drenaje. De occidente a riente las aguas fueron controladas a lo largo del curso antiguo del rio San Jorge y de los caños Rabón y Mojana. A lo largo de estos cañones se construyeron canales perpendiculares a sus cursos, generalmente con 10 m de separación entre sí, que comienza cerca a la parte más alta de los diques naturales donde inicia su descenso gradual hacia los basines (Botero, 1985). Pueden medir desde 20 m  hasta 4 km de largo, aunque la mayoría tiene un kilómetro.

Los camellones parten elevada entre canal y canal a pesar de haber sido afectados por las actuales inundaciones, aún se conservan y en algunas zonas alcanzan un metro de altura. En los meandros, los canales artificiales se adaptan a ellos formando sistemas en abanico, como se muestra en la imagen 36

36. Canales del Zenu fotos aéreas de Sebastián Schrimpff (Foto Rudolf) 2008, (c) Banco de la República, Colombia.

## 5.12 Diseño de Canal Abierto

Un canal abierto es un conducto en el cual el agua fluye con una superficie libre. De acuerdo con su origen un canal puede ser natural o artificial.

Los canales naturales incluyen todos los cursos de agua que existen de manera natural en la Tierra, los cuales varían en tamaño desde pequeños arroyuelos en zonas montañosas hasta quebradas, arroyos, ríos pequeños y grandes y estuarios de mares. Las corrientes subterráneas que transportan agua con una superficie libre también con consideradas como canales abiertos naturales.

Las propiedades hidráulicas de un canal natural por lo general son muy irregulares. En algunos casos puede hacerse suposiciones empíricas razonablemente consientes con las observaciones y experiencias reales, de tal modo que las condiciones de flujo en estos canales se vuelven manejables mediante el tratamiento analítico de la hidráulica teórica. Un estudio completo sobre el comportamiento del flujo en canales naturales requiere el conocimiento de otros campos, como hidrología, geomorfología, transporte de sedimentos, etc. Este constituye, de hecho, un tema de estudio por sí mismo, conocido como Hidráulica fluvial.

Los canales artificiales son aquellos construidos o desarrollados mediante el esfuerzo humano: canales de navegación, canales de centrales hidroeléctricas, canales y canaletas de irrigación, cunetas de drenajes, vertederos, canales de desborde, canaletas de madera cunetas a lo largo de carreteras, etc. Así como canales de modelos construidos en el laboratorio con propósitos experimentales. Las propiedades hidráulicas de estos canales pueden ser controladas hasta un nivel deseado o diseñadas para cumplir unos requisitos determinados. La aplicación de las teorías hidráulicas a canales artificiales producirá, por tanto, resultados bastante similares a las condiciones reales y, por consiguiente, son razonablemente exactos para propósitos prácticos de diseño.

Bajo diferentes circunstancias en la práctica de ingeniería, los canales abiertos artificiales reciben diferentes nombres, como canaleta, rápida, caída, alcantarilla, túnel con flujo de superficie libre, etc. Sin embargo, estos nombres se utilizan de una manera más o menos imprecisa y solo se definen en un modelo muy general. El canal artificial por lo general es un canal largo con pendiente suave construido sobre el suelo, que puede ser no revestido o revestido con piedras, concreto, cemento, madera o materiales bituminosos. La canaleta es un canal de madera, de metal, de concreto o de mampostería, a menudo soportado en o sobre la superficie del terreno para conducir el agua a través de una depresión. La rápida es un canal que tiene altas pendientes. La caída es similar a una rápida, pero el cambio en elevación se efectúa en una distancia corta. La alcantarilla, que fluye parcialmente llena, es un canal cubierto con una longitud comparativamente corta instalado para drenar el agua a través de terraplenes de carreteras o de vías férreas. El túnel con flujo a superficie libre es un canal cubierto comparativamente largo, utilizado para conducir el agua a través de una colina o cualquier obstrucción del terreno.

37. Puente de Agua de Magdeburgo en Alemania

### 5.12.1 Geometría del canal

Un canal construido con una sección transversal invariable y una pendiente de fondo constante se conoce como canal prismático. De otra manera, el canal es no prismático; un ejemplo es un vertedero de ancho variable y alineamiento curvo. A menos que se indique específicamente.

El termino sección del canal se refiere a la sección transversal de un canal tomada en forma perpendicular a la dirección del flujo. Una sección vertical de canal, sin embargo, es la sección vertical que pasa a través del punto más bajo de la sección de canal. Para canales horizontales, por consiguiente, la sección del canal es siempre una sección vertical de canal.

Las secciones de canales naturales son, por lo general, muy irregulares, y a menudo varían desde aproximadamente una parábola hasta aproximadamente un trapecio. Para corrientes sujetas a crecientes frecuentes, el canal puede constar de una sección principal del canal que conduce los caudales normales y una o más secciones laterales de canal para acomodar los caudales de desborde.

Los canales artificiales a menudo se diseñan con secciones de figuras geométricas regulares el trapecio es la forma más común para canales con bancas en tierra sin recubrimiento, debido a que proveen las pendientes necesarias para estabilidad. El rectángulo y el triángulo son casos especiales del trapecio. Debido a que el rectángulo tiene lados verticales, por lo general se utiliza para canales construidos con materiales estables, como mampostería, roca, metal o madera. La sección triangular solo se utiliza para pequeñas acequias, cunetas a lo largo de carreteras y trabajos de laboratorio. El círculo es la sección más común para alcantarillados y alcantarillas (Culverts) de tamaño pequeño y mediano.

La parábola se utiliza como una aproximación a secciones de canales naturales de tamaños pequeños y medianos. El rectángulo con esquinas redondeadas es una modificación del rectángulo. El triángulo con fondos redondeado es una aproximación de la parábola; esta es la forma creada a menudo con la utilización de excavadoras.

Secciones geométricas cerradas diferentes del círculo se utilizan con frecuencia en alcantarillados de aguas negras, de manera particular para alcantarillas suficientemente grandes que permiten la entrada de un hombre. Estas secciones reciben diferentes nombres de acuerdo con su forma; pueden ser en forma de huevo, ovoides, semielipticas, en forma de U, catenaria, herradura, manija de canasto, etc. Los rectángulos y cuadrados completos, también son comunes en alcantarillados grandes.

Una sección geométrica especial, conocida como catenaria hidrostática o lintearia, es la forma de la sección transversal de un canal compuesto por hojas flexibles que se suponen de peso insignificante, lleno con agua hasta la parte superior de la sección y firmemente soportado en los extremos superiores de los lados pero sin efectos de fijación. La catenaria hidrostática ha sido utilizada para el diseño de algunas canaletas elevadas de irrigación. Estas canaletas se construyen utilizando laminas metálicas tan delgadas, que su peso es insignificante, las cuales unen firmemente a vigas en los extremos superiores.

38. Centro de laboratorio de hidráulica, Canal rectangular, Universidad EAFIT (Medellín)

### 5.12.2 Elementos geométricos de una sección de canal

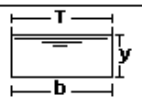
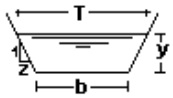
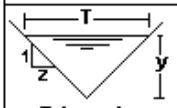
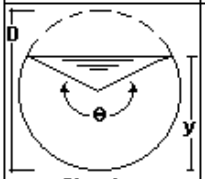
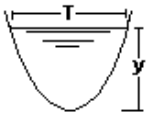
Los elementos geométricos son propiedades de una sección de canal que pueden ser definidos por completo por la geometría de la sección y la profundidad de flujo. Estos elementos son muy importantes y se utilizan con amplitud en el cálculo de flujo.

Para secciones de canal regulares y simples, los elementos geométricos pueden expresarse matemáticamente en términos de la profundidad de flujo y de otras dimensiones de la sección. Para secciones complicadas y secciones de corrientes naturales, sin embargo, no se pueden prepararse curvas que representen la relación entre estos elementos y la profundidad de flujo para uso en cálculos hidráulicos.

A continuación se dan las definiciones de varios elementos geométricos de importancia básica.

**Profundidad de flujo:** Es la distancia vertical desde el punto más bajo de una sección del canal hasta la superficie libre. A menudo este término se intercambia con la “Profundidad de flujo de sección (d)”. En efecto, la profundidad de flujo de la sección es

la profundidad de flujo perpendicular a la dirección de este, o la altura de la sección del canal que contiene el agua. Para un canal con un ángulo de pendiente longitudinal Ɵ, puede verse que la profundidad de flujo es igual a la profundidad de sección de flujo dividida por cos Ɵ. En el caso de canales empinados, por consiguiente, los dos términos deben utilizarse de manera discriminada.

| Sección | Area hidráulica A | Perímetro mojado P | Radio hidráulico R | Espejo de agua T |
|---|---|---|---|---|
|  Rectangular | $by$ | $b+2y$ | $\frac{by}{b+2y}$ | $b$ |
|  Trapezoidal | $(b+zy)y$ | $b+2y\sqrt{1+z^2}$ | $\frac{(b+zy)y}{b+2y\sqrt{1+z^2}}$ | $b+2zy$ |
|  Triangular | $zy^2$ | $2y\sqrt{1+z^2}$ | $\frac{zy}{2\sqrt{1+z^2}}$ | $2zy$ |
|  Circular | $\frac{(\theta-\text{sen}\theta)D^2}{8}$ | $\frac{\theta D}{2}$ | $(1-\frac{\text{sen}\,\theta}{\theta})\frac{D}{4}$ | $(\text{sen}\frac{\theta}{2})D$ ó $2\sqrt{y(D-y)}$ |
|  Parabólica | $2/3\ Ty$ | $T+\frac{8y^2}{3T}$ | $\frac{2T^2y}{3T+8y^2}$ | $\frac{3A}{2y}$ |

39. Elementos geométricos de secciones del canal, Hidráulica de los canales abiertos Ven Te Chow

**Altura de carga:** Es la diferencia de cotas entre el fondo del canal de aproximación y la cresta, medida agua arriba y junto al vertedero.

**Carga hidráulica:** Es la altura alcanzada por el agua, la cual se considera desde la cota de la cresta del vertedero.

**Coeficiente de descarga:** Es la relación entre el caudal medido y el caudal calculado teóricamente.

**Talud “z”:** Es la relación de la proyección horizontal a la vertical de la pared lateral. Es decir z es el valor de la proyección horizontal cuando la vertical es 1.

**Tirante de agua o profundidad del flujo “y”:** Es la distancia vertical desde el punto más bajo de una sección del canal hasta la superficie libre del agua.

**Ancho superficial o espejo de agua “T”:** Es el ancho de la superficie libre del agua.

### 5.12.3 Tipos de flujos en canales abiertos

Se dice que el flujo en canales libres es paralelo y que tiene una distribución de velocidades uniforme y que la pendiente del canal es pequeña. En este caso la superficie de agua es la línea de gradiente hidráulico, y la profundidad del agua corresponde a la altura piezométrica.

**Flujo permanente:** Tiempo con criterio. Se dice que el flujo es permanente si la profundidad de flujo no cambia o puede suponerse constante durante el intervalo de tiempo en consideración.

**Flujo no permanente:** El flujo no permanente si la profundidad cambia con el tiempo. En la mayor parte de los problemas de canales abiertos es necesario estudiar el comportamiento del flujo solo bajo condiciones permanentes. Sin embargo, si el cambio en la condición del flujo con respecto al tiempo es importante, el flujo debe tratarse como no permanente.

**Flujo uniforme:** Espacio como criterio: Se dice que el flujo es uniforme si la profundidad de flujo es la misma en cada sección del canal, el flujo uniforme puede ser permanente cuando, la profundidad del flujo no cambia durante el intervalo de tiempo, y puede ser flujo no permanente cuando la superficie del agua fluctuara de un tiempo.

**Flujo no uniforme:** Es aquel en el cual las características hidráulicas cambian entre dos secciones

**Flujo variado:** El flujo es variado si la profundidad de flujo cambia a lo largo del canal. El flujo variado puede clasificarse además como rápidamente variado o gradualmente variado. Un flujo rápidamente variado si la profundidad del agua cambia de manera abrupta en distancias comparativamente cortas, de otro modo, es gradualmente variado.

### 5.12.4 Estado de flujo

El estado o comportamiento del flujo en canales abiertos está gobernado básicamente por los efectos de viscosidad y gravedad en relación con las fuerzas inerciales del flujo.

**Efecto de viscosidad**: Dependiendo de la magnitud de la proporción de las fuerzas de inercia sobre las fuerzas de viscosidad (número de Reynolds). El estado de flujo puede clasificarse como:

I. **Flujo es laminar** si las fuerzas viscosas son muy fuertes en relación con las fuerzas inerciales.

$$Re \leq 500$$

II. **Flujo es turbulento** si las fuerzas viscosas son débiles en relación con las fuerzas inerciales.

$$12500 \leq Re$$

III. Entre los estados de flujo laminar y turbulento existe un estado **mixto o transicional.**

$$500 \leq Re \leq 12500$$

### 5.12.5 Vertedero Hidráulico

Es un dispositivo utilizado para controlar y medir pequeños caudales de líquidos en canales abiertos. Consta básicamente de un corte de forma y acabado geométricamente bien definidos, practicando en una plancha resistente, por la cual escurre el líquido, manteniendo la superficie libre. Los vertederos pueden clasificarse de la siguiente manera:

Según la altura de la lámina de fluido aguas abajo, en:

I. Vertederos de lámina libre si $z' < zo$
II. Vertederos sumergidos si $z' > zo$.

Según el espesor de la cresta o pared, en:

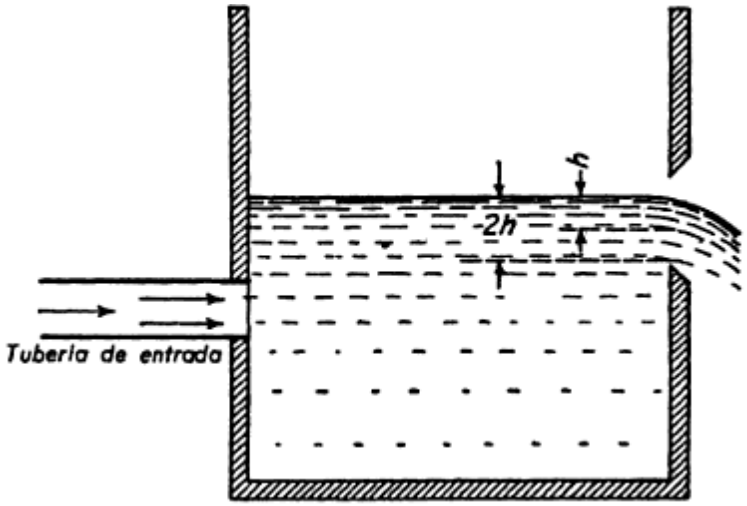
I. Vertederos de cresta afilada
II. Vertederos de cresta ancha.

Los vertederos de cresta delgada sirven para medir caudales con gran precisión, mientras que los vertederos de cresta ancha desaguan un caudal mayor y sirven para el control del nivel como parte de una presa o de otra estructura hidráulica. Dichos vertederos se clasifican según la forma de la abertura en:

I. Rectangulares
II. Trapezoidales
III. Triangulares

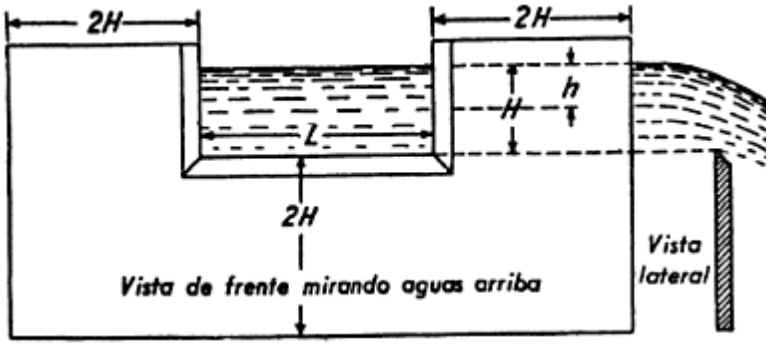
### 5.12.6 Flujo a través de un vertedero

Suponiendo que aumente la altura del orificio y el nivel del agua disminuya hasta quedar por debajo de su borde superior, la altura del líquido que produce la velocidad de salida correspondiente es, como se ve en la imagen 40



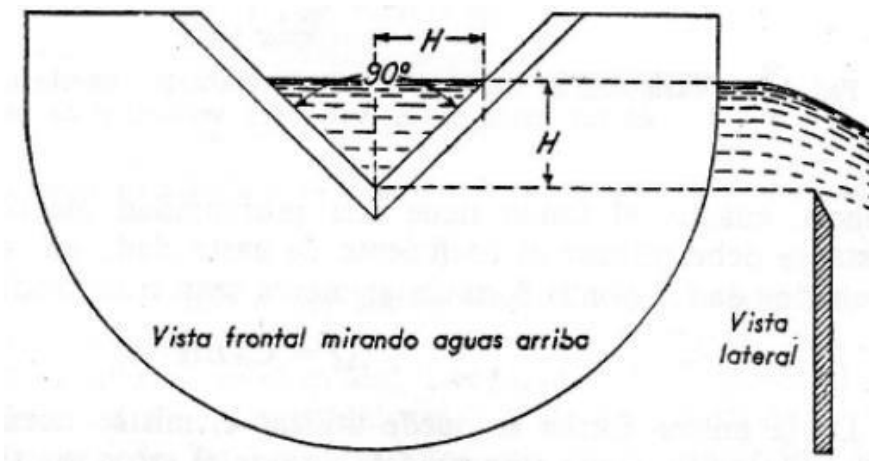

40. Descarga a través de un vertedero (Israelsen Hansen)

**Vertedero Rectangular con contracción**




41. Vertedero Rectangular con contracción (Israelsen Hansen)

**Vertedero triangular de 90°**




42. Vertedero triangular de 90°
(Israelsen Hansen)

**Normas generales para la colocación de vertederos**

I. El vertedero debe colocarse en el extremo inferior de un embalse lo suficientemente ancho y profundo como para introducir una corriente continua y suave con una velocidad inferior a 0.15 m/s.

II. La cresta del vertedero debe quedar perfectamente horizontal, de forma que la lámina de agua tenga el mismo espesor en toda su anchura y toque a la cresta en una sola línea de puntos.

III. La distancia de la cresta al fondo del embalse ha de ser inferior al triple del espesor de la lámina de agua que rebosa por ella.

IV. La distancia desde las paredes del embalse de remanso a los extremos de la cresta deberá ser superior o igual a dos veces el espesor de la lámina de agua.

V. Para aforos exactos se ha de procurar que el espesor del agua sobre la cresta no sea superior a un tercio de la longitud de ésta.

VI. La profundidad del agua sobre la cresta no debe ser inferior a 5cm, puesto que si esta fuera menor resultaría muy difícil alcanzar resultados precisos con la regleta.

VII. La cresta debe estar a la altura tal que el agua caiga libremente dejando un espacio de aire por debajo de la lámina de agua rebosante.

VIII. La regleta debe ser colocado en la cara aguas arriba de la estructura del vertedero, a suficiente distancia hacia un lado para que se encuentre en agua tranquilas. El cero de la regla del vertedero o de la regleta debe enrasarse con la cresta del vertedero.

## 6. Entorno Ambiental

La situación geográfica de Colombia en la esquina noroccidental de sur América, bañada por dos mares y conformada por la mitad de su territorio por agrestes montañas, a la vez que envidiable por sus inagotables riquezas naturales y su exuberante belleza, determina una ubicación muy sensible a las amenazas naturales.

Su localización en la región circunpacifica y dentro de la zona intertropical, determina un complejo de condiciones naturales caracterizado por una intensa actividad tectónica y severos regímenes climáticos. Como consecuencia su porción andina, en la cual se asienta la mayor parte de la población, es muy vulnerable a los deslizamientos y otros procesos denudativos, dada la intensa deformación y alto grado de fracturamiento de las rocas, el desarrollo de regolitos espesos, inconsolidados y húmedos, sometidos al influjo de las lluvias tropicales y la constante amenaza sísmica y volcánica.

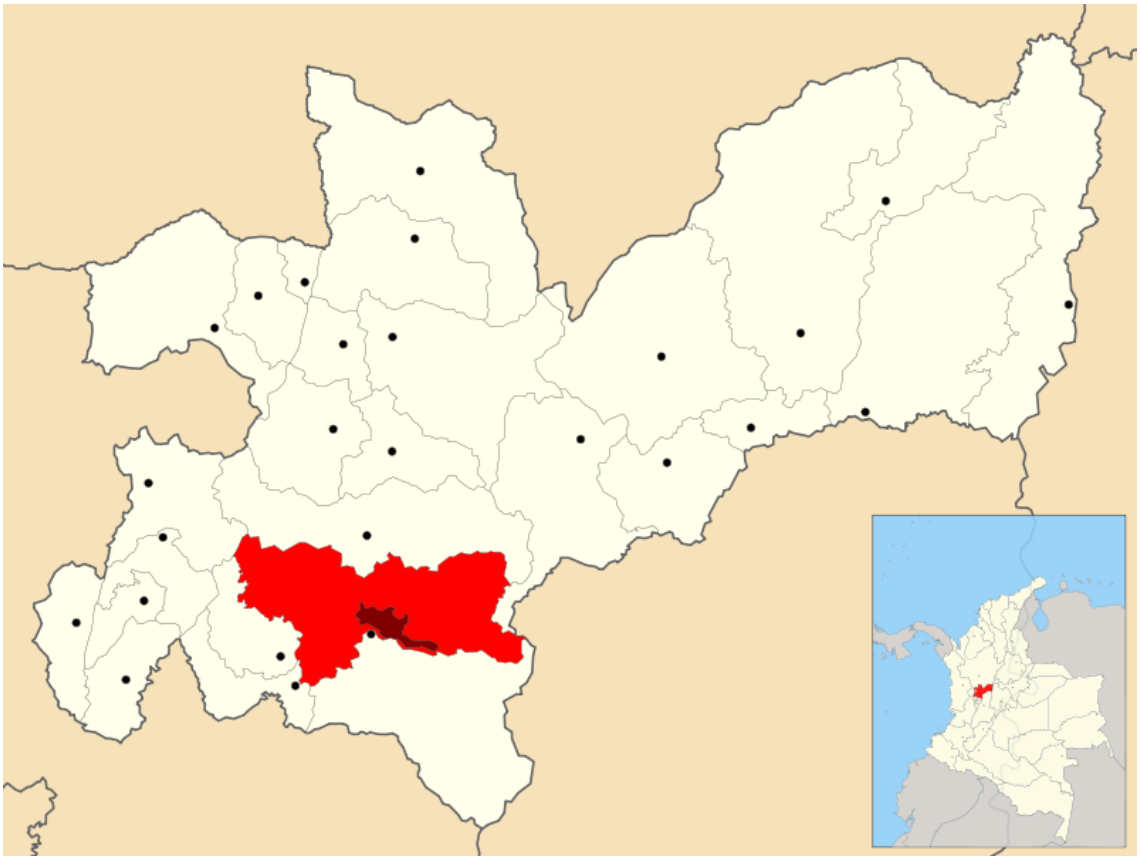
Estas características hacen de Colombia un formidable escenario para el estudio y compresión de este tipo de procesos de erosión muy frecuentes también en el resto de países montañosos de América Latina.

Manizales, ciudad con una gran variedad de zonas de vida dentro de su territorio, que van desde el bosque húmedo premontano, transición a cálido seco hasta el Bosque Pluvial montano, posee además un mosaico de zonas expuestas a la ocurrencia de fenómenos naturales, así como condiciones cambiantes en el clima, y características del suelo. La localización de la ciudad a una altitud promedio de 2150 metros sobre el nivel del mar en el flanco occidental de la Cordillera Central, a lo que se asocia la intensa actividad sísmica y volcánica, han dado unas características de poca compactación y fácil movilidad a los suelos.

El clima ecuatorial de montaña al que está sometida la ciudad, de tipo bimodal con una precipitación promedio anual de 2223 milímetros. Genera precipitaciones con muy fuerte poder erosivo que generalmente desencadenan en movimientos en masa.

Las condiciones topográficas de la ciudad y la evolución en el proceso de desarrollo urbano, hacen de Manizales un importante laboratorio de estudio en lo que tiene que ver con temas relacionados con movimientos en masa.

Manizales, está localizada en el flanco occidental de la cordillera Central (Ver imagen 43), que hace parte del sistema de montañas andinas de Colombia, cuyo origen es el resultado de varios períodos de sedimentación, plutonismo y tectonismo, relacionado a la convergencia de la placa Nazca en el oeste, la placa Suramericana en el este y la placa Caribe en el norte. (González et al., 1988).



43. Ubicación de Manizales en el mapa de Colombia

## 6.1 Geología

La historia geológica de Colombia cubre un registro de aproximadamente 1800 millones de años del precambriano al cenozoico. La subducción de la placa de nazca por debajo de la placa americana a lo largo del océano pacifico y el roce de estas dos placas en el norte, con la placa de cocos, han contribuido, tanto a la arquitectura dominante las montañas, valles y llanuras del país, como a configurar un patrón tectónico y volcánico muy activo, que se refleja en la intensa deformación y severo fracturamiento de las rocas y la constante amenaza por sismos y erupciones, algunas veces catastróficos.

En Manizales desde el punto de vista geológico las rocas más antiguas que afloran en la cordillera Central son esquistos metamórficos y gneis intrusivos del paleozoico (Irving, 1971). El metamorfismo de estas rocas es el resultado de movimientos tectónicos en la era paleozoica.

En el Jurásico y Cretáceo inferior varios stocks y batolitos intruyeron las rocas paleozoicas (Barrero et al., 1969; Mosquera 1978; Aspden et al., 1987). Después en el cretáceo una zona de subducción con orientación N-S se localizó en el actual valle de Cauca (30 km al Oeste de Manizales) qué llevó a la formación de ofiolitas, rocas meta-sedimentarias y volcánicas. Botero (1963) introduce el nombre de Formación Quebradagrande a estas rocas meta-sedimentarias y volcánicas.

En la Formación Quebradagrande pueden diferenciarse las siguientes rocas (Ver imagen 44): lutita negra, gris y amarilla, arenisca, grauvaca, chert, diabasa y basalto (Chacón y Orozco, 1989; Naranjo y Ríos, 1989; Echavarría et al., 1991). En Manizales y sus alrededores las rocas de la Formación Quebradagrande constituyen el basamento en que se han depositado las rocas sedimentarias de edad Terciaria y Cuaternaria.

44. Afloramiento del miembro sedimentario del Complejo Quebradagrande (Lodolitas negras), hacia la cabecera de la Quebrada denominada Antenas de Caracol. (CORPOCALDAS)

El levantamiento tectónico de la Cordillera Central ocurrió en un período que va por lo menos del Oligoceno al presente (Kroonenberg et al., 1990). Al final del Oligoceno tuvo su inicio la actividad volcánica en la Cordillera Central (Van Houten, 1976). Inicialmente se trató de volcanismo extrusivo que produjo flujos de lava andesitica que fluyeron en la parte superior de la Cordillera Central (hoy en día se encuentran aproximadamente a 3000 metros de altura). En el Mioceno tardío el volcanismo cambió de extrusivo a explosivo debido a una reestructuración del régimen de expansión en el océano Pacífico oriental (Naranjo y Ríos, 1989; Van Houten, 1976).

El volcanismo explosivo produjo grandes cantidades de sedimentos que se transportaron principalmente como flujos de escombros y sedimentos a través de los valles existentes. En Manizales los flujos se depositaron discordantemente sobre el basamento de la Formación Quebradagrande. Flórez (1986) da el nombre de Formación Manizales a estas rocas sedimentarias. Las rocas de la Formación Manizales poseen una matriz ligeramente litificada y conglomerados bloque

soportados. El espesor máximo de la formación de Manizales es 260 metros (Naranjo y Ríos, 1989).

En el Plioceno Temprano comenzó un nuevo período de actividad tectónica que llevó al fallamiento de la Formación Manizales. Esto renovada actividad tectónica fue seguida por una nueva fase de volcanismo explosivo en el Plioceno Superior (Thouret, 1989). En este período se formaron los depósitos fluvio-volcánicos y aluviales de Formación Casabianca (Borrero y Naranjo, 1990). Los depósitos de la Formación Casabianca son altamente meteorizados. El espesor de la Formación Casabianca se estima a 50 metros en el área de Manizales. La edad de la Formación Casabianca va desde el Plioceno Superior hasta el Pleistoceno (Borrero y Naranjo, 1990).

Las intrusiones del domo andesítico basáltico de Tesorito y el domo basáltico de Sancancio a lo largo de la falla Manizales-Termales también son el resultado de la renovada actividad tectónica en el Plioceno Superior y Pleistoceno (Thouret et al., 1985). El último episodio del volcanismo explosivo es responsable de la depositación de grandes cantidades de depósitos de caída piroclástica (también llamados depósitos de tefra o depósitos de ceniza).

Los depósitos de caída piroclástica cubren las unidades litológicas subyacentes como una capa, suavizando la topografía original que todavía se refleja en la topografía presente. El espesor de los depósitos de caída piroclástica disminuye a medida que la distancia al complejo volcánico que los originó aumenta. Alrededor de Manizales el promedio de espesor varía entre 10 y 15 metros. Los depósitos piroclásticos constituyen un número grande de capas que varían en el espesor entre 10 y 100 centímetros con diferentes distribuciones del tamaño de grano. No existe ningún estudio detallado en la edad de las cenizas que permita definir una edad aproximada.

Los depósitos más jóvenes en Manizales son los depósitos coluviales y aluviales de edad Cuaternaria. Los depósitos Coluviales se encuentran en zonas de falla y sectores afectados por movimientos de masa. Los depósitos aluviales se encuentran a lo largo de las corrientes principales.

Este mosaico geológico que tiene lugar en la ciudad de Manizales y sus alrededores, contribuye de manera notable a la formación de fenómenos de remoción en masa, principalmente en aquellos sectores con fuertes pendientes; estas características unidas a la escena climatológica, constituyen un importante caldo de cultivo para la ocurrencia movimientos en masa.

## 6.2 Clima

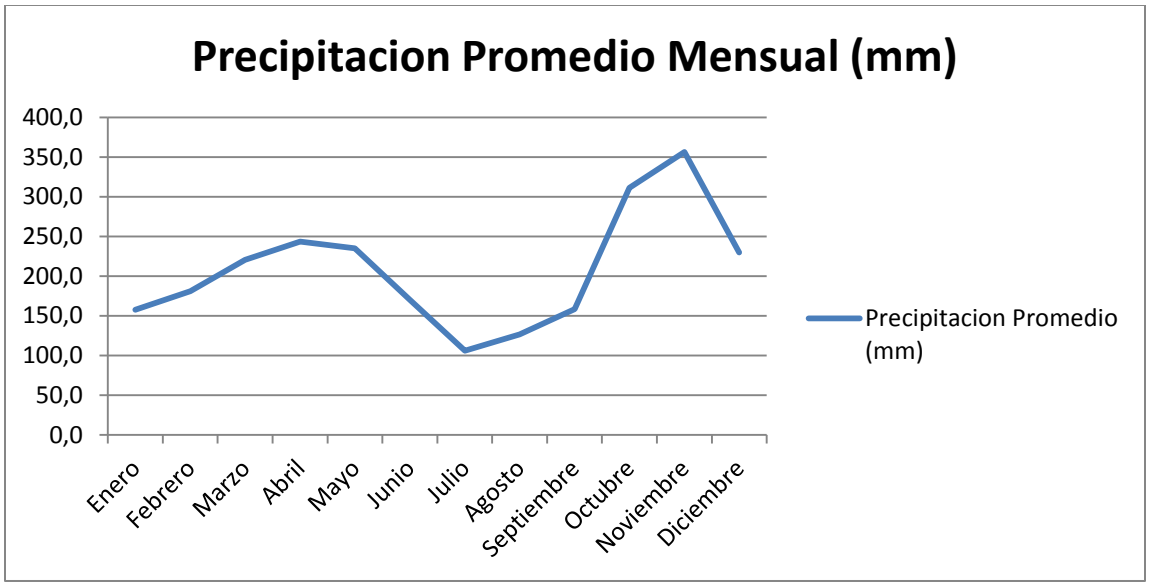
La influencia de los vientos alisios de noreste y sudeste, provenientes de zonas de altas presiones subtropicales del norte y del sur cuyo enfrentamiento origina una faja de bajas presiones, vientos ascendentes, conocida como cinturón de convergencia intertropical (CIT).

El paso del viento dentro del CIT produce tiempo lluvioso y su ausencia tiempo seco. La faja se desplaza latitudinalmente entre los dos trópicos, dependiendo del movimiento del sol sobre la elíptica, el sol en el territorio Colombiano alcanza su posición más septentrional en los meses de julio y agosto y la más austral en febrero, además de que cruza dos veces sobre el mismo sitio. Cuando va hacia el norte, provoca el primer periodo lluvioso y cuando se desplaza hacia el sur el segundo.

El régimen bimodal se presenta principalmente en flancos interiores de las cordilleras, como ilustración se presenta el caso de Manizales en flanco occidental de la cordillera central, con dos periodos lluviosos abril – mayo y octubre – noviembre, en los cuales se concentran más del 64 % de las lluvias

| Mes | Precipitación Promedio (mm) |
|---|---|
| **Enero** | 157,6 |
| **Febrero** | 181,0 |
| **Marzo** | 220,7 |
| **Abril** | 243,5 |
| **Mayo** | 235,0 |
| **Junio** | 169,9 |
| **Julio** | 106,1 |
| **Agosto** | 126,6 |
| **Septiembre** | 158,4 |
| **Octubre** | 311,1 |
| **Noviembre** | 356,4 |
| **Diciembre** | 229,6 |

Estos datos son extraídos de la estación meteorológica de la estación Ingeominas y Alcázares (Periodo enero 2004 a diciembre 2014). IDEA Manizales




H. Grafica promedio mensual de pluviosidad de 2004 al 2014 en la zona Nor –Occidental de Manizales

A lo largo de la historia climatológica de Manizales, la estación de Agronomía, que registra información desde el año 1957, localizada en la sede del programa universitario en la Universidad de Caldas, se constituye en la principal fuente de información para este tipo de investigaciones.

Un análisis de datos de lluvia de la estación de Agronomía con datos de lluvia otras estaciones meteorológicas en Manizales, pone de manifiesto la alta variación espacial que se da en la ciudad; así mismo un análisis detallado de lluvia anual promedio muestra que en general las laderas reciben más lluvia que las zonas planas (Terlien, 1996). La lluvia anual promedio más alta medida en Manizales es 2662 mm (Terlien, 1996), la lluvia anual promedio más baja es 1581 mm (La Rotta, 1991).

Las observaciones de lluvia del período 1970-1990 de la Estación Agronomía fueron usadas para construir curvas Intensidad-duración-frecuencia (curvas IDF) y curvas que muestran la distribución de intensidad de las precipitaciones (La Rotta, 1991), con los siguientes resultados (Terlien, 1996):

I. La mayoría de las precipitaciones en Manizales tiene una intensidad entre 10 y 40 mm/hora y no duran más de una hora.
II. El período del retorno de precipitaciones de 60 mm con una intensidad de 30 mm/ hora es un año.
III. El período del retorno de precipitaciones de 60 mm con una intensidad superior de 90 mm/hora es 50 años.

En lo que tiene que ver con el uso inadecuado del suelo, vale la pena destacar como gran parte de la vegetación que rodeó a Manizales fue el bosque subandino, sin embargo al iniciarse el proceso de crecimiento y desarrollo urbano a principios del siglo XX tiene lugar una marcada deforestación como consecuencia de la presión por el crecimiento de la población; (según Royos y Gómez 1943) la deforestación inició y reactivó un número grande de deslizamientos en Manizales y sus alrededores.

En la actualidad el uso del suelo alrededor de la zona urbana de Manizales, está dado en primer lugar por pasto para la cría de ganado; seguido de café; bosque y rastrojo; sector construido, suelo erial y cuerpos de agua; otros cultivos entre los que se incluyen cultivos transitorios como maíz, fríjol y papa, y permanentes como frutales; además de guadua nativa. En los últimos años se ha dado un creciente auge en la regeneración del bosque subandino principalmente en zonas denominadas unidades protectoras y de conservación del medio ambiente (CORPOCALDAS, 2002) a través de la protección de bosques naturales e intervenidos, con el objeto de crear zonas de reserva de agua.

## 6.3 Sitio de estudio Ecoparque Alcázares Arenillo

**Descripción general:** El Ecoparque los Alcázares Arenillo se ubica en la zona de vida premontana del municipio, es un fragmento de bosque aislado, es propiedad del municipio de Manizales y fue declarado en 1995 como área de interés ambiental. Su extensión es de 36 Hectáreas.

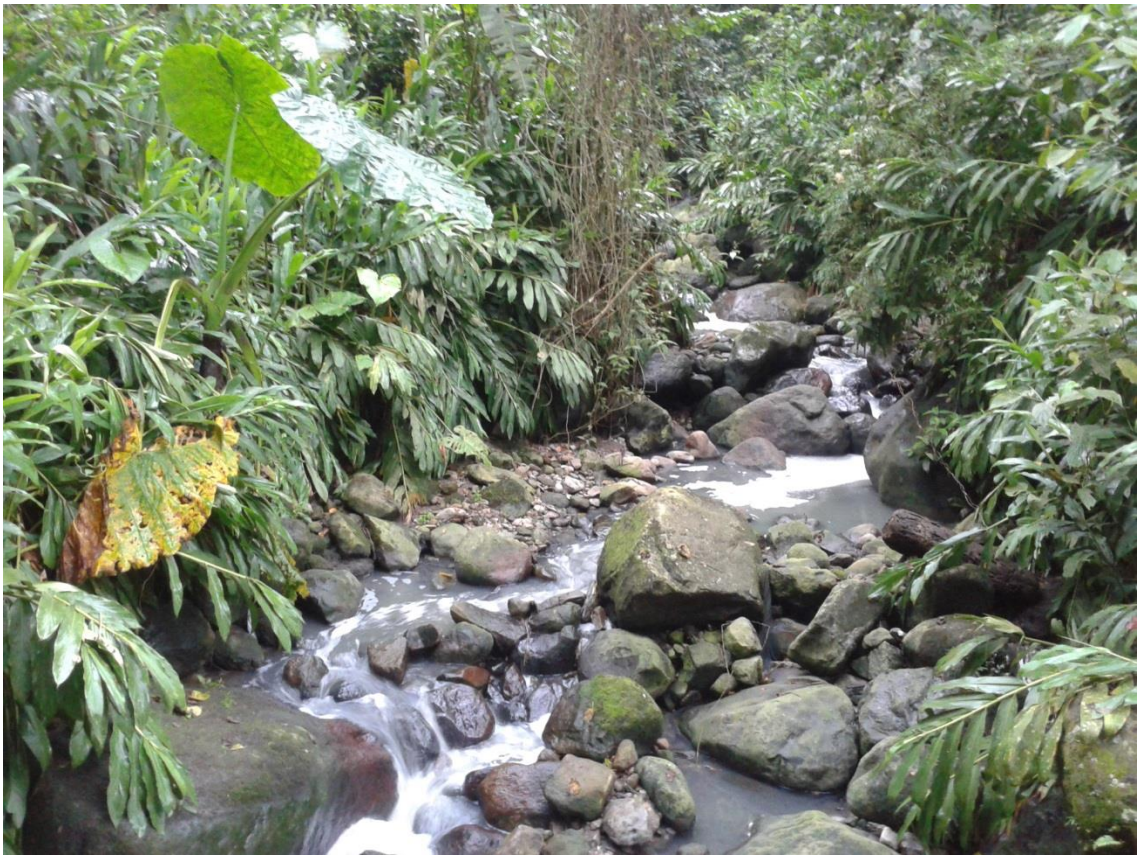
45. Punto de intervención Ecoparque Alcázares

El clima es subtropical húmedo, con una temperatura media de 15 grados centígrados; sobre el perímetro oriental del eco parqué se tiene una alta intervención antrópica, la cual está dada por la existencia de las vías y viviendas de los barrios Los Alcázares y de acceso a la finca el Nudo; sobre el resto del perímetro del ecoparqué, la influencia antrópica es mínima, debido a que existe un cerramiento en alambre de púas (sector sur y oriental) y en malla, sector norte, límite con la viviendas del barrio la Francia.

La cobertura vegetal del ecoparqué, es en general boscosa, compuesta principalmente de especies tales como: Uparán, Yarumo, Sauce, Drago, Camargo, Guadua, Cheflera, Eucalipto, Helecho Arbóreo, Bambú y Manzanillo (Ver Imagen 46). En los alrededores de la zona de interés, predomina el uso agrícola, representado en cultivos de yuca, plátano, tomate, café, cebolla y fríjol; igualmente es notorio, pero en menor proporción el uso pecuario en el sector de la finca la Aurora, sobre el límite occidental de la zona.

46. Biodiversidad Faunística de la Zona

El principal drenaje de la zona de estudio corresponde a la Quebrada La Francia (Ver imagen 47), que cruza la zona del ecoparque en el sentido predominante, nace en el extremo nororiental parque, ésta, recoge a lo largo de su recorrido además de las aguas naturales de escorrentía, aguas residuales de los barrios Alcázares y la Francia, las que son vertidas por cortas conducciones hacia cauces menores, sin identificar en la nomenclatura cartográfica, lo que origina la profundización de dichos cauces y la emisión de olores característicos al área circundante.



47. Quebrada La Francia

**Descripción turística**

**Sitio natural:** Montaña – Bosque húmedo Premontano Bajo

**Clasificación:** Ecoparque

**Nombre del Predio:** Alcázares – Arenillo

**Acciones y actividades ecoturísticas que se pueden desarrollar en el sitio:**

I. Fotografía de fauna y flora silvestre
II. Observación paisajística
III. Caminatas y senderismo
IV. Estudios botánicos
V. Excursionismo
VI. Campismo
VII. Interpretación ambiental, desarrollo de programas de ecología y educación ambiental
VIII. Otras actividades: culturales, deportivas, turismo de aventura

48. Lugar de estudio de fauna y flora silvestre

49. Zona de Excursionismo y Campismo

**Sitios de observación paisajística:**

**Miradores:** Torre mirador en estructura de guadua que se ubica en la entrada, Plaza de la tierra y el aire. (Ver imagen 50)

Avistamiento de aves: es uno de los sitios donde hay una buena población de aves para observar

50. Torre mirador en guadua

**Interpretación ambiental**

Tipos de senderos existentes en el Ecoparque:

I. Interpretativo con guía
II. Trocha
III. Camino normal
IV. Sendero peatonal
V. Sendero para bicicleta
VI. Puentes: si (existen 2 pequeños puentes en madera, no están en buen estado, pero se utilizan para cruzar algunos tramos de la quebrada la Francia. (Ver Imagen 51)

Condiciones del terreno del sendero:

I. Destapado: si - En tierra: si - Empedrado: no - Adoquinado: si Pavimentado: no En madera, troncos o guadua: si Gramado: si Gravilla: no Arena: no

Señalización: la señalización que existe dentro del ecoparque corresponde a la identificación de las especies de flora con su nombre común, científico y familia pero esta se encuentra muy deteriorada, como también falta señalización más específica para orientar al visitante y educarlo; Ejemplo: flechas, nombre de sitios dentro del ecoparque los cuales también están muy deteriorados, mensajes ambientales, fauna y flora especies más representativas).

51. Puente existente en madera utilizado para cruzar la quebrada la Francia.

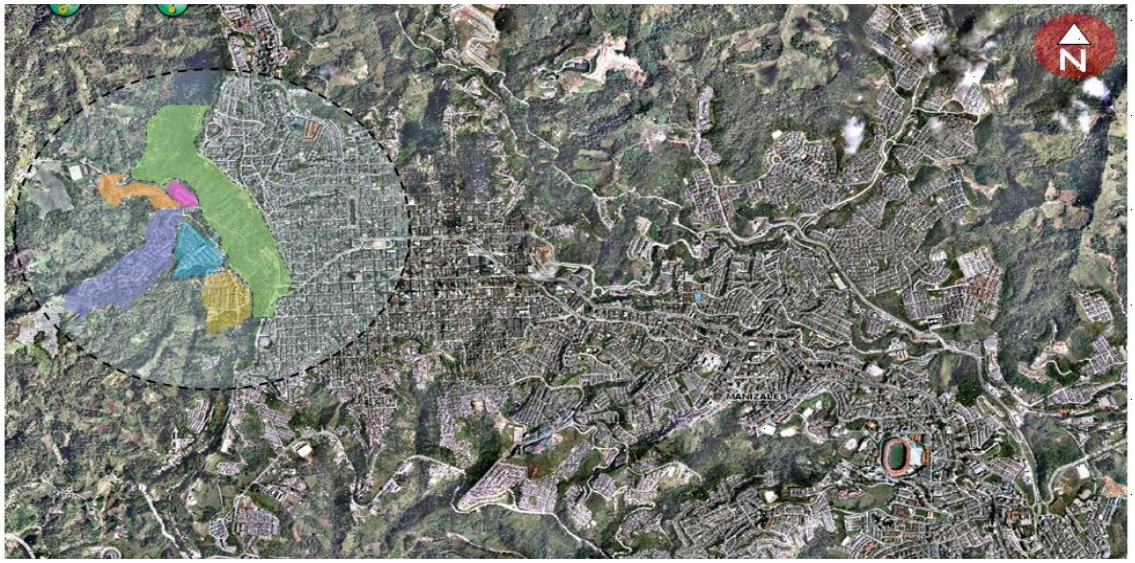
**Tipos de cuerpos de agua:**

I. Quebradas: si
II. Humedales: si
III. Turberas: si
IV. Saltos de agua: si (pequeños)

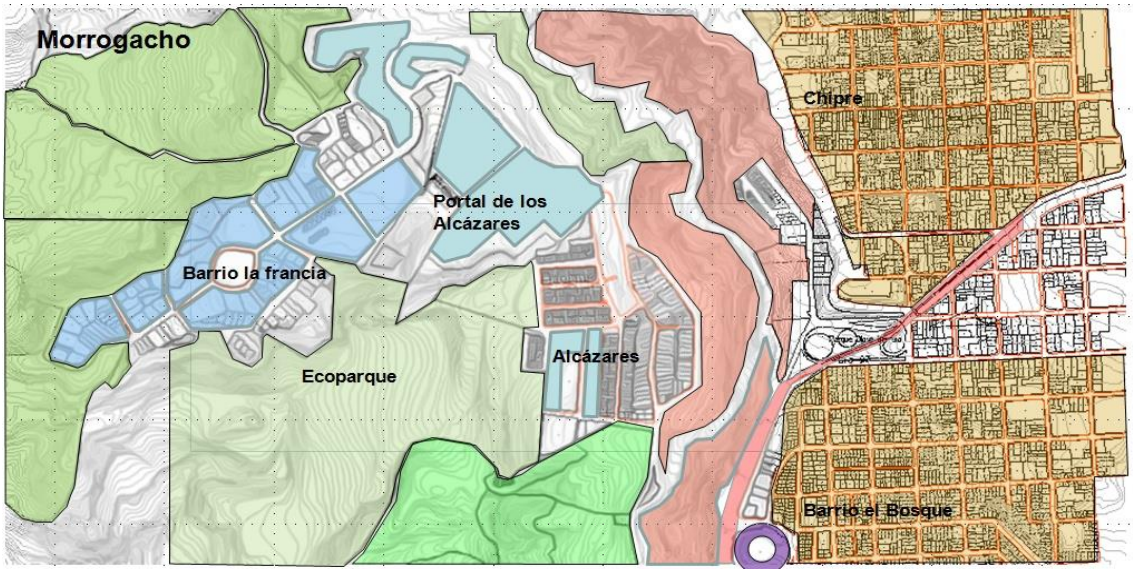
**Descripción de los cuerpos de agua principal**: En el Ecoparque los Alcázares se encuentra una pequeña quebrada denominada “la Francia” con un foco de contaminación alto por el vertimiento de aguas servidas. También se encuentra un pequeño humedal en su mayoría seco por problemas erosivos y de contaminación, este se ubica en la parte baja cerca de la cabaña en el sendero que conduce al barrio la Francia.

I. Calidad del agua (color, olor, temperatura, transparencia): El agua de la quebrada la Francia se presenta opaca, con espuma, sin transparencia, con olores fétidos por sedimentación y demás residuos que son arrojados a esta.

**Localización del Ecoparque**

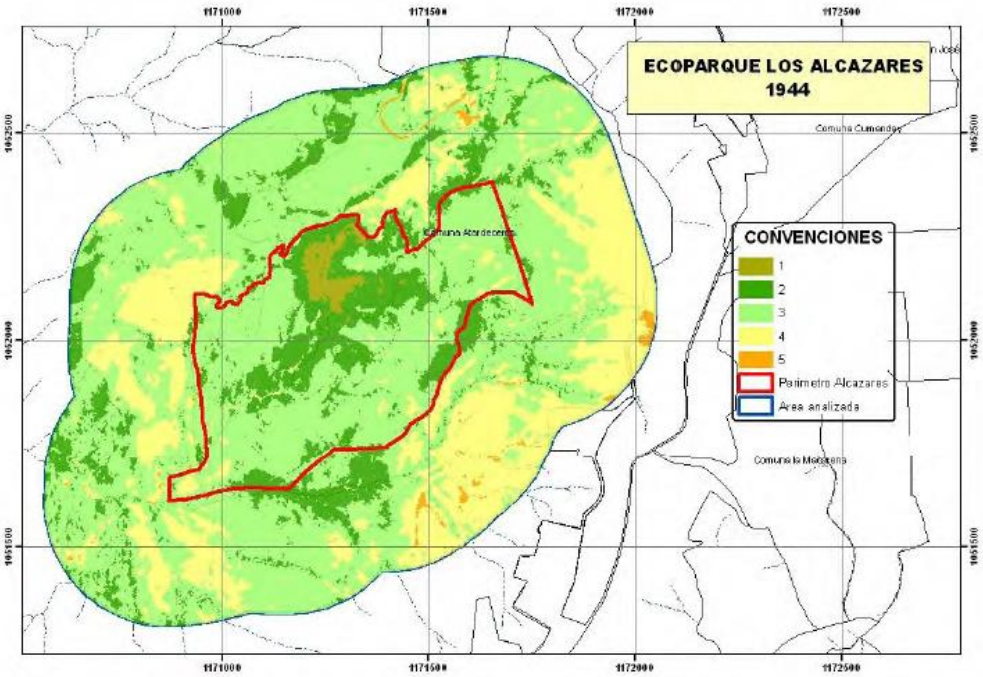



52. Ortofotomapa de Manizales (IGAC)



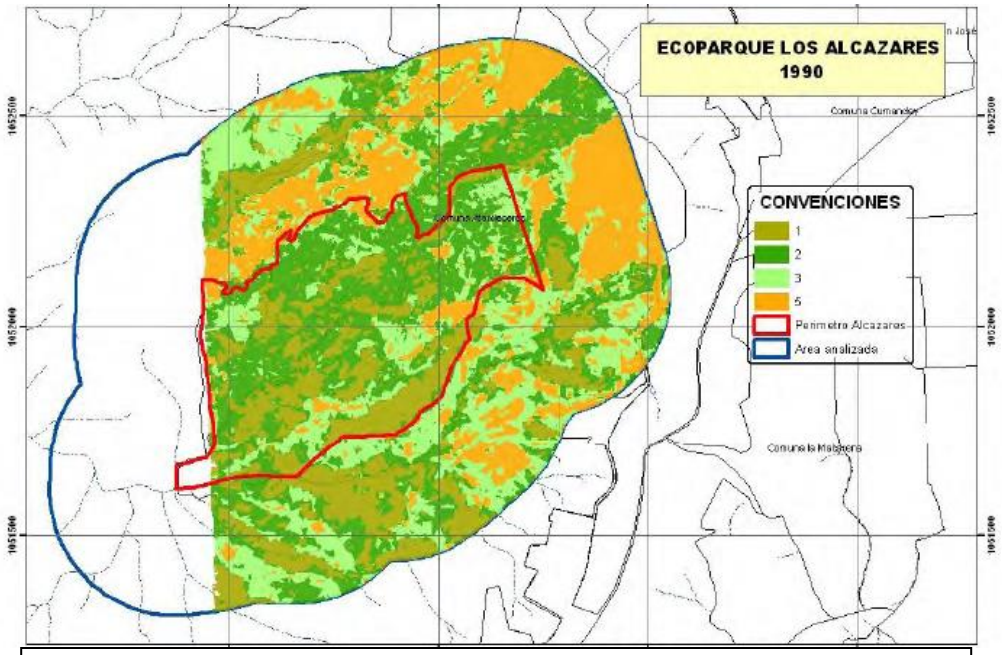

53. Ubicación espacial del Ecoparque Alcázares Arenillo. Imagen Santiago Zuluaga

Para 1944, el área que hoy ocupa el Ecoparque Los Alcázares estaba destinada principalmente al pastoreo, algunas porciones a la agricultura, una porción en matorrales en transición a bosque y una aún menor en bosque secundario (Ver imagen 54)



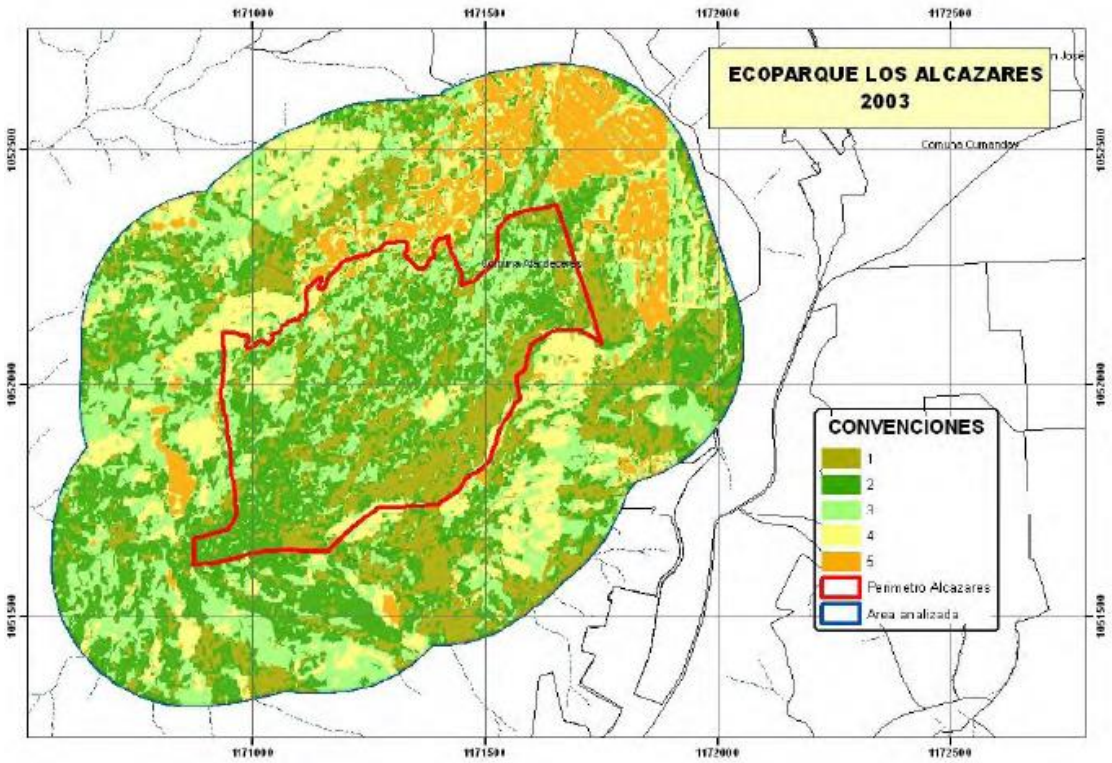

54. Ecoparque Alcázares Arenillo 1944

Es evidente el crecimiento de la frontera de la estructura construida por tres flancos del área que será declarada Ecoparque cinco años después. Aun así, es notoria la recuperación natural por cambio de uso del suelo (De pastoreo a bosque). Una razón de peso en estos comportamientos la propiedad de la tierra, puesto que reside en la voluntad del tenedor del suelo el uso que de éste haga. En el caso concreto del Ecoparque Los Alcázares, se trata de una donación hecha a la Municipalidad por el antiguo dueño de la propiedad, Afortunada decisión que permitió la conservación de este territorio como área verde protegida de la ciudad (Ver imagen 55).




55. Ecoparque Alcázares Arenillo 1990

Para 2003, el Ecoparque Los Alcázares ha comenzado a consolidar su estructura verde, se aprecia que ha desaparecido la presión por acciones del hombre y en las mismas urbanizaciones se puede ver el avance de la cobertura verde. Las zonas de bosque crecen en masas un tanto dispersas intercaladas con zonas de rastrojo y empradizado (Ver imagen 56).




56. Ecoparque Alcázares Arenillo 2003

## 6.4 Antecedentes obras del Sector

Este informe fue extraído de CORPOCALDAS el cual desea mostrar la manera como la obra fue evolucionado en sus diferentes frentes de trabajo a lo largo del período de ejecución del contrato # 018 – 2009. Ejecutado por el contratista Juan Carlos de los Ríos Pineda. Dichas labores se ejecutaron a partir del 16 de febrero de 2009 hasta el 13 de septiembre de 2009, describiendo las actividades realizadas apoyándonos en un registro fotográfico que se llevó día a día desde el inicio del contrato.

**Registro fotográfico y descripción de actividades**

A continuación se realizará una descripción de las labores realizadas apoyándonos en el registro fotográfico que día a día se llevó en la obra, mostrando una secuencia de los trabajos, frente por frente, desde el inicio de ejecución de las distintas tareas de obra.

**Frente No. 1: Gaviones**

57. Gaviones Ecoparque Alcázares – Arenillo. 2009

En este frente del Ecoparque Los Alcázares encontramos un deslizamiento considerable, producido muy probablemente por las fuertes lluvias que caen en esta zona. La interventoría define inicialmente la construcción de una serie de muros en gaviones que encaucen la quebrada y que protejan el talud afectado de una muy probable erosión y desestabilización mayor del terreno.

58. Muro en gaviones y conformación del talud Ecoparque Alcázares – Arenillo. 2009

Se realizaron labores de rocería y limpieza, además de las rutas de acceso a este frente de trabajo, también grandes movimientos de tierra para manejar y controlar un poco el cauce de la quebrada.

Se iniciaron las excavaciones para la construcción del muro en gaviones y la conformación del talud, se deben erradicar varios árboles que se encuentran en la corona de dicho talud y que amenazan con caerse, además se cortan una gran cantidad de troncos y tallos que obstaculizan el cauce de la quebrada.

Debido a las constantes y fuertes lluvias en este sector, las actividades de obra se vieron retrasadas puesto que se debe dedicar gran parte del tiempo en el retiro de derrumbes y de lodo. Se instalaron la formaleta para el recubrimiento de los gaviones y su posterior vaciado, además se realiza el lleno alrededor de la estructura.

Se construye filtro en la base del talud, zanjas colectoras intermedias y un canal principal para conducir y controlar las aguas, se conforma el talud en su totalidad y se procede a la instalación del prado.

**Frente No. 2: Filtros y espinas**

60. Lleno y conformación de los filtros con el material de las excavaciones Ecoparque Alcázares – Arenillo. 2009

Esta es una zona que presenta una gran humedad y que manifiesta un movimiento en masa considerable, se pueden observar grandes grietas y enormes cantidades de agua que afectan la estabilidad del terreno. Aquí se decide construir un gran filtro principal y varias espinas para controlar y conducir las aguas de la zona hacia un canal en concreto ciclópeo Frente No. 3

Se realizan las excavaciones para la construcción de los filtros, y se logra apreciar la gran cantidad de agua que posee esta zona, lo que dificulta y retardo las labores en este frente de trabajo. Cabe resaltar que el material empleado para la construcción de estos filtros es bajado al hombro, ya que la topografía, la gran humedad y el lugar de trabajo como tal no permitieron otro medio.

Otra de las dificultades que se encontró en este frente, es la contaminación con que llega a la obra la piedra filtro que provee el distribuidor, ya que en la ciudad de Manizales en esas fechas se presentaba una gran demanda de dicho material y no es fácil conseguirla en un estado óptimo, por lo que se debió dedicar gran tiempo a la limpieza y lavado de esta piedra para poder emplearla en la elaboración de los filtros y garantizar así la calidad de los trabajos realizados.

Se construyó el total de espinas secundarias aprobadas y trazadas con la interventoría, se realiza también lleno y conformación de la zona con los materiales provenientes de las excavaciones de los filtros.

**Frente No. 3: Canal Ciclópeo.**

61. Canal en concreto ciclópeo Ecoparque Alcázares – Arenillo. 2009

En esta zona se encontraba una gran cárcava originada por las fuertes lluvias y por la gran cantidad de agua que el terreno absorbe en esta enorme área, la interventoría ordeno la construcción de un canal en concreto ciclópeo que manejará y recibirá todas las aguas de la zona y además la de los filtros del frente No. 2.

Se iniciaron labores realizando la rocería y limpieza del frente de trabajo, y posteriormente con la excavación para la construcción de este importante y necesario canal, se construyó además un pequeño filtro bajo el canal para controlar las aguas y facilitar las labores en este frente, también se realizó riego y compactación de afirmado en la base del canal ya que el suelo que le servirá de soporte no es el mejor. Posteriormente, se procedió a la elaboración e instalación de la formaleta.

Se procedió a vaciar el canal después de haber desarrollado todo el proceso constructivo que se requiere, excavaciones, construcción filtro bajo el canal para manejo de aguas, riego y compactación de afirmado, construcción formaleta e instalación de cinta para juntas P.V.C.

En el sector del descole del canal, se decidió conjuntamente entre contratista e interventoría construir este tramo en concreto simple y reforzado con malla Q5, ya que en este sector no se tiene apoyo lateral para las paredes del canal, se realizaron las excavaciones para la construcción de las aletas derecha e izquierda y de los enrocados necesarios para la entrega de aguas del canal.

A lo largo del canal se realizaron las perforaciones con taladro percutor para la construcción de las vigas que sirven de apoyo lateral al canal.

Se conformaron y se realizaron los llenos a los taludes laterales del canal en concreto ciclópeo, al igual que las excavaciones en el encole del canal para la construcción de las aletas y de los enrocados, se retiró el material proveniente de las excavaciones, y se realizó jornada de limpieza general en este frente de trabajo.

**Frente No. 4: Canal escalonado**

62. Cárcava Ecoparque Alcázares – Arenillo. 2009

En este frente se encontraba también una gran cárcava originada por la lluvia y por la gran cantidad de agua de escorrentía que pasaba por este sitio al ser el punto más bajo de la zona a intervenir en el ecoparque. La interventoría definió la construcción de un canal reforzado y de unos filtros laterales con varias espinas secundarias para controlar las aguas, además de conformar los taludes laterales.

63. Canal de agua lluvia Ecoparque Alcázares – Arenillo. 2009

Inicialmente se realizó una rocería y limpieza, un manejo de aguas y luego se traza el canal para posteriormente empezar con las excavaciones. En la parte baja del canal se encontró con una gran cantidad de piedras que interrumpen las labores que en este frente se llevan, por lo cual debieron ser dinamitadas y retiradas del lugar.

64. Filtros laterales al canal principal Ecoparque Alcázares 2009

Se realizaron las primeras excavaciones, vaciado de enrocado en la base del canal ya que el terreno no es uniforme; luego se procedió al montaje de la formaleta y del acero de refuerzo.

El primer tramo del canal escalonado se vació, y continúa el proceso constructivo para los siguientes tramos, excavaciones, vaciado de enrocado (donde se necesite), construcción formaleta, montaje acero de refuerzo y cinta para junta P.V.C. Se construyeron filtros laterales al canal y se realizan los llenos correspondientes, continuando las excavaciones y retiro de lodo provocado por las fuertes lluvias. También se iniciaron las excavaciones en el descole para construcción aletas, cabe resaltar que se presenta un gran porcentaje de roca lo que dificultaron estas labores.

En la zona del descole, son vaciadas las aletas y se construyeron sus respectivos filtros, posteriormente se realizan los llenos; aguas arriba continuaros con la construcción del canal hasta el punto donde la interventoría indico y se construyó el enrocado en el encole del canal.

## 6.5 Información pluviométrica

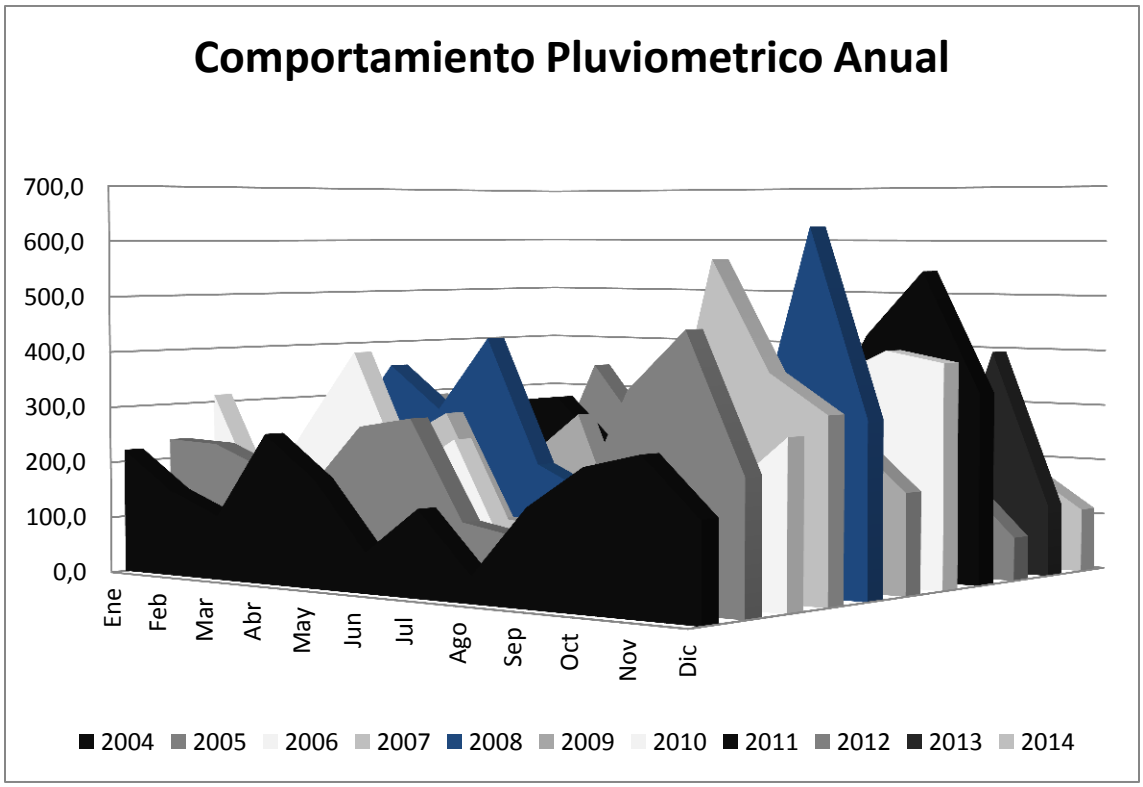
| Mes/Año | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | Acum |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Ene** | 221,5 | 235,3 | 312,9 | 178,8 | 219,5 | 218,2 | 24,1 | 92,4 | 105,4 | 36,4 | 89,2 | 1644,5 |
| **Feb** | 153,7 | 231,4 | 119,1 | 61,7 | 233,2 | 201,7 | 67,6 | 315,8 | 157,4 | 280,4 | 168,8 | 1821,9 |
| **Mar** | 114,8 | 193,0 | 263,7 | 195,6 | 367,5 | 309,1 | 80,8 | 288,0 | 131,8 | 261,2 | 222,0 | 2205,5 |
| **Abr** | 264,4 | 164,9 | 400,8 | 234,4 | 289,8 | 243,3 | 224,3 | 299,6 | 357,2 | 84,0 | 115,6 | 2562,8 |
| **May** | 190,5 | 276,9 | 187,5 | 291,3 | 423,2 | 199,7 | 192,2 | 203,6 | 229,8 | 159,8 | 230,6 | 2354,4 |
| **Jun** | 72,1 | 295,7 | 254,0 | 107,2 | 198,1 | 283,7 | 194,2 | 146,2 | 151,8 | 98,8 | 67,6 | 1801,8 |
| **Jul** | 152,6 | 122,4 | 60,5 | 104,7 | 151,1 | 35,8 | 235,4 | 160,6 | 72,6 | 49,2 | 22,4 | 1144,9 |
| **Ago** | 48,0 | 105,2 | 83,6 | 131,3 | 309,6 | 82,5 | 195,2 | 133,8 | 118,6 | 86,8 | 97,6 | 1294,6 |
| **Sep** | 168,1 | 140,0 | 206,8 | 146,1 | 172,0 | 81,5 | 273,6 | 223,8 | 56,8 | 161,2 | 112,6 | 1629,8 |
| **Oct** | 239,8 | 359,4 | 427,7 | 571,8 | 245,1 | 274,6 | 359,2 | 432,4 | 270,6 | 85,6 | 155,4 | 3266,2 |
| **Nov** | 265,7 | 461,0 | 196,3 | 383,8 | 626,4 | 267,7 | 411,4 | 548,0 | 179,4 | 399,6 | 181,0 | 3739,3 |
| **Dic** | 167,9 | 228,9 | 287,0 | 317,5 | 304,8 | 176,5 | 392,6 | 336,8 | 76,6 | 125,0 | 112,4 | 2413,6 |
| **Acum** | 2059,3 | 2813,9 | 2799,8 | 2724,2 | 3540,2 | 2374,4 | 2650,5 | 3181,0 | 1908,0 | 1828,0 | 1575,2 | 25879,3 |

I. Red de Estaciones Hidrometeorológicas para Prevención de Desastres de Manizales. Estación Meteorológica Alcázares e Ingeominas. Registro de lluvias mensuales y Anuales. IDEA Manizales

**Indicadores:**

I. Día de mayor precipitación 5 de junio de 2005 (126,5 mm)
II. Días sin lluvia 1318 (Periodo enero 2004 a diciembre 2014)
III. Días con lluvia 2700(Periodo enero 2004 a diciembre 2014)
IV. Máximo periodo con lluvia 24 días (Periodo 11 de noviembre – 4 de diciembre de 2008) (Acumulado 629,4 mm)
V. Máximo periodo sin lluvia 24 días (Periodo 30 de diciembre de 2009 – 22 de enero de 2010)
VI. Mes más lluvioso noviembre de 2008 (626,4 mm)
VII. Mes menos lluvioso julio de 2014 (22,4mm)
VIII. Año más lluvioso 2008 (3540,2 mm)
IX. Año menos lluvioso 2014 (1575,2 mm)
X. Promedio de lluvia en el día 6,8 mm (Periodo enero 2004 a diciembre 2014)

**Nota:** En el periodo del 1 enero de 2004 al 6 de abril de 2010 se tomaron los datos de la estación ingeominas, ya que era la más cercana al sitio de estudio; y a partir del día 7 de abril de 2010 a 31 de diciembre de 2014 se usaron los datos de la estación Alcázares.




J. Comportamiento Pluviométrico Estaciones Ingeominas y Alcázares (Periodo enero 2004 a diciembre 2014). IDEA Manizales

# 7. Trabajo de Campo

## 7.1 Aplicación de ecuación universal de erosión USLE

$$A = R \times K \times S \times L \times C \times P$$

$$A = 4636{,}3009\ \mathrm{J.m^2.cm.h^{-1}} \times 0{,}2693\ \mathrm{t.m^2.h.ha.J^{-1}.cm^{-1}} \times 0{,}4544 \times 0{,}5628 \times 0{,}15 \times 1$$

$$Amax = 47{,}8951\ \mathrm{Ton\ h^{-1}}$$

$$A = 574{,}1648\mathrm{J.m^2.cm.h^{-1}} \times 0{,}2693\ \mathrm{t.m^2.h.ha.J^{-1}.cm^{-1}} \times 0{,}4544 \times 0{,}5628 \times 0{,}15 \times 1$$

$$Amed = 5{,}9314\ \mathrm{Ton\ h^{-1}}$$

$$A = 36{,}7355\mathrm{J.m^2.cm.h^{-1}} \times 0{,}2693\ \mathrm{t.m^2.h.ha.J^{-1}.cm^{-1}} \times 0{,}4544 \times 0{,}5628 \times 0{,}15 \times 1$$

$$Amin = 0{,}37949\ \mathrm{Ton\ h^{-1}}$$

**Factor R: Erosividad de las lluvias:**

$$\mathrm{IFM} = \sum_{1}^{12} \frac{\mathrm{p}^2}{\mathrm{P}}$$

Dónde:

IFM = Índice Modificado de Fournier

p = Precipitación mensual (mm)

P = Precipitación anual (mm)

| Mes/Año | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Ene** | 23,8230 | 19,6720 | 34,9732 | 11,7382 | 13,6044 | 20,0486 | 0,2197 | 2,6840 | 5,8224 | 0,7248 | 5,0512 |
| **Feb** | 11,4734 | 19,0262 | 5,0680 | 1,3984 | 15,3572 | 17,1275 | 1,7221 | 31,3517 | 12,9847 | 43,0110 | 18,0888 |
| **Mar** | 6,4010 | 13,2429 | 24,8307 | 14,0416 | 38,1551 | 40,2446 | 2,4613 | 26,0748 | 9,1044 | 37,3225 | 31,2875 |
| **Abr** | 33,9529 | 9,6587 | 57,3809 | 20,1759 | 23,7260 | 24,9370 | 18,9762 | 28,2176 | 66,8720 | 3,8600 | 8,4836 |
| **May** | 17,6230 | 27,2402 | 12,5499 | 31,1580 | 50,5797 | 16,7877 | 13,9372 | 13,0314 | 27,6772 | 13,9694 | 33,7585 |
| **Jun** | 2,5265 | 31,0632 | 23,0410 | 4,2177 | 11,0861 | 33,9002 | 14,2287 | 6,7194 | 12,0772 | 5,3400 | 2,9011 |
| **Jul** | 11,3142 | 5,3268 | 1,3056 | 4,0202 | 6,4516 | 0,5404 | 20,9064 | 8,1083 | 2,7625 | 1,3242 | 0,3185 |
| **Ago** | 1,1193 | 3,9300 | 2,4938 | 6,3304 | 27,0785 | 2,8686 | 14,3756 | 5,6279 | 7,3721 | 4,1216 | 6,0473 |
| **Sep** | 13,7287 | 6,9634 | 15,2687 | 7,8302 | 8,3526 | 2,8002 | 28,2423 | 15,7455 | 1,6909 | 14,2152 | 8,0490 |
| **Oct** | 27,9316 | 45,9061 | 65,3413 | 120,0000 | 16,9703 | 31,7535 | 48,6788 | 58,7770 | 38,3775 | 4,0084 | 15,3309 |
| **Nov** | 34,2799 | 75,5252 | 13,7685 | 54,0700 | 110,8228 | 30,1844 | 63,8551 | 94,4055 | 16,8681 | 87,3524 | 20,7980 |
| **Dic** | 13,6880 | 18,6136 | 29,4234 | 37,0047 | 26,2420 | 13,1247 | 58,1524 | 35,6599 | 3,0752 | 8,5476 | 8,0204 |

K. Índice Modificado de Fournier (Periodo enero 2004 a diciembre 2014)

$$\mathrm{El}_{30} = \sum_{1}^{12} 38{,}4\ (\mathrm{IFM}) + \ 28{,}3$$

Dónde:

EI30 = Erosividad (Rivera 1990)

IFM = Índice de Fournier Modificado (promedio mensual).

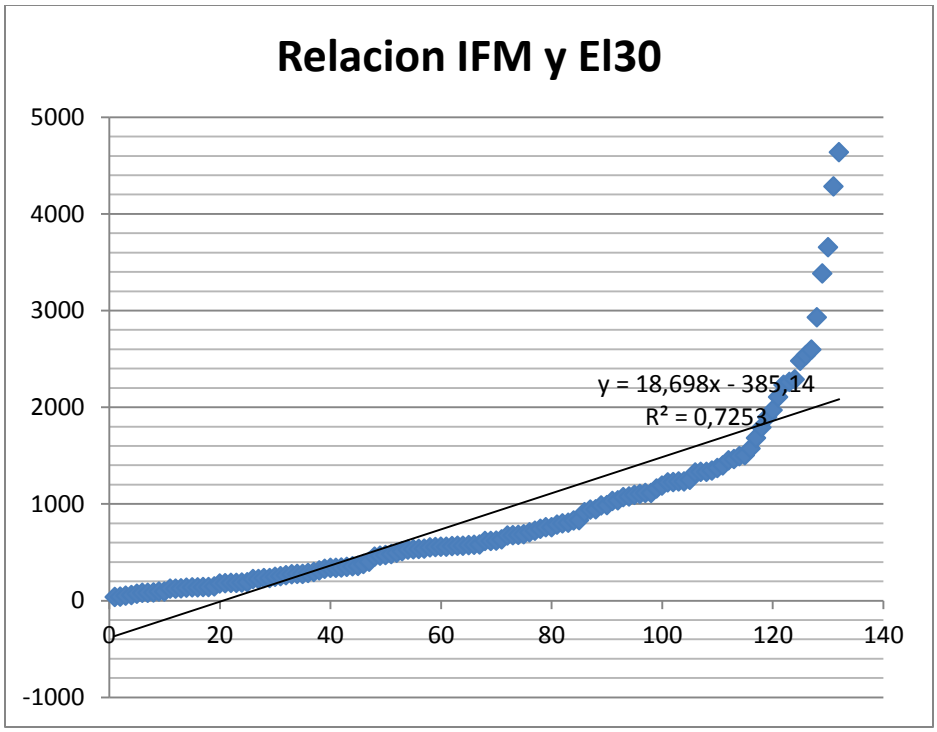
| Mes/Año | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Ene** | 943,1045 | 783,7031 | 1371,2697 | 479,0465 | 550,7073 | 798,1649 | 36,7355 | 131,3651 | 251,8806 | 56,1329 | 222,2658 |
| **Feb** | 468,8795 | 758,9072 | 222,9117 | 81,9972 | 618,0173 | 685,9945 | 94,4268 | 1232,2039 | 526,9115 | 1679,9235 | 722,9090 |
| **Mar** | 274,0986 | 536,8290 | 981,8007 | 567,4990 | 1493,4568 | 1573,6927 | 122,8145 | 1029,5731 | 377,9099 | 1461,4821 | 1229,7383 |
| **Abr** | 1332,0930 | 399,1956 | 2231,7253 | 803,0537 | 939,3773 | 985,8820 | 756,9867 | 1111,8555 | 2596,1861 | 176,5223 | 354,0701 |
| **May** | 705,0215 | 1074,3236 | 510,2150 | 1224,7662 | 1970,5617 | 672,9490 | 563,4866 | 528,7067 | 1091,1033 | 564,7245 | 1324,6257 |
| **Jun** | 125,3179 | 1221,1253 | 913,0749 | 190,2604 | 454,0075 | 1330,0691 | 574,6827 | 286,3253 | 492,0633 | 233,3543 | 139,7010 |
| **Jul** | 462,7670 | 232,8487 | 78,4344 | 182,6756 | 276,0421 | 49,0508 | 831,1075 | 339,6570 | 134,3782 | 79,1493 | 40,5318 |
| **Ago** | 71,2817 | 179,2115 | 124,0627 | 271,3871 | 1068,1161 | 138,4560 | 580,3242 | 244,4124 | 311,3885 | 186,5685 | 260,5176 |
| **Sep** | 555,4839 | 295,6949 | 614,6172 | 328,9792 | 349,0402 | 135,8291 | 1112,8028 | 632,9273 | 93,2306 | 574,1648 | 337,3810 |
| **Oct** | 1100,8735 | 1791,0933 | 2537,4041 | 4636,3009 | 679,9593 | 1247,6334 | 1897,5662 | 2285,3383 | 1501,9978 | 182,2227 | 617,0048 |
| **Nov** | 1344,6472 | 2928,4665 | 557,0095 | 2104,5876 | 4283,8963 | 1187,3812 | 2480,3373 | 3653,4725 | 676,0355 | 3382,6316 | 826,9430 |
| **Dic** | 553,9174 | 743,0610 | 1158,1580 | 1449,2790 | 1035,9935 | 532,2897 | 2261,3533 | 1397,6413 | 146,3893 | 356,5276 | 336,2840 |

## L. Índice de intensidad de las lluvias El30
(Periodo enero 2004 a diciembre 2014)

$$Rmax = \mathrm{El}_{30} = 4636{,}30088\ \mathrm{J.m^2.cm.h^{-1}}$$

$$Rmed = \mathrm{El}_{30} = 574{,}16482\mathrm{J.m^2.cm.h^{-1}}$$

$$Rmin = \mathrm{El}_{30} = 36{,}73554\ \mathrm{J.m^2.cm.h^{-1}}$$




M. Correlación entre IFM y El30 (72,53%)

**Factor K: erodabilidad del suelo**

$$\mathrm{K} = \frac{2{,}1M^{1{,}14}(10^{-4})(12-a) + 3{,}25(b-2) + 2{,}5(c-3)}{100} \times 1{,}2928$$

Dónde:

K = índice de Erodabilidad, expresado en t. ha. Año .MJ -1.mm-1 .ha-1

M = (20% de limo +35% arena muy fina) (100% - 40% de arcilla)

a = 5% de materia orgánica

b = estructura del suelo granular y grumo medio (3 mm aproximadamente)

c = permeabilidad del perfil de 4 moderadamente lenta

$$K = \frac{2{,}1\big((35)(60)\big)^{1{,}14}(10^{-4})(12-5) + 3{,}25(3-2) + 2{,}5(4-3)}{100} \times 1{,}2928$$

$$K = 0{,}2693\ t.m^2.h.ha.J^{-1}.cm^{-1}$$

**Factor L: Longitud de la pendiente** J.m².cm.h⁻¹

$$L = \left[\frac{\lambda}{22{,}1}\right]^{m}$$

Donde,

L = Factor de longitud de la pendiente

ƛ = Longitud de la pendiente 7m

m = Exponente de la longitud de la pendiente para 5% es 0,5

$$L = \left[\frac{7}{22{,}1}\right]^{0{,}5}$$

$$L = 0{,}5628$$

**Factor S: Gradiente de la pendiente**

$$S = \frac{0{,}43 + 0{,}3s + 0{,}043s^2}{6{,}613}$$

Dónde:

S: es el factor de la pendiente
s: es el grado de la pendiente 5%

$$S = \frac{0{,}43 + 0{,}3(5) + 0{,}043(5)^2}{6{,}613}$$

$$S = 0{,}4544$$

**Factor C: Manejos de cultivo**

Pasto =0,15

$$C = 0{,}15$$

De acuerdo a la ecuación Universal de pérdida de suelo por erosión, que establecen Wischmeier y Smith (1965), podemos predecir una pérdida máxima de suelo por erosión laminar y en surcos para el Ecoparque Alcázares de 47,8951 Toneladas anuales.

## 7.2 Diseño Estructural

Para realizar la comparación entre las soluciones para la protección de un talud ante los efectos de la erosión, se procede a proponer el tratamiento del sitio de la siguiente manera:

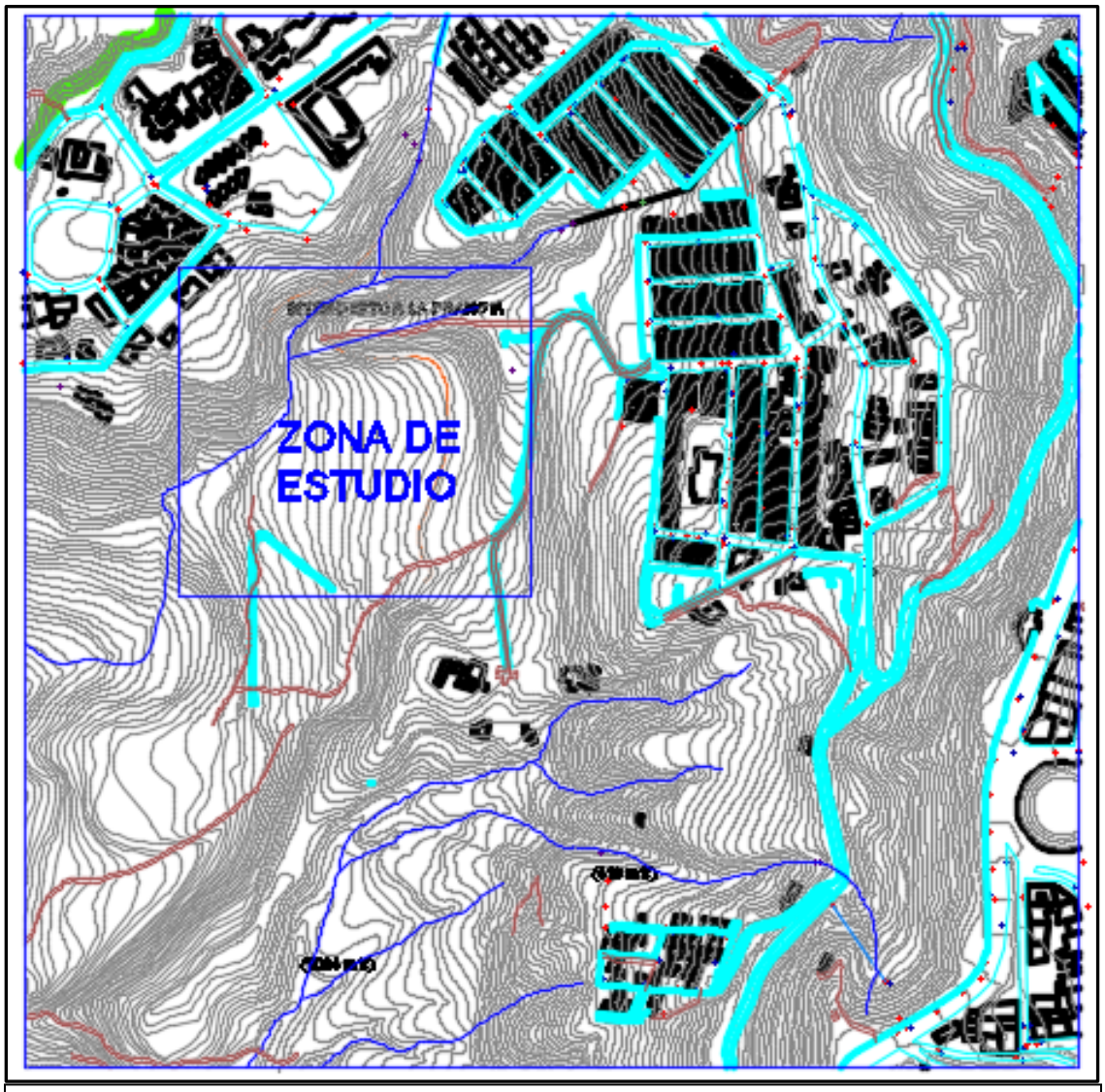
**Tratamiento convencional:** Muro en gaviones con recubrimiento en concreto de 3 metros de altura y módulos de 10 metros, con un desplante de 0.50m. Para el tratamiento de las aguas sub superficiales se propone una batería de drenes sub horizontales de 5 metros de profundidad separados cada 5 metros, conducido por un filtro de 0.30m entre el terreno natural y el gavión. Estas aguas serán conducidas por medio de una zanja colectora que conecta con un colector existente en el sector.

**Tratamiento con bioingeniería:** Trincho de pared simple de 1.3 metros de altura y un desplante de 0.50m con módulos de 10 metros y escalonado cada metro, con un recubrimiento de 0.15m en enroncado con una pendiente del 4%. La pendiente longitudinal (Pendiente natural del terreno) se dirige hacia una canaleta en trincho con vertedero; para el tratamiento de las aguas sub superficiales se propone una batería de drenes sub horizontales de 5 metros de profundidad y separados cada 5 metros, que entrega las aguas a la primer terraza que de igual forma las conduce hacia la canaleta.

Estas aguas serán conducidas por medio de una zanja colectora que conecta con un colector existente en el sector.

**Localización en planta de la zona de estudio**

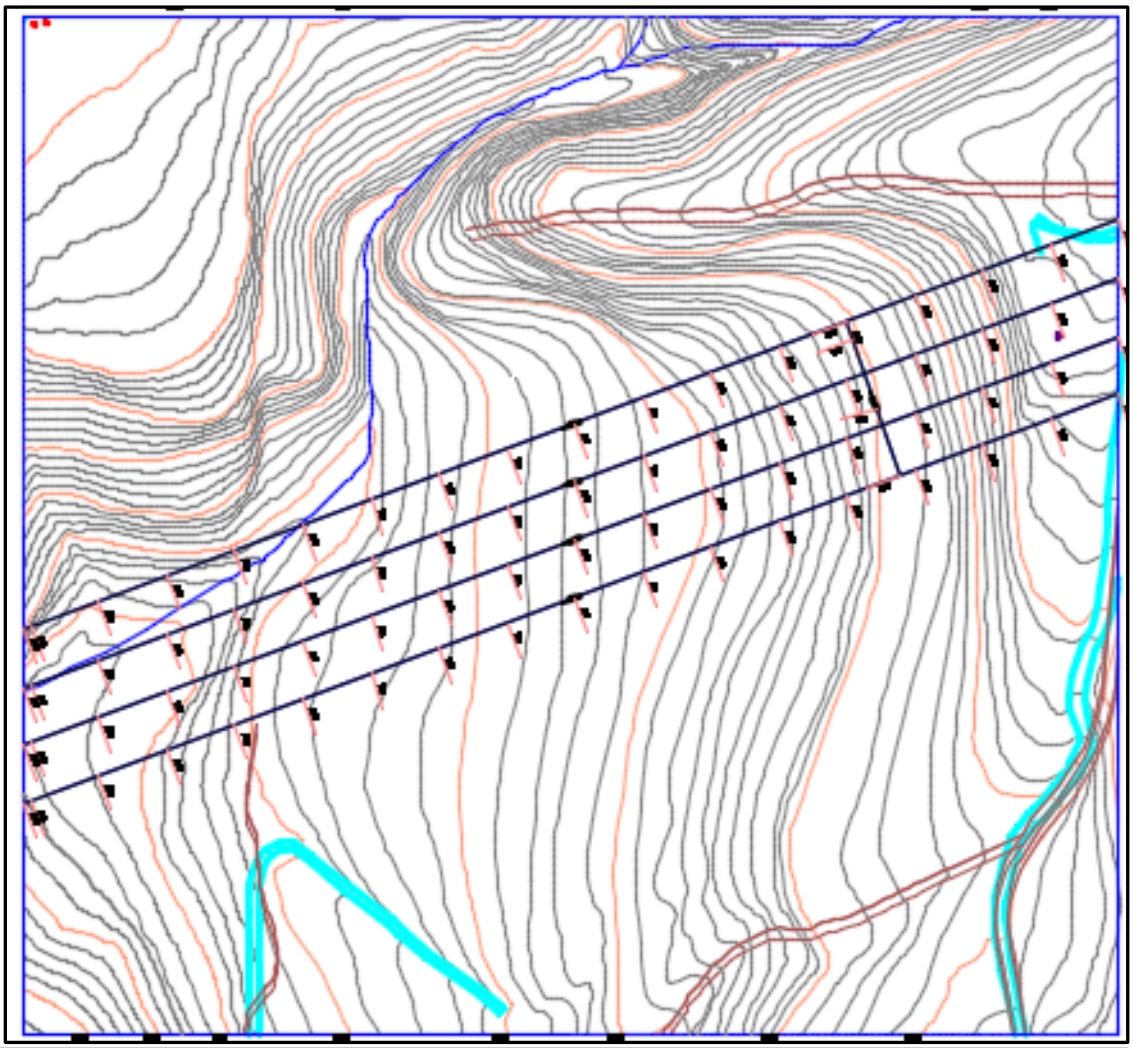
El ecoparque  Alcázares – Arenillo se ubica en el occidente de la ciudad de Manizales en el barrio los Alcázares. Zona caracterizada por su conformación geomorfológica variada, es decir de relieve montañoso, laderas inclinadas y pendientes superiores al 50%, como lo podemos observar en la imagen 65




65. Localización general zona de estudio en restitución. Fuente: Restitución topográfica- Estudio de Suelos Aquaterra Ingenieros Consultores

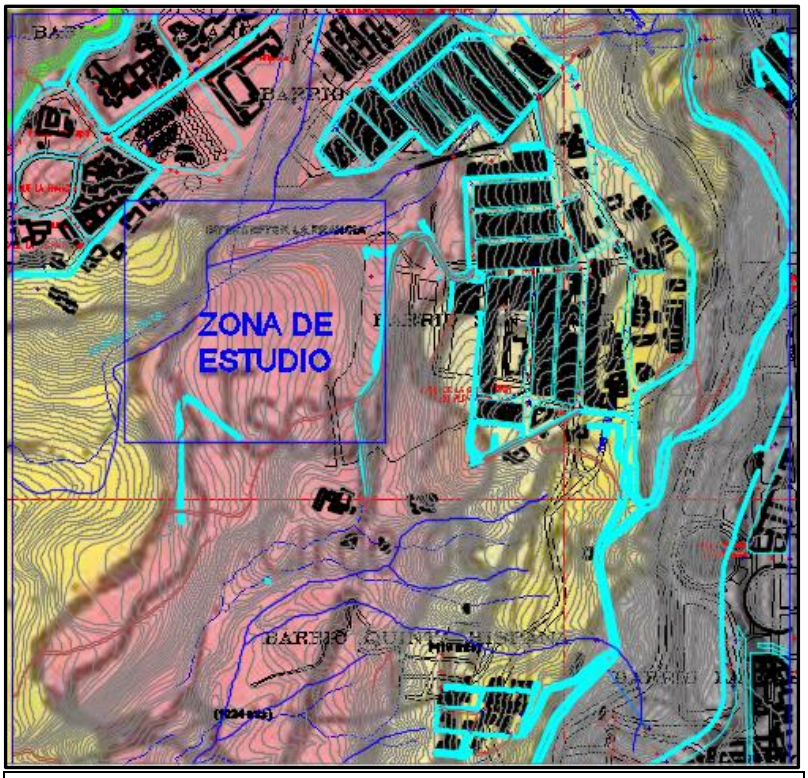
En la zona a tratar se encuentra una falla local activa de tipo rotacional, la cual ha generado erosión en el talud, incrementándose aún más con lluvias de gran intensidad como es típico en la ciudad de Manizales.

A continuación se indica en la figura la topografía con la localización de la zona a analizar en planta, teniendo en cuenta que la escala es de gran magnitud con respecto a las dimensiones del sitio específico, por lo tanto no se pueden percibir las condiciones actuales mencionadas anteriormente (Ver imagen 66).



66. Topografía de la zona de estudio.
Fuente: Restitución topográfica- Estudio de Suelos Aquaterra Ingenieros Consultores

De acuerdo al servicio geológico colombiano en esta zona se encuentra la formación Casabianca (Tscb) que se caracteriza por tener sedimentos volcanogénicos de grano grueso, tobas y sedimentos volcánicos, conformado también por depósitos de abanicos aluviales (Ver Imagen 67).




67. Geología de la zona de estudio
Fuente: Estudio de Suelos, Aquaterra Ingenieros Consultores

**Análisis de Estabilidad de Taludes**

La estabilidad general de un talud en suelos o en rocas muy trituradas se establece en términos de un factor de seguridad (FS) definido como la relación entre las fuerzas o momentos resistentes sobre las fuerzas o momentos actuantes, obtenido de un análisis matemático de estabilidad, donde se consideran los factores que afectan la estabilidad, como son geometría del terreno, características geológicas de los materiales, presencia de grietas de tensión, cargas dinámicas, propiedades geotécnicas y flujos de agua.

Considerando que la falla de un talud implica pérdidas económicas, humanas y de servicios en la zona donde ocurra, los factores de seguridad utilizados para los análisis de estabilidad de la ladera involucrada en este estudio se adoptan acorde con la tabla H.2.4-1 de la Norma Sismo Resistente Colombiana NSR-10 y el Cogido Colombiano de Puentes CCP-14, tal como es mostrado a continuación:

| Condición | $F_{SBM}$ | | $F_{SBUM}$ | |
|---|---|---|---|---|
| | Diseño | Construcción | Diseño | Construcción |
| Carga Muerta + Carga Viva Normal | 1.50 | 1.25 | 1.80 | 1.40 |
| Carga Muerta + Carga Viva Máxima | 1.25 | 1.10 | 1.40 | 1.15 |
| Carga Muerta + Carga Viva Normal + Sismo de Diseño Seudo estático | 1.10 | 1.00 (*) | No se permite | No se permite |
| Taludes – Condición Estática y Agua Subterránea Normal | 1.50 | 1.25 | 1.80 | 1.40 |
| Taludes – Condición Seudo-estática con Agua Subterránea Normal y Coeficiente Sísmico de Diseño | 1.05 | 1.00 (*) | No se permite | No se permite |
| **(*) Nota: Los parámetros sísmicos seudo estáticos de Construcción serán el 50% de los de Diseño** | | | | |

N. Tabla Factores de Seguridad Indirectos mínimos Fuente: Norma Sismo Resistente Colombiana NSR-10

Existen en la práctica diversos modelos para el cálculo del factor de seguridad de taludes en suelo, destacándose los denominados: Bishop simplificado y Morgenstern-Price; estos métodos permiten determinar los factores de seguridad de la ladera considerando una gran variedad de condiciones entre los que se encuentran la estratigrafía de la zona, el grado de saturación del talud y las condiciones dinámicas a las que se ve sometido.

Para el desarrollo del análisis de estabilidad se utiliza el software Slide, del paquete de Rocscience; considerando dos condiciones del terreno, estática con saturación parcial y seudo estática con saturación parcial; bajo la saturación parcial de la masa de suelo se modela mediante un nivel freático inferido basado en las observaciones vistas en terreno.

Para el análisis seudo estático se obtiene la aceleración horizontal y vertical de acuerdo al nivel de amenaza sísmica de la zona, que para el sitio de interés corresponde a amenaza alta acorde a lo planteado en el apéndice A-4 del título A del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, donde se plantea una aceleración horizontal para el municipio de Manizales, como se presenta a continuación: **Manizales Aa=0.25**

Para efectos de cálculo de estabilidades se deberá emplear la aceleración máxima del terreno $a_{max}$ obtenida del espectro de aceleraciones:

$$a_{max} = A_a F_a I$$

Dónde:

Aa = Coeficiente de aceleración horizontal pico efectiva
Fa = Coeficiente de amplificación debida a efectos de sitio
I = Coeficiente de importancia

La aceleración máxima del terreno $a_{max}$ se puede reducir un 80%, acorde a lo planteado en el titulo H del código NSR-10 en suelos y rocas con RQD inferiores a 50 (definido como el porcentaje de recuperación de muestras de más de 10 cm de longitud).

Para la aceleración vertical se tomará un valor igual a Av=0.025, el cual representa el 10% de la aceleración horizontal total.

| Tipo de Perfil | Intensidad de los movimientos sísmicos | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | $A_a \leq 0.1$ | $A_a = 0.2$ | $A_a = 0.3$ | $A_a = 0.4$ | $A_a \geq 0.5$ |
| A | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 | 0.8 |
| B | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| C | 1.2 | 1.2 | 1.1 | 1.0 | 1.0 |
| D | 1.6 | 1.4 | 1.2 | 1.1 | 1.0 |
| E | 2.5 | 1.7 | 1.2 | 0.9 | 0.9 |
| F | véase nota | véase nota | véase nota | Véase nota | véase nota |

**Nota**: Para el perfil tipo **F** debe realizarse una investigación geotécnica particular para el lugar específico y debe llevarse a cabo un análisis de amplificación de onda de acuerdo con A.2.10.

O. Tabla Valores del Coeficiente Fa, Tabla A.2.4-3 NSR-10 (Tabla A.2.4-3)
Fuente: Norma Sismo Resistente Colombiana NSR-10
En zonas de roca con RQD mayores a 50 se trabaja con el valor de amax calculado acorde a la NSR-10.

| Material | $K_{ST}/a_{max}$ Mínimo | Análisis de Amplificación Mínimo |
|---|---|---|
| Suelos, enrocados y macizos rocosos muy fracturados (RQD < 50%) | 0.80 | Ninguno |
| Macizos rocosos (RQD > 50%) | 1.00 | Ninguno |
| Todos los materiales térreos | 0.67 | Amplificación de onda unidimensional en dos columnas y promediar |
| Todos los materiales térreos | 0.50 | Amplificación de onda bidimensional |

P. Tabla Valores de reducción para análisis pseudoestático en taludes (Tabla H.5.2-1) Fuente: Norma Sismo Resistente Colombiana NSR-10

La caracterización y análisis de las propiedades índices de cada tipo de material (Depósitos ceniza volcánica, suelos residuales, formación Casabianca), fueron determinadas a partir de un análisis retrospectivo con información obtenida de la prospección geotécnica de un estudio previo cercano a la zona de interés.

El análisis retrospectivo nos permite entonces encontrar las propiedades con las cuales el talud falló de tal manera que podamos estabilizarlo nuevamente con estas propiedades garantizando el factor de seguridad mencionado en la Tabla N.

**Propiedades Geotécnicas**

Con el fin de conocer y caracterizar el perfil del subsuelo afectado, se deben ejecutar pruebas in situ y de laboratorio con los materiales encontrados por medio de las perforaciones mecánicas las cuales comúnmente y como lo exige la norma son:

I. Ensayos de Penetración Estandar (SPT)
II. Granulometría por Tamizado
III. Límites de Atterberg
IV. Humedad natural
V. Compresión Inconfinada en Suelos.
VI. Peso unitario
VII. Corte Directo en suelo
VIII. Clasificación de suelos SUCS

La caracterización y análisis de las propiedades índices de cada tipo de material (Depósitos ceniza volcánica, suelos residuales, formación Casabianca), del estudio de suelos anteriormente mencionado son:

RESUMEN TOTAL MUESTRAS SONDEOS MECANICOS Y MANUALES (CENIZA)

| ESTADISTICA SONDEOS | P.T. Golpes | N | W % | LL % | LP % | IP % | % PASA T-200 | CLASIF. SUCS | P.U.H. ton/m3 | P.U.S. ton/m3 | qu ton/m2 | Corte Directo C (Kg/cm2) | Corte Directo Φ (g) | d liquide <1.0 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| PROMEDIO | 7.8 | 12.0 | 45.8 | 60.9 | 30.8 | 30.1 | 60.0 | | 1.632 | 1.198 | 13.41 | 0.27 | 32.08 | 0.50 |
| MINIMO | 6.0 | 12.0 | 28.0 | 31.4 | 20.2 | 11.1 | 31.2 | | 1.295 | 0.825 | 7.05 | 0.05 | 28.06 | 0.02 |
| MAXIMO | 10.0 | 12.0 | 78.4 | 114.1 | 54.9 | 63.5 | 91.5 | | 1.787 | 1.378 | 20.83 | 0.45 | 37.61 | 0.93 |
| s on-1 | 1.7 | 0.0 | 15.9 | 21.7 | 8.3 | 14.6 | 16.2 | | 0.156 | 0.157 | 4.00 | 0.20 | 4.95 | 0.23 |
| PROMEDIO – σ on-1 | 6.0 | 12.0 | 29.9 | 39.1 | 22.4 | 15.5 | 43.8 | | 1.475 | 1.041 | 9.41 | 0.07 | 27.13 | 0.27 |
| | | | | | | | | | | | | | # Datos | 15 |

PORCENTAJE TIPO DE SUELO CLASIFICACION SUCS - TOTAL MUESTRAS

| SM | SC | MH | ML | CH | CL | SW | SP | GW | GC | TOTAL CLASIFICACIONES |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 3 | 6 | 1 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15 |
| 6.67% | 20.00% | 40.00% | 6.67% | 26.67% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 100% |

Q. Tabla Resumen Características Geotécnicas Cenizas Volcánicas
Fuente: Estudio de Suelos Aquaterra Ingenieros Consultores

| RESUMEN TOTAL MUESTRAS SONDEOS MECANICOS Y MANUALES (RESIDUAL) | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ESTADISTICA SONDEOS | P.T. Golpes | N | W % | LL % | LP % | IP % | %PASA T-200 | CLASIF. SUCS | P.U.H. ton/m3 | P.U.S. ton/m3 | qu ton/m2 | Corte Directo C (Kg/cm2) | Corte Directo Φ(g) | d liquide <1.0 |
| PROMEDIO | 8.0 | 20.3 | 50.6 | 64.0 | 29.5 | 34.6 | 69.5 | | 1.593 | 1.052 | 16.07 | 0.34 | 27.50 | 0.58 |
| MINIMO | 8.0 | 15.0 | 30.7 | 43.7 | 19.8 | 22.5 | 46.7 | | 1.369 | 0.874 | 9.79 | 0.27 | 22.53 | 0.04 |
| MAXIMO | 8.0 | 28.0 | 82.3 | 112.9 | 41.3 | 71.6 | 88.9 | | 1.800 | 1.248 | 23.76 | 0.45 | 33.76 | 0.96 |
| s on-1 | 0.0 | 5.1 | 11.5 | 13.5 | 5.5 | 9.6 | 12.3 | | 0.118 | 0.141 | 5.56 | 0.07 | 4.33 | 0.19 |
| PROMEDIO – σ on-1 | 8.0 | 15.1 | 39.0 | 50.5 | 23.9 | 25.0 | 57.2 | | 1.475 | 0.911 | 10.51 | 0.27 | 23.17 | 0.39 |
| | | | | | | | | | | | | | # Datos | 29 |

| PORCENTAJE TIPO DE SUELO CLASIFICACION SUCS - TOTAL MUESTRAS | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| SM | SC | MH | ML | CH | CL | SW | SP | GW | GC | TOTAL CLASIFICACIONES |
| 0 | 2 | 8 | 0 | 20 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 32 |
| 0.00% | 6.25% | 25.00% | 0.00% | 62.50% | 6.25% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 0.00% | 100% |

R. Tabla Resumen Características Geotécnicas Suelo Residual
Fuente: Estudio de Suelos Aquaterra Ingenieros Consultores

**Parámetros Indirectos:**

| PROPIEDADES MECÀNICAS PARA EL ANÀLISIS DE ESTABILIDAD PROBABILÌSTICO | | | |
|---|---|---|---|
| CAPA | γ (kN/m³) | C (kN/m²) | Ø° |
| 1 – RELLENO PROY | Promedio: 16.46<br>Desviación Estándar: 1.41 | Promedio: 20.0<br>Desviación Estándar: 18.0 | Promedio: 33.55<br>Desviación Estándar: 2.60 |
| 2 – CENIZAS VOLCANICAS | Promedio: 16.32<br>Desviación Estándar: 1.56 | Promedio: 27.0<br>Desviación Estándar: 20.0 | Promedio: 32.08<br>Desviación Estándar: 4.95 |
| 3 – SUELO RESIDUAL | Promedio: 15.93<br>Desviación Estándar: 1.18 | Promedio: 34.0<br>Desviación Estándar: 7.0 | Promedio: 27.50<br>Desviación Estándar: 4.33 |
| 4 - F. CASABIANCA | Promedio: 20<br>Desviación Estándar: 2.0 | Promedio: 200.0<br>Desviación Estándar: 50.0 | Promedio: 35.0<br>Desviación Estándar: 5.0 |

S. Tabla Resumen propiedades geotécnicas materiales utilizados en los análisis de estabilidad con parámetros indirectos.
Fuente: Estudio de Suelos Aquaterra Ingenieros Consultores

**Perfil Sísmico del Suelo**

Se definen seis tipos de perfil de suelo los cuales se presentan en la tabla A.2.4-1. Los parámetros utilizados en la clasificación son los correspondientes a los 30 m superiores del perfil para los perfiles tipo A a E.

En el apartado A.2.4 de la Norma Sismo Resistente Colombiana (NSR-10) se explica la metodología para la clasificación del suelo a partir de prospecciones mecánicas y líneas de refracción sísmica realizadas en campo; de acuerdo a la tabla A.2.4-1. Clasificación de los perfiles de suelo, se comienzan a reducir las opciones donde puede estar el suelo que se está analizando.

**Tabla A.2.4-1**
**Clasificación de los perfiles de suelo**

| Tipo de perfil | Descripción | Definición |
|---|---|---|
| A | Perfil de roca competente | $\bar{v}_s \geq 1500$ m/s |
| B | Perfil de roca de rigidez media | 1500 m/s > $\bar{v}_s \geq 760$ m/s |
| C | Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o | 760 m/s> $\bar{v}_s \geq 360$ m/s |
| | perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios | $\bar{N} \geq 50$, o<br>$\bar{s}_u \geq 100$ kPa (≈1 kgf/cm²) |
| D | Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o | 360 m/s > $\bar{v}_s \geq 180$ m/s |
| | perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones | 50 > $\bar{N} \geq 15$, o<br>100 kPa (≈1 kgf/cm²) > $\bar{s}_u \geq 50$ kPa (≈0.5 kgf/cm²) |
| E | Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o | 180 m/s > $\bar{v}_s$ |
| | perfil que contiene un espesor total **H** mayor de 3 m de arcillas blandas | **IP** > 20<br>**w** ≥ 40%<br>50 kPa (≈0.50 kgf/cm²) > $\bar{s}_u$ |
| F | Los perfiles de suelo tipo **F** requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista de acuerdo con el procedimiento de A.2.10. Se contemplan las siguientes subclases:<br>$F_1$ — Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como: suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc.<br>$F_2$ — Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (**H** > 3 m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas).<br>$F_3$ — Arcillas de muy alta plasticidad (**H** > 7.5 m con Índice de Plasticidad **IP** > 75)<br>$F_4$ — Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (**H** > 36 m) | |

T. Tabla A.2.4-1 Clasificación del perfil del suelo
Fuente: Norma sismo resistente Colombiana (NSR-10)

En la siguiente tabla se indica cómo se obtuvo el perfil del suelo para la zona de estudio a partir de los resultados de la prospección geotécnica realizada para el estudio de suelos de Aquaterra Ingenieros Consultores.

**CLASIFICACION DEL PERFIL DEL SUELO. NORMA NSR-10**

**Paso 1. Verificación de Perfil Tipo F.**

* Perfil $F_1$: No existen suelos Vulnerables por Arcillas Sísmica ⇒ No Clasifica como Perfil F1
* Perfil $F_2$: No existen + de 3 M de Tubas y Arcillas Organicas. ⇒ No Clasifica como Perfil F2
* Perfil $F_3$: No existen mas de 7,5m de Arcillas con IP > 75, ⇒ No Clasifica como Perfil F3
* Perfil $F_4$: No existen mas de 36 m de Arcillas Medias a Blandas. ⇒ No Clasifica como Perfil F4

**ERFIL NO CLASIFICA COMO TIPO F. NO DEBE REALIZARSE ANALISIS DE RESPUESTA DE**

**Paso 2. Verificación de Espesor total de estratos de Arcilla Blanda**

⇒ Arcilla Blanda:
- IP > 20
- HN > 40
- qu < 0,25 kg/cm²

| Espesor de arcillas blandas en el perfil | 0,0 m |
|---|---|

**RFIL NO CLASIFICA COMO TIPO E. EL ESPESOR DE LAS ARCILLAS BLANDAS ES MENOR**

**Paso 3. Clasificación según velocidad de Onda de Cortante (Vs) y Número de Golpes (N). 30m super**

| ESTRATO | Espesor ($d_i$) | $N_i$ (Golpes) | $d_i/N_i$ | $Vs_i$ (m/s) | $d_i/Vs_i$ |
|---|---|---|---|---|---|
| CENIZAS | 8 | 8 | 1 | 190 | 0.04 |
| SUELO + SAPROLITO | 3 | 12 | 0.75 | 210 | 0.04 |
| ROCA METEORIZADA | 5 | 33 | 0.15 | 300 | 0.02 |
| ROCA FRESCA | 8 | 250 | 0.03 | 950 | 0.01 |
| Σ ($d_i$) = | 30 | Σ ($d_i/N_i$) = | 1.93 | Σ ($d_i/Vs_i$) = | 0.11 |

⇒ Prametros medios: N: 16golpes/pie ; Vs: 273m/seg

⇒ CLASIFICACION POR N: POR N CLASIFICA D ; POR Vs CLASIFICA D

**USE PERFIL DE SUELO TIPO D**

U. Tabla de clasificación del perfil del suelo
Fuente: Estudio de Suelos, Aquaterra Ingenieros Consultores

Por lo tanto y de acuerdo a lo mencionado en las tablas O y P respectivamente, el coeficiente de aceleración horizontal a utilizar en los análisis de estabilidad es:

$$a_{max} = 0.25 * 1.3 * 1 * 0.8 = 0.26$$

**Análisis Retrospectivo**

El análisis retrospectivo (back analysis) es usado comúnmente en la ingeniería geotécnica para estimar la resistencia in situ del suelo. Esta resistencia se representa generalmente por los parámetros de resistencia al corte en tensiones efectivas de Mohr-Coulomb, cohesión c y ángulo de fricción interna. El análisis retrospectivo de fallas de taludes es un método efectivo que incorpora importantes factores que muchas veces no son bien representados en ensayos de laboratorio, tales como la estructura del suelo, la no homogeneidad, influencia de fisuras en la resistencia al corte y el efecto de los planos de debilidad dentro de la masa de suelo.

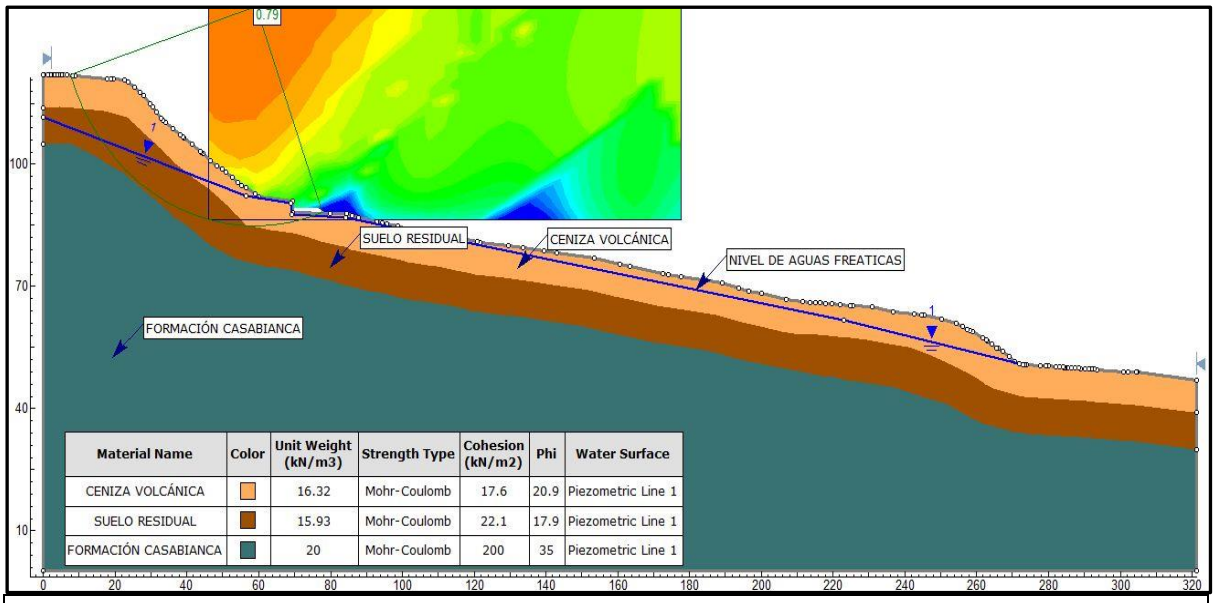
El análisis retrospectivo asume un factor de seguridad igual a la unidad y considera la geometría original en el momento de la falla. Luego se estima la resistencia al corte del suelo que fue movilizada en la falla consistente con un modelo 2D realizado con un método seleccionado (Morgenstern-Price, Spencer, Janbu, Bishop, etc.) para un FS=1.

Estudios han demostrado que usando un método que considere todas las condiciones de equilibrio ($\Sigma F=0$, $\Sigma M=0$) se obtiene un factor de seguridad que varía en ±5% (Tang, 1999). En muchos casos se dispone de poca información de las condiciones bajo las cuales ocurrió un deslizamiento, lo que reduce la confiabilidad de los valores de Cohesión (C) y fricción (φ) obtenidos mediante análisis retrospectivo. Estos valores pueden ser utilizados para analizar la estabilidad de otros taludes en la misma formación geológica y recomendar medidas de estabilización si corresponde.

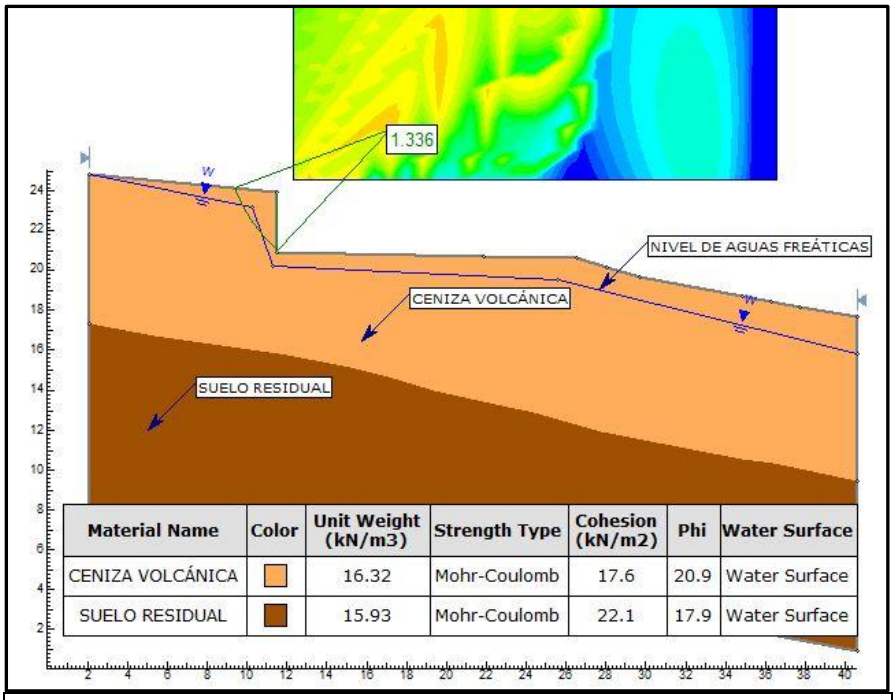
Dado lo anterior, las propiedades utilizadas en el análisis retro fueron parámetros geotécnicos minorados de una fuente propia, para unas propiedades minoradas al 65%

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| I. | Cenizas Volcánicas | $\gamma$= 16.3 KN/m$^3$ | C= 17.6 KN/m$^2$ | $\phi°$= 20.9 |
| II. | Suelo Residual | $\gamma$= 15.9 KN/m$^3$ | C= 22.1 KN/m$^2$ | $\phi°$= 17.9 |

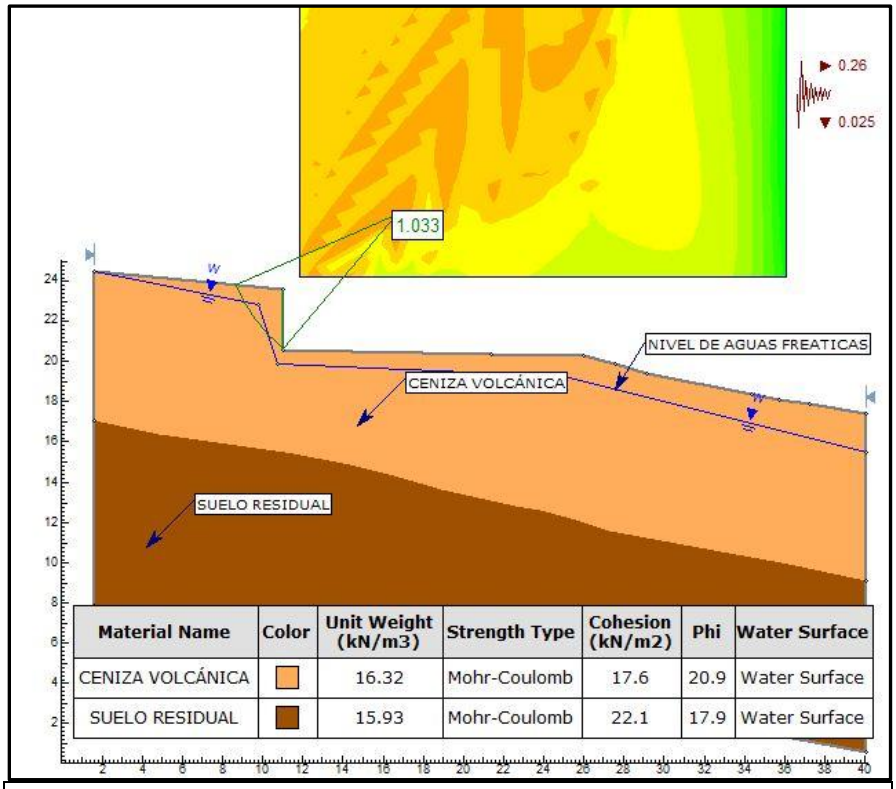
**Resultados de Estabilidades**




V. Grafica de análisis de estabilidad general retro, en condiciones estáticas, NAF inferido. Fuente: Propia

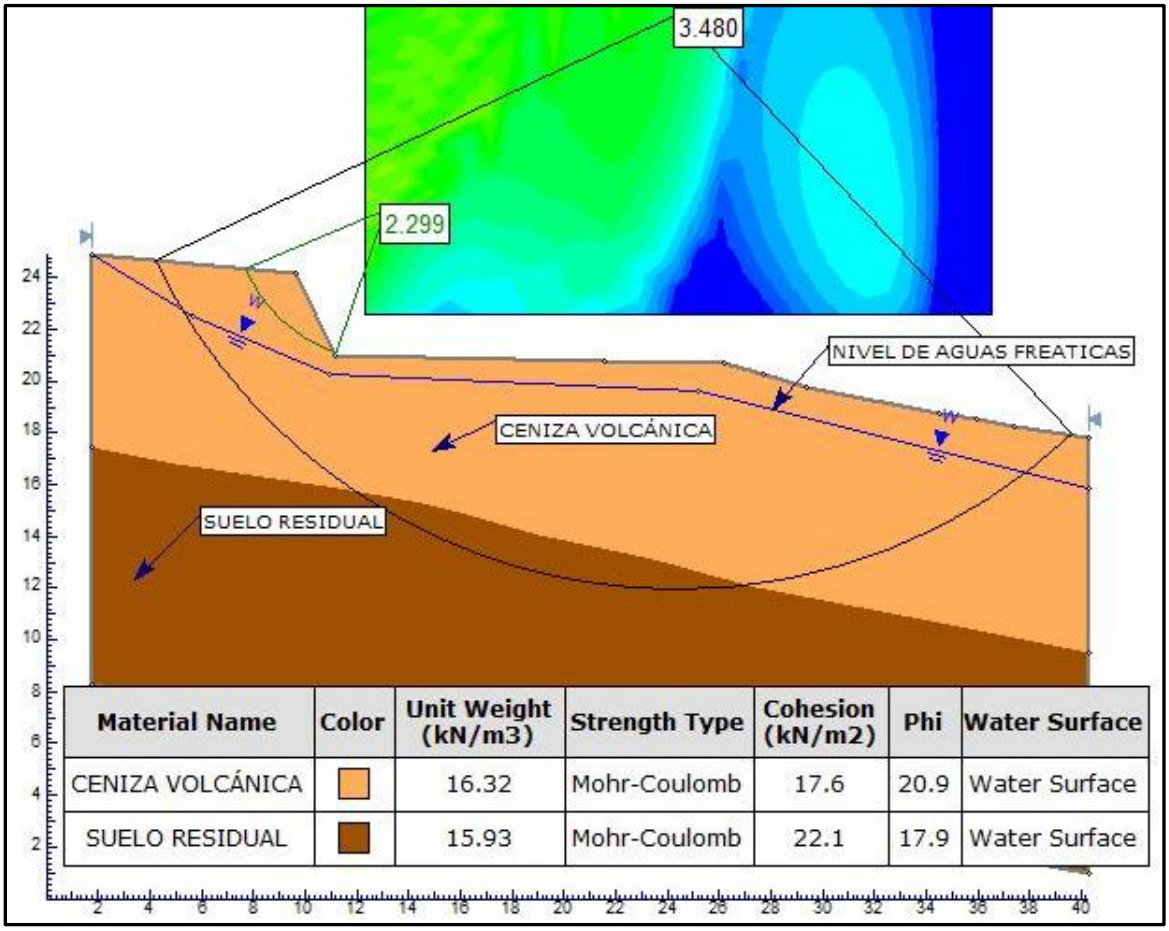



W. Grafica de análisis de estabilidad local retro, en condiciones estáticas, NAF inferido. Fuente: Propia



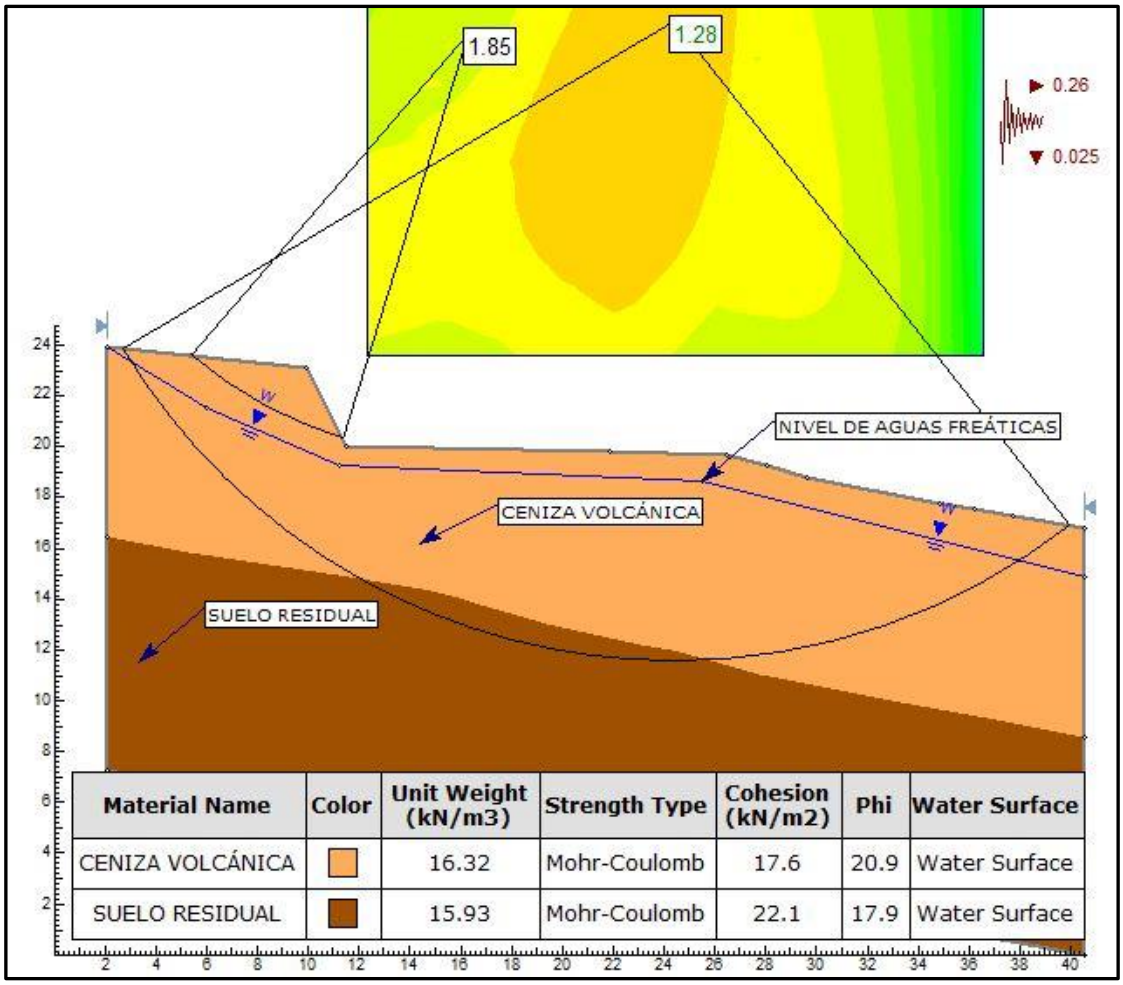

X. Grafica de análisis de estabilidad local retro en condiciones seudo estáticas, NAF inferido. Fuente: Propia

Con el fin de comparar las alternativas de diseño, bien sea implementando métodos convencionales, o métodos de bioingeniería se procede a analizar el talud en condiciones proyectadas sin obras, es decir, sólo con una reconformación geomorfológica con una pendiente del 1.0H: 2,0V y tratamiento de agua sub superficial como se muestra en las siguientes imágenes




| Material Name | Color | Unit Weight (kN/m3) | Strength Type | Cohesion (kN/m2) | Phi | Water Surface |
|---|---|---|---|---|---|---|
| CENIZA VOLCÁNICA | | 16.32 | Mohr-Coulomb | 17.6 | 20.9 | Water Surface |
| SUELO RESIDUAL | | 15.93 | Mohr-Coulomb | 22.1 | 17.9 | Water Surface |

Y. Grafica de análisis de estabilidad local proyectado en condiciones estáticas, NAF inferido. Fuente: Propia




Z. Grafica de análisis de estabilidad local proyectado en condiciones seudo estáticas, NAF inferido. Fuente: Propia

Obteniendo resultados que demuestran que con la reconformación geológica a una pendiente del 1,0H: 2,0V el talud cumple con lo requerido en la Tabla N Factores de Seguridad Indirectos mínimos

| **Sección Analizada** | **Factor de Seguridad Estático** | **Factor de Seguridad Seudo estático** |
|---|---|---|
| **Sección B** | 2.299 (>1.50) | 1.85 (>1.05) |

AA. Tabla de factores de seguridad obtenidos Fuente: Propia

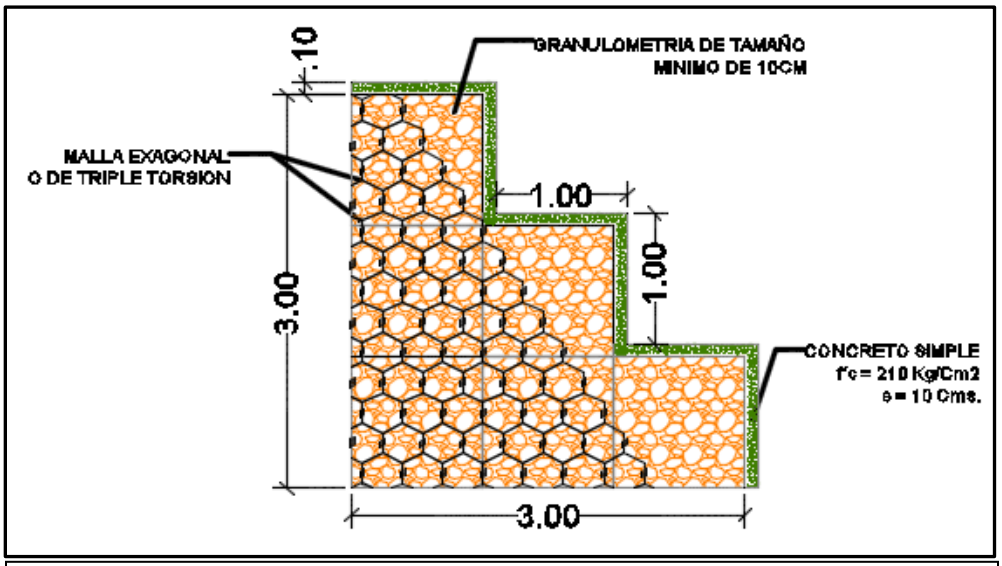
Se procede entonces a realizar el diseño de las obras propuestas y mencionadas para el control de la erosión en la primera parte del diseño estructural sin haber sido consideradas en los análisis de estabilidad, puesto que las obras finalmente reconforman el talud con una pendiente más acostada (1,0H:1,0V), por lo tanto, se infiere que los factores de seguridad con las obras aumentarían mucho más.

**Obras propuestas para el control de la erosión**

### 7.2.1 Obra Convencional

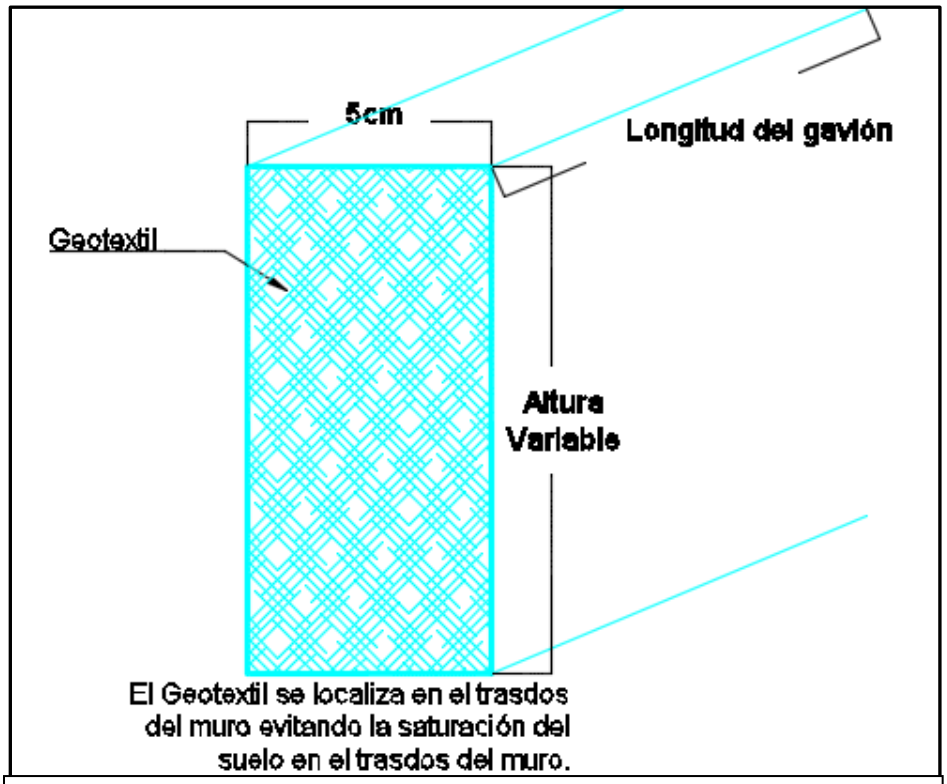
Existen diversos tipos de tratamiento para el control de los procesos erosivos, seleccionados según las condiciones del área a tratar, para lo cual, se practican previamente una serie de estudios y pruebas que permitan establecer los lineamientos a seguir durante la ejecución de un proyecto de manejo de remoción de suelo.

El tratamiento convencional propuesto para la estabilidad del talud local es un muro en gaviones como se muestra a continuación.




68. Detalle de gavión revestido por una capa de concreto simple Fuente: Propia

Se propone un muro de gaviones escalonado, con una altura total de 3m, revestido de concreto, con una batería de drenes sub horizontales de 5 metros y un filtro en el trasdós del muro de un espesor de 5cm conduciendo las aguas a una zanja colectora que a su vez entrega a una obra colectora existente.

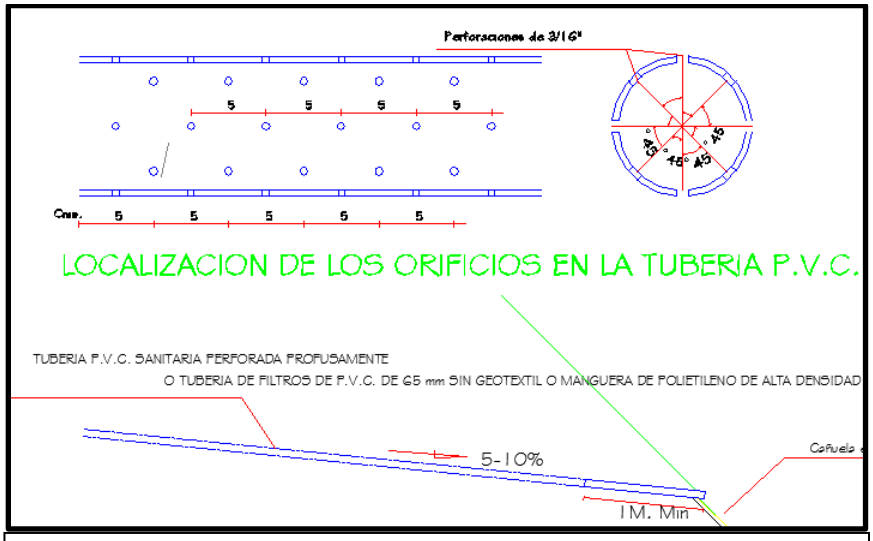



69. Detalle de geotextil de 5cm de espesor en el trasdós del muro Fuente: Propia

**Drenes horizontales:** Los drenes horizontales son perforaciones subhorizontales ejecutadas normalmente en la pata o sitios inferiores de laderas y taludes y revestidas con tuberías perforadas especiales que pueden estar o no rellenas de material filtrante. Se enmplean normalmente para mantener controlado el Nivel de Aguas Freáticas (NAF).

Son utilizados generar un abatimiento de las presiones neutras o intersticiales en la pata de taludes saturados total o parcialmente.

L longitud de los drenes sub-horizontales es variable y de 5-10% de pendiente de 4” de diámetro la perforación.




70. Imagen esquemática con la configuración típica de los drenes horizontales Fuente: Propia

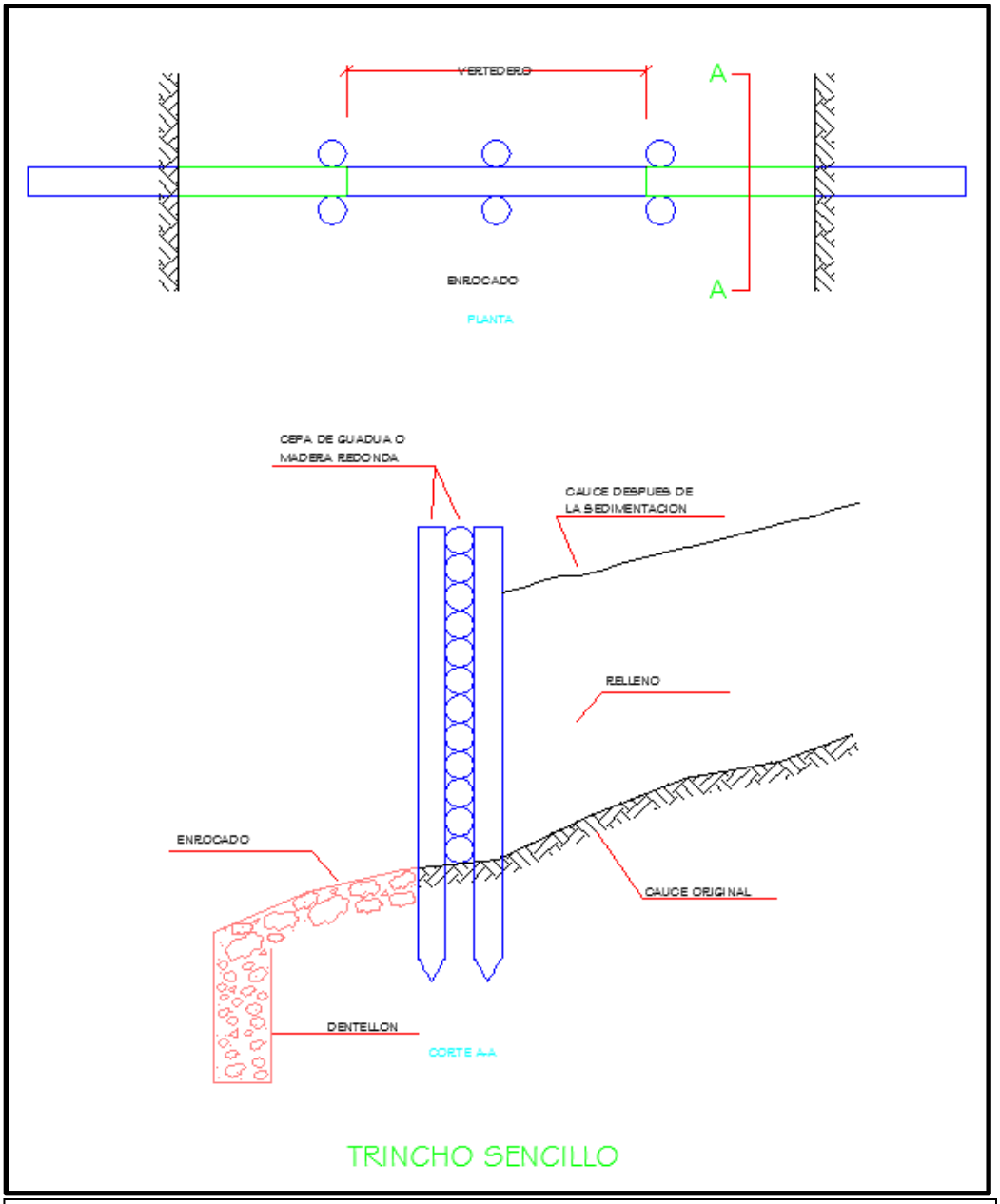
### 7.2.2 Obra con Bioingeniería (Trinchos)

Son usados en pendientes inferiores al 50%, conforman barreras transversales a las líneas de máximas pendientes, construidas en madera o guadua y soportan un relleno apisonado. Por considerarse bioestructuras de carácter provisional su vida útil es de un año y su finalidad principal es fijar el suelo y permitir el crecimiento de vegetación en el área tratada.

Para el caso en específico se propone un trincho de 1.8 metros de altura para funcionar como barreras transversales con el objeto principal de controlar la erosión. Son básicamente barreras de contención formadas por madera inmunizada hincada en el suelo natural y amarradas entre sí por tirantes (alambre)

La construcción de los trinchos debe iniciarse de abajo hacia arriba en forma continua y acomodándose a forma y pendiente natural del terreno.

Los trinchos pueden construirse sencillos o dobles y el relleno interior de la barrera se debe construir con material seleccionado, libre de materia orgánica, apisonado al 90% del Proctor standard y con pendiente transversal del 2%.



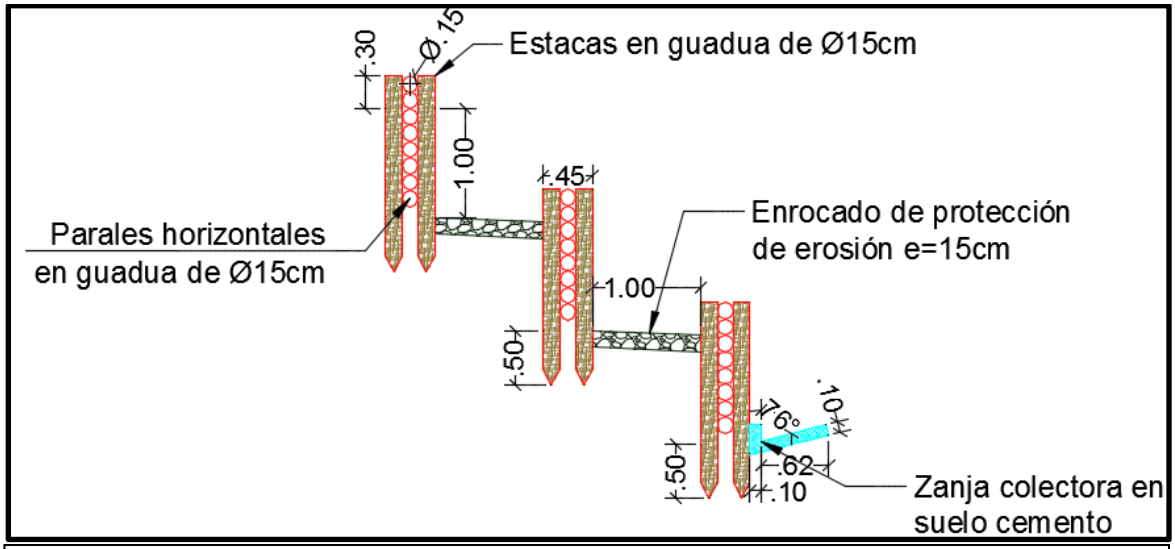

71. Vista en planta y perfil esquemático de un trincho de pared delgada con vertedero Fuente: Propia

Se propone entonces la implementación de trinchos con pared simple, acompañados de una canaleta en trincho con vertedero. Escalonados y modulados cada 10 metros.

El tratamiento en forma de gradas con trinchos presenta las siguientes características:

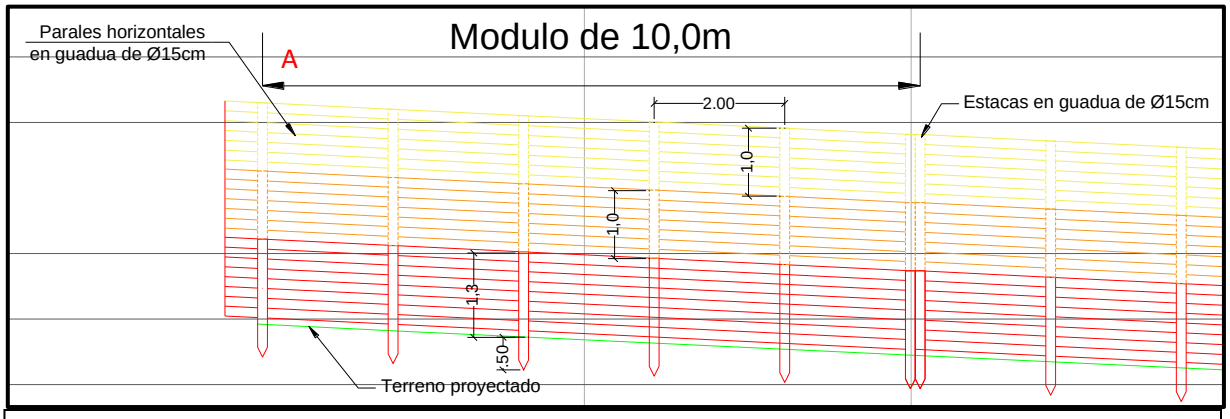
I. Pendiente terraza 2.0%
II. Diámetro estaca 15 cm.
III. Longitud estaca 1.8m
IV. Longitud desplante estaca 0.5m
V. Ancho Terraza 1.0m
VI. Parales horizontales diámetro 15 cm
VII. Espesor enrocado para recubrimiento terrazas 15cm

A continuación se presenta el detalle en fachada y perfil del trincho propuesto

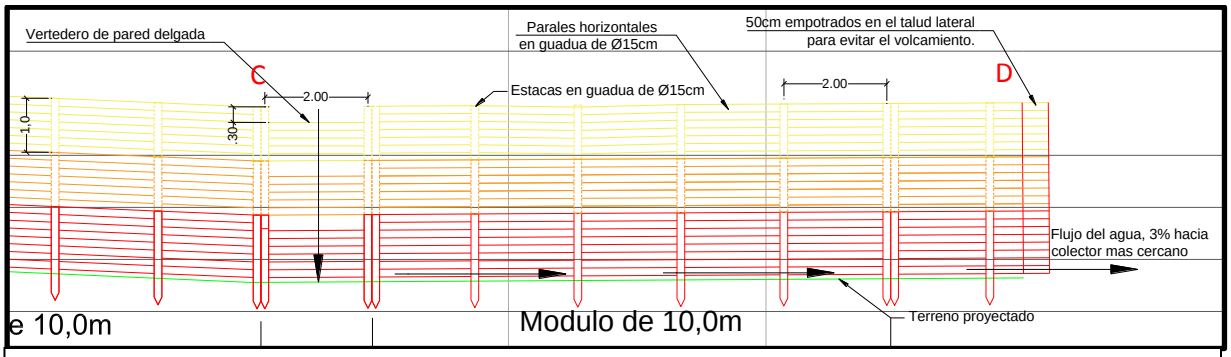



72. Detalle en perfil de los trinchos propuestos Fuente: Propia

La zanja colectora se propone con una pendiente del 3% de tal forma que pueda llevar las aguas hasta un colector existente de forma garantizada.




73. Detalle en fachada de los trinchos propuestos, (Sección A ) Fuente: Propia




74. Detalle en fachada de los trinchos propuestos (Sección C y D) Fuente: Propia

### 7.2.3 Pre-dimensionamiento de obras hidráulicas.

**Caudal de Diseño**

La base para el cálculo de las aguas de escorrentía y del diseño de las obras de drenaje corresponde al caudal que las zanjas deberán conducir, por lo tanto, se recurre a un modelo matemático conocido como Método Racional, el cual ha sido ampliamente utilizado en la práctica de la ingeniería, para estimar caudales a partir de registros de lluvias y de las características físicas del área de interés. La fórmula de aplicación del método racional corresponde a:

$$Q = \frac{C \times I \times A}{3.6}$$

*Dónde:*

Q = Caudal ($m^3/s$)

I = Intensidad de la lluvia (mm/hr)

A = Área aferente ($Km^2$)

C = Coeficiente de escorrentía. Es función de las características superficiales del terreno

Después de realizar los cálculos pertinentes con la información recolectada del sitio (Como área aferente, histórico de precipitaciones, entre otros) para obtener los parámetros anteriores, se tiene que:

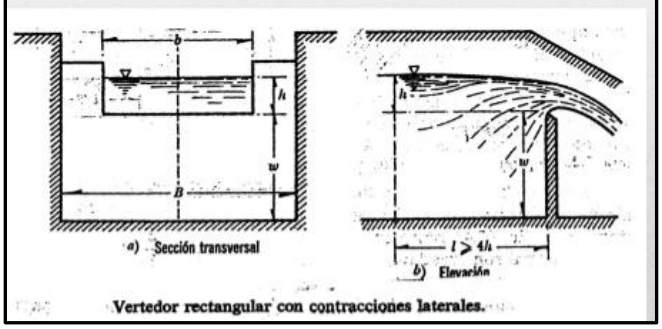
| | | |
|---|---|---|
| ***C*** | ***0,5*** | ***Adimensional*** |
| ***I*** | *155,0* | *mm/hr* |
| ***A*** | *0,015* | *$Km^2$* |
| ***Q*** | ***0,3*** | ***$m^3/s$*** |

BB. Cálculo del caudal para la zona de estudio.

**Vertedero**

Con el caudal encontrado se procede a realizar el predimensionamiento del vertedero para el caso de la canaleta en trinchos y de la zanja colectora aplicable para ambas propuestas.

$$Q = \frac{2}{3}\sqrt{2g}\ \mu\, b\, h^{3/2}$$




75. Ecuación para el dimensionamiento del vertedero de pared simple.

Por lo tanto se obtuvo que:

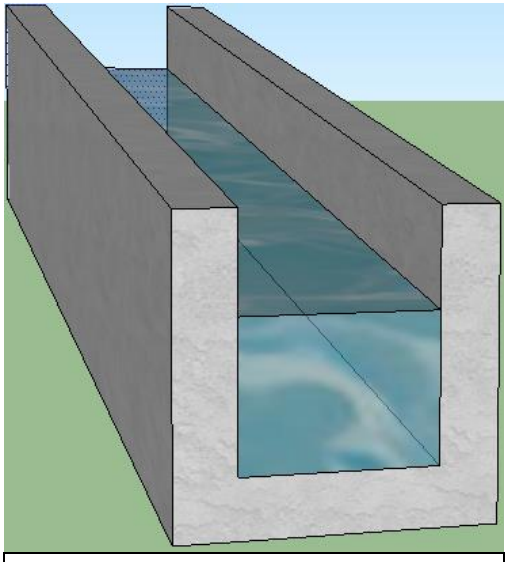
| | | |
|---|---|---|
| ***b*** | ***2,0*** | ***m*** |
| ***g*** | *4,4* | *m/s2* |
| ***h*** | *0,3* | *m* |
| ***Q*** | *0,5* | *m3/s* |

CC. Chequeo dimensiones del vertedero.

Lo anterior indica que el caudal a recibir es menor a la capacidad que tiene el vertedero para transportar.

**Zanja Colectora**

Se propone para el manejo de las aguas de escorrentía en la zona de estudio, la construcción de una zanja colectora que intercepte los flujos superficiales de las obras de contención y los conduzca de manera controlada hasta el canal conductor, disminuyendo el efecto erosivo de las aguas de escorrentía y la rata de infiltración de estas aguas en el terreno.



76. Esquema zanja colectora rectangular. Fuente: Propia

La zanja colectora es un tipo de obra hidráulica de uso común, siempre y cuando las pendientes del terreno sean inferiores al 10%, si las pendientes superan este valor, pasan a ser canales. Este tipo de obra se puede construir en diferentes materiales, como por ejemplo en concreto, en sacos de suelo-cemento, en mantos con geosintéticos y otros tantos métodos que son aplicables ara su función principal.

A continuación se realiza el predimensionamiento de la estructura.

| DIMENSIONAMIENTO | | | |
|---|---|---|---|
| *Dimensiones* | | *Lámina* | |
| **b** *(m)* | **0,40** | **A** *($m^2$)* | 0,14 |
| **h** (m) | **0,36** | **P** *(m)* | 1,12 |
| *Caudal* | | **R** *(m)* | 0,13 |
| **v** *(m/s)* | 2,21 | **S** | **3%** |
| **Q** *($m^3$/s)* | **0,32** | **n** | **0,02** |
| **Dh** *(m)* | 0,36 | **$F_R$** | 1,17 |

DD. Chequeo dimensiones de la zanja
Fuente: propia.

Para finalizar se muestra a continuación el análisis de precios unitarios para la construcción del diseño convencional y la obra con bioingeniería, y determinar el precio para cada uno de los diseños.

| UNIDAD | ITEM | CANTIDAD | VALOR UNITARIO | TOTAL |
|---|---|---|---|---|
| **Ha** | Desmonte y limpieza en bosque. | 0,1 | $ 3.471.352,00 | $ 348.322,40 |
| **m2** | Geotextil de Refuerzo Tipo NT-2500 para Terraplenes Reforzados por Geosinteticos | 15,3 | $ 24.430,00 | $ 373.779,00 |
| **m3** | Excavaciones varias sin clasificar.* | 431,1 | $ 5.114,00 | $ 2.204.645,40 |
| **m3** | Recubrimiento concreto muro de gaviones | 21,6 | $ 506.972,00 | $ 10.950.595,20 |
| **m3** | Cuneta de concreto fundida en el lugar. | 2,4 | $ 493.265,00 | $ 1.183.836,00 |
| **m** | Dren horizontal de longitud menor o igual a diez (10) metros. | 50,0 | $ 602.302,00 | $ 30.115.100,00 |
| **m3** | Gavión de Malla de Alambre de acero Etrelazado Clase 1. | 270,0 | $ 237.922,00 | $ 64.238.940,00 |
| | | | **TOTAL** | **$ 109.415.218,00** |

EE. Análisis de precios unitarios (APU`s) 2015 Instituto Nacional de Vías (INVIAS) Gavión

| UNIDAD | ITEM | CANTIDAD | VALOR UNITARIO | TOTAL |
|---|---|---|---|---|
| **Ha** | Desmonte y limpieza en bosque. | 0,1 | $ 3.471.352,00 | $ 348.322,40 |
| **m3** | Relleno seleccionado para Terraplenes reforzados con Geosinteticos | 58,1 | $ 70.540,00 | $ 4.094.847,00 |
| **m3** | Excavaciones varias sin clasificar.* | 331,7 | $ 5.114,00 | $ 1.696.058,10 |
| **m3** | Bolsacretos | 2,7 | $ 622.995,00 | $ 1.682.086,50 |
| **m3** | Material Granular Drenante | 13,5 | $ 143.129,00 | $ 1.932.241,50 |
| **m** | Dren horizontal de longitud menor o igual a diez (10) metros. | 50,0 | $ 602.302,00 | $ 30.115.100,00 |
| **ML** | Trincho en Guadua, diámetro 15cm | 1.140,0 | $ 32.000,00 | $ 36.480.000,00 |
| | | | **TOTAL** | **$ 76.348.655,50** |

FF. Análisis de precios unitarios (APU`s) 2015 Instituto Nacional de Vías (INVIAS) Trinchos

De acuerdo a las tablas EE. Y FF. Se determina los valores constructivos y las obras complementarias para cada uno de los métodos propuestos, determinando un ahorro del 30,2% en el método bioingenieril, con respecto al convencional.

## 8. Conclusiones

- La bioingeniería de suelos es una técnica histórica, eficiente, efectiva y económica, ambientalmente amigable con el entorno, con ventajas estéticas y paisajísticas utilizando recursos que la misma naturaleza brinda.
- El efecto más importante de la vegetación, es la protección contra la erosión ya que la retención de agua en el follaje demora o modifica el ciclo hidrológico en el momento de una lluvia. Este fenómeno disminuye la rata de agua de escorrentía disminuyendo su poder erosivo.
- El modelo USLE fue capaz de establecer aproximaciones con relación a la tendencia de los datos, específicamente para la erodabilidad hídrica del Ecoparque Alcázares – Arenillo aproximando una pérdida máxima de suelo por erosión laminar y en surcos de 47,8951 Toneladas anuales por hectárea
- Los resultados obtenidos, teniendo en cuenta las condiciones del sector podemos determinar un factor de seguridad estático de 2,299 y un factor de seguridad seudo estático de 1,85
- Al momento de diseñar la protección con los trinchos, se percibió que la topografía no se presta para realizar una canaleta como inicialmente se tenía previsto, adicional a ello el caudal que estaría recogiendo seria mínimo, puesto que existe una zanja colectora en la pata del talud alto que tiene caída en forma paralela al sitio, por lo tanto no sería coherente hacer un canal con caída perpendicular.
- Teniendo en cuenta el estudio pluviométrico se realizó un pre-dimensionamiento del caudal a recibir, el cual se determinó como menor a la capacidad que tiene el vertedero para transportar.
- Según el análisis de precios unitarios para la construcción del diseño convencional y la obra con bioingeniería, se determinó los valores constructivos para cada método, estableciendo un ahorro del 30,2% en el método bioingenieril, con respecto al convencional.

## 9. Bibliografía


- Sistema de COLCIENCIAS, Bogotá. 2006
- Rivera, José Horacio. Sinisterra, Juan Armando. Restauración Social de Suelos Degradados por Erosión y Remociones Masales en Laderas Andinas del Valle del Cauca Colombia con la utilización de obras de Bioingeniería. Capítulo 7.
- Bioengineering for streambank Erosion control. Hollis h. Allen, James r. Leech
- Mattos, r. 1999. Erosión y transporte de sedimentos. En: pequeñas obras hidráulicas, capítulo 3. Unesco
- Manual de estabilización y revegetación de taludes .Madrid 2002
- CORPOCALDAS. Obras típicas de bio-ingeniería.
- La bioingeniería una alternativa económica y sencilla para el control de la erosión y la conservación de los suelos. Autor Carlos Alberto Jaramillo castro.
- Principios y fundamentos para aplicación de bioingeniería de suelos en taludes de corte. Moscoso guerrero francisco j. 2003.(pdf)
- Agudelo, B. y Toro, I. Evaluación del desarrollo de los bosques de Guadua angustifolia en la zona de jurisdicción de La CVC, bajo diferentes condiciones de sitio, con fines de reforestación. Tesis, Universidad del Tolima. Ibagué. 168p. 1994
- Agudelo, C. y Gómez, G. 2001. Monografías de la flora andina. Universidad del Quindío. 3: 26-41
- Agudelo, V. y Toro, I. 1.994. Evaluación del Desarrollo de los Bosques de Guadua angustifolia en la zona de jurisdicción de la C.V.C. bajo diferentes condiciones de Sitio, con fines de Reforestación. Universidad del Tolima, Facultad de Ingeniería Forestal (Tesis de grado). Ibague, p.165
- Anderson, J. M., Igram, J. 1989. Tropical Soil Biology and Fertility a Handbook of Methods. CABI. Bueno, J. M. 1998. Biología, Hábitos y Hospedantes de la Chisa Macrodactylus Cerca ovaticollis (Coleóptera:

scarabaeidae). Revista Colombiana de Entomología. Volumen 24. Colombia.

- CORPOCALDAS. Norma Unificada para el Manejo y Aprovechamiento de La Guadua, Pereira, 2002a.
- CORPOCALDAS. Términos de Referencia Unificados Para Estudios y Planes de Manejo y Aprovechamiento Forestal de la Guadua. Chinchiná Caldas, agosto 2002.
- CORPOCALDAS; La Guadua Planta Emblema del Departamento de Caldas. Manizales, 2000.
- Flórez Yepes, G. Comportamiento estructural de los guaduales ubicados en la parte baja de la cuenca del rio Chinchiná (Caldas) ante el manejo silvicultural. Manizales, 2010
- CORPOCALDAS INVIAS; Manual para el control de la erosión. Manizales, 1998
- CRQ. Estudios Técnicos de Aprovechamiento de Guaduales. Armenia, 1989.
- Osorio Ramírez, S; El Método Observacional. Manizales, 2011
- Narváez Chica, D; Análisis de la lluvia como elemento detonante en la ocurrencia de movimientos en masa en las comunas Atardeceres y Macarena sector occidental de la ciudad de Manizales. Manizales, 2007
- CORPOCALDAS, Construcción de obras de estabilidad de taludes y manejo de aguas lluvias en la comuna (1), municipio de Manizales, Contrato de obra No. 018 de 2009.
- Escuela Superior Politécnica de Chimborazo - Quisnancela Chauca, D; Diseño de sistemas para la derivación de Caudales concesionados y construcción de Aforadores en la microcuenca del río Guano, Riobamba (Ecuador), 2013
- ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA. Reglamento Colombiano De Construcción Sismo Resistente NSR-10
- CORPOCALDAS, AQUATERRA INGENIEROS CONSULTORES, Algunas obras típicas utilizadas en el control de resión. 1991

- CORPOCALDAS. Manual para el Control de Erosión.1998
- MEJÍA FERNÁNDEZ, FERNANDO. Estructuras de Vertimiento de Agua en Laderas de Media a Fuerte Pendiente.
- SUÁREZ DÍAZ, Jaime. Control de Erosión en Zonas Tropicales.2001.